



HAL
open science

Le Géosystème Dunaire Anthropisé d'Essaouira-Est (Maroc atlantique) : Dynamique et Paléoenvironnements.

Yves Claude Simone

► **To cite this version:**

Yves Claude Simone. Le Géosystème Dunaire Anthropisé d'Essaouira-Est (Maroc atlantique) : Dynamique et Paléoenvironnements.. Géomorphologie. Université de Provence - Aix-Marseille I, 2000. Français. NNT: . tel-00171576

HAL Id: tel-00171576

<https://theses.hal.science/tel-00171576v1>

Submitted on 12 Sep 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE AIX-MARSEILLE I - UNIVERSITE DE PROVENCE
U.F.R. des Sciences Géographiques et de l'Aménagement
C.A.G.E.P.-U.R.A. 903 C.N.R.S
C.E.G.A./E.S.P.A.C.E.-U.M.R. 6012 C.N.R.S.

Année 1999-2000

N° attribué par la bibliothèque

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

THESE

Pour obtenir le grade de :

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE AIX-MARSEILLE I

Formation doctorale : Milieux Physiques Méditerranéens

Présentée et soutenue publiquement

Par

Claude SIMONE

Le 1^{er} décembre 2000

Titre :

**LE GEOSYSTEME DUNAIRE ANTHROPISE D'ESSAOUIRA-EST
(MAROC ATLANTIQUE)
DYNAMIQUE ET PALEOENVIRONNEMENTS**

Directeur de thèse :

Monsieur le Professeur Jean-Louis BALLAIS

JURY

Monsieur Jean RISER, Professeur,
Monsieur André WEISROCK, Professeur,
Monsieur Jean-Dominique MEUNIER, Chargé de Recherches au CNRS,
Madame Brigitte COQUE, Professeur,
Monsieur Jean-Louis BALLAIS, Professeur,

Président,
rapporteur,
rapporteur,
examinatrice,
examineur.

AVANT-PROPOS

Le présent mémoire a été réalisé avec l'aide de l'apport pécuniaire relatif à l'appel d'offres « Pourtour Méditerranéen » lancé par le Ministère de l'Education Nationale, de la Recherche et de la Technologie en 1994. Sans cette aide, il n'aurait probablement pas vu le jour ou peut-être dans un délai infiniment plus long.

Mes premières pensées et ma reconnaissance la plus profonde se tournent vers mon directeur de thèse, le Professeur Jean-Louis Ballais sans qui cette thèse n'aurait jamais pu être soutenue. Il a conduit ces travaux de recherche avec une haute compétence et une grande disponibilité ; ayant toujours su être présent dans les moments difficiles, ses encouragements m'ont beaucoup apporté et je l'en remercie du fond du cœur.

Je tiens à adresser ma reconnaissance à tous les membres du laboratoire de recherche (l'U.R.A. 903 du C.N.R.S) qui m'ont accueilli en Décembre 1994 et notamment à son directeur, le Professeur Jean Vaudour ainsi qu'à son successeur monsieur Claude Martin, directeur de recherches au C.N.R.S. Merci à André Del Giovine pour la gestion du matériel préparé avant les missions de terrain. Une place particulière est faite à Jean-Louis Guendon, Ingénieur de Recherches au C.N.R.S., pour la qualité de ses travaux et sa grande rigueur scientifique ; les séances de travail et entretiens que nous avons eus m'ont beaucoup inspiré ; ainsi qu'à Yvette Barnier pour sa sympathie et sa bonne humeur quotidienne.

J'exprime mes vifs remerciements au Professeur Jean Riser pour avoir soumis l'échantillon dep55 à une datation au carbone¹⁴ et le temps qu'il a consacré à la présentation des résultats ainsi qu'à monsieur Michel Fontugne et son équipe du L.S.C.E. (Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, Unité Mixte de Recherche C.E.A.-C.N.R.S.) pour s'être investis dans cette datation et avoir concentré leurs efforts sur le carbone organique.

Je remercie chaleureusement Jean-Dominique Meunier, Chargé de Recherche au C.N.R.S. (CEREGE, Centre Européen de Recherche et d'Etude des Géosciences de l'Environnement) pour son dynamisme et sa générosité. Il m'a ouvert son laboratoire et permis d'effectuer extractions et analyses des phytolithes ainsi qu'Anne Alexandre, Chargée de Recherches au C.N.R.S. pour la générosité et la compétence dont elle a fait preuve à travers ses précieux conseils concernant l'analyse phytolithique en général et les manipulations de laboratoire en particulier.

Ma reconnaissance va aussi vers Aïcha Benmohammadi de l'Université de Khénitra, en détachement à Aix pendant trois années. Nous connaissons nos terrains d'étude respectifs et les comparaisons domaine continental / domaine littoral des milieux arides et semi-arides sont fructueuses même s'il reste encore beaucoup à faire. Nos échanges réguliers de publications ont alimenté les discussions de fond que nous entretenions.

Guiral Almès (responsable du pôle multi-media du S.C.A.V., Service Commun Audio-Visuel de l'Université de Provence) et Gilles Sarrau (informaticien du centre de calcul de l'Institut de Géographie) m'ont très aimablement et avec une grande disponibilité apporté leur aide concernant la numérisation des diapositives et des photographies, le traitement des images et la manipulation des fichiers ; ils m'ont beaucoup appris dans ce domaine et je leur en suis très reconnaissant.

Les entretiens fort intéressants que nous avons eus avec Bernard Simon (responsable du STSI, Service commun du Traitement et des Sciences de l'Image) m'ont beaucoup appris et je l'en remercie.

Merci également à Claude Parron dont la générosité lui a fait consacrer une partie de son temps à certaines corrections sur la minéralogie ; à Annie Vincens et Guy Riollet pour l'accès au logiciel Gpal3, leurs conseils concernant le traitement des données et leur savoir-faire quant au montage des lamelles sur lames ; enfin à Valérie Andrieu (Laboratoire de Botanique historique et Palynologie, Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléoécologie (IMEP), Faculté de Saint Jérôme) pour l'examen des pollens contenus dans la carotte sédimentaire et à Frédéric Médail (laboratoire de botanique et d'écologie végétale, IMEP) pour l'identification de la flore.

Je ne saurais oublier Michel Decobert qui m'a fait bénéficier de son l'expérience en logistique et en matière de carottage et a activement participé à l'ouverture de la colonne sédimentaire d'Essaouira.

Ma reconnaissance va aussi vers Jacqueline Lappartient, Yves Noack et Daniel Boerschneck. Ils m'ont permis d'approfondir ma connaissance de la méthode de diffractométrie X ainsi qu'à Stéphane Moustier pour les manipulations au granulomètre laser.

J'ai eu le privilège de m'entretenir régulièrement avec Maurice Taïeb du CEREGE autour d'un bon café concernant la fabuleuse aventure de la découverte de Lucy et les recherches transdisciplinaires dans l'Afar (Ethiopie) ; je lui suis très reconnaissant de m'avoir accordé ces moments passionnants et de m'avoir prêté les thèses d'Abdelfattah Benkaddour et de Brahim Damnati qui m'ont été utiles pour la progression de mes recherches.

Je tiens à remercier vivement pour leur accueil et leur aide sur le terrain les différents services marocains et les personnes qui leurs sont rattachées ; en particulier monsieur Haddaoui, Ingénieur Forestier responsable de la DEFCS (Direction des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols) d'Essaouira. Sa disponibilité, sa patience et son sérieux sont éloquentes et je le salue.

Je remercie et salue aussi Aziz, agent forestier dont la collaboration au carottage m'a été précieuse et monsieur Khatabbi également forestier particulièrement affûté dans la connaissance de la flore locale.

Il est important de mentionner le dynamisme qui anime depuis plusieurs années déjà les populations locales et régionales dans la lutte contre la désertification : le travail accompli par l'administration locale de la DEFCS d'Essaouira que je salue pour l'aide apportée sur le terrain (encadrement, mise à disposition de véhicules et transport sur l'île de Mogador dont la visite exceptionnelle se fait exclusivement dans un but précis et sur accord du préfet) ; la mobilisation de diverses associations de protection de l'arganier à Essaouira comme à Agadir ; la création du GERPE (Groupement d'Etudes et de Recherche pour la Promotion d'Essaouira) ; les activités du GTZ (organisation non gouvernementale de lutte contre la désertification) et celles du département de biologie végétale de l'Université Ibn Zohr

d'Agadir sur la recherche de nouvelles variétés d'arganiers plus résistantes aux assauts de l'anthropisation.

Je remercie et salue les Professeurs Mostapha Ouadrim, Kacem Joumady et l'équipe de l'Institut de Géographie de l'Université Hassan II de Mohammedia pour leur chaleureux accueil.

Salut à tous les doctorants que j'ai pu côtoyer et avec qui j'ai communiqué tout au long de la préparation de cette thèse ainsi qu'aux autres ; les débats scientifiques et discussions à propos de nos recherches respectives nous ont sans aucun doute permis de progresser.

Durant ces quelques années de recherche doctorale, je ne retiendrai que les moments agréables issus du plaisir de coopérer à la recherche fondamentale et du plaisir éprouvé lors de la progression des questions posées lorsque la connaissance des phénomènes étudiés devient plus profonde.

C'est un bonheur exceptionnel que d'effectuer des recherches dans le cadre d'une thèse de Doctorat qui plus est, dans celui de la magnifique ville d'Essaouira et de sa région. Et à ce propos je tiens à saluer Fabrice Colin pour l'engouement qu'il porte à Essaouira et que je partage.

J'exprime une reconnaissance toute particulière aux enseignants qui ont contribué à ma formation depuis ma plus tendre enfance, qui m'ont parfois aidé à « grandir » et notamment aux enseignants-chercheurs de l'U.F.R. des Sciences Géographiques et de l'Aménagement de l'Université de Provence à Aix où j'ai suivi tout mon Cours universitaire.

Merci à toutes les personnes qui ont contribué directement et indirectement à l'aboutissement de cette thèse ; que celles et ceux que j'ai pu oublier de mentionner se trouvent ici reconnus.

Sur une note plus intime et affective, mes pensées vont vers mes proches qui me sont chers et sans qui ce mémoire n'aurait pu naître ni se construire ; vers ma mère qui m'a toujours encouragé en donnant le maximum pour mon bien être et mes études a fortiori durant mon cursus ; je l'embrasse très fort ; vers Laurence ma chère et tendre qui m'a accompagné tout au long de cet accomplissement avec beaucoup de patience ; vers ma sœur Marie qui très tôt m'a inculqué le goût de l'école, de la culture et du savoir ; vers mon frère Alfred qui a su me montrer et me transmettre le sens de l'effort, de la ténacité et de la persévérance ; vers Josée et Paulette mes autres sœurs, la première dont la rigueur morale n'a d'égal que son engouement pour la justice et la vérité et la seconde dont la générosité et la bonne humeur de tous les instants font plaisir à voir ; vers Antoine, mon second frère dont l'épicurisme ne ternit jamais.

A Laurence ma chère et tendre,
A Richard dit « Gu » mon vieux copain.

**LE GEOSYSTEME DUNAIRE ANTHROPISE D'ESSAOUIRA -EST
(MAROC ATLANTIQUE)
DYNAMIQUE ET PALEOENVIRONNEMENTS**

Page de titre.....	p1
Avant-propos et remerciements.....	p2
Table des matières.....	p6
Introduction générale.....	p9
<u>1^{ère} partie : Un contexte régional semi-aride.....</u>	p20
Introduction.....	p21
Chapître I : Les éléments abiotiques : hydromasse, aéromasse et lithomasse.....	p22
1) Des caractères et des facteurs climatiques originaux : un " désert " brumeux.....	p22
A) La variabilité des caractères principaux.....	p22
a) Des précipitations peu abondantes et très variables.....	p22
b) Les données thermiques des masses d'air.....	p27
B) La marque prépondérante de l'alizé.....	p28
C) Un milieu semi-aride à influences océaniques.....	p31
2) L'eau, le vent et la tectonique : éléments-clé de la géodynamique.....	p33
A) Une topographie étagée et peu élevée.....	p33
B) Lithostratigraphie et empreinte de l'histoire océanique.....	p36
a) Les affleurements permo-triasiques.....	p36
b) La couverture sédimentaire secondaire et tertiaire.....	p36
b1) Le Jurassique.....	p36
b2) Le Crétacé.....	p37
b3) L'Eocène.....	p37
c) Les formations plio-pléistocènes marines et fluviatile.....	p37
C) Les différents systèmes dunaires littoraux du Quaternaire.....	P40
Chapître II : Le sol à l' interface des éléments biotiques et abiotiques	p43
1) Conditions édaphiques fragiles et sols squelettiques.....	p43
2) Distribution spatiale des sols.....	p45
3) La dualité pédologique du géosystème dunaire.....	p47
A) Les sols dunaires.....	p48
B) Les sols salsodiques.....	p49

Chapître III : Eléments biotiques : un couvert végétal très spécifique et peu développé	p55
1) Un endémisme régional marqué.....	p55
2) L'adaptation d'une végétation psammophile et halophile.....	p60
3) La faible densité et la diversité des formations végétales.....	p64
<i>Conclusion</i>	p67
<u>2^{ème} partie : Formation et dynamique du géosystème</u>	p71
<i>Introduction</i>	p72
Chapître IV : Interactions et dynamique entre éléments abiotiques	p73
1) Identification et organisation spatiale des formations superficielles.....	p73
A) Un matériel détritique terrigène.....	p73
B) Deux séquences sédimentaires distinctes.....	p78
a) L'argument granulométrique.....	p78
b) L'argument minéralogique.....	p81
2) La forte emprise éolienne.....	p83
A) Processus et impacts.....	p83
B) Photo-interprétation diachronique et dynamique dunaire.....	p87
3) L'hydrodynamisme superficiel et souterrain.....	p93
A) Des eaux météoriques très variables.....	p93
B) Le rôle de l'océan et des aquifères.....	p96
Chapître V : Les phytolithes : les phytolithes : traceurs géosystemiques des interactions sol-plante-climat	p104
1) Définition, méthodes et zones de recherche.....	p104
2) L'analyse phytolithique de la région d'Essaouira.....	p107
A) L'extraction des phytolithes.....	p107
B) Les assemblages actuels	p109
C) Discussion	p113
D) Les assemblages fossiles	p118
Chapître VI : L'équilibre du géosystème et le facteur anthropique	p119
1) La vocation sylvo-pastorale du géosystème actuel.....	p119
A) La continuité d'une politique de boisement.....	p120
B) Le pastoralisme : une résistance rurale aux portes de la ville.....	p122
2) La forte pression démographique et l'impact urbain.....	p128
A) Le développement de l'urbanisation et l'exploitation des ressources minérales.....	p129
B) L'usage forestier de l'espace dunaire.....	p137
<i>Conclusion</i>	p141

<i>3^{ème} partie : L'archéologie du géosystème</i>	p144
<i>Introduction</i>	p145
Chapître VII : Les enseignements du carottage	p146
1) Le substratum : un comblement lagunaire.....	p146
A) Analyses granulométriques.....	p146
B) Comparaison des logs minéralogiques.....	p153
2) Chronologies et discussions.....	p154
Chapître VIII : Les étapes de l'anthropisation locale et régionale	p161
1) Une occupation humaine plurimillénaire	p161
2) La période moderne : convoitises guerrières et impératifs économiques.....	p166
3) L'essor urbain et commercial contemporain.....	p169
<i>Conclusion</i>	p180
Conclusion générale	p182
<i>Références bibliographiques</i>	p188
Index des tableaux	p201
Index des figures	P202
Index des cartes	p204
Résumé en français.....	p205
Résumé en anglais.....	p205

LE GÉOSYSTÈME DUNAIRE ANTHROPISÉ D'ESSAOUIRA-EST (MAROC ATLANTIQUE) DYNAMIQUE ET PALÉOENVIRONNEMENTS

« Ce qu'il faut savoir, ce n'est pas la solution d'un problème de géométrie,
mais le miroitement de l'âme d'un prince. »

Jean GIONO

Introduction générale

Es-saouira (la bien dessinée) est positionnée sur la façade atlantique du Maroc à 31°30' de latitude Nord et 9°50' de longitude Ouest (cf. carte n° 1). Sa situation duale (bordure océanique et proximité du Haut Atlas) est très bien définie par A. WEISROCK (1980) dans la remarquable thèse d'état qu'il a consacré à l'Atlas atlantique (région s'étirant d'Est en Ouest, du Haut Atlas occidental à l'océan Atlantique ; et du Sud au Nord, de la plaine de l'oued Souss à celle de l'oued Tensift). Si J. DESPOIS et R. RAYNAL (1967, in WEISROCK, 1980) avaient proposés le terme de “ Haut Atlas atlantique ” concernant la même région, l'auteur a jugé préférable d'utiliser celui d' “ Atlas atlantique ”, qu'il estime “ plus court et plus conforme encore à la réalité géographique. ” La localité d'Essaouira appartient au secteur Nord-Ouest de l'Atlas atlantique et le terrain d'étude correspond à un géosystème dunaire qui ceinture la ville sur sa périphérie orientale suivant une direction quasi méridienne. Il est composé de dunes boisées, en partie stabilisées et séparées par des étendues d'eau saumâtres dans les dépressions les plus proches du trait de côte.

Le concept de géosystème dont le terme fut employé pour la première fois en 1960 par le chercheur V. B. SOCHAVA fondateur de l'Institut Géographique de Sibérie et d'Extrême-Orient d'Irkoutsk, a été surtout développé en ex-URSS. Le premier ouvrage qui en traite s'intitule “ Définition de quelques notions et termes de géographie physique ” (SOCHAVA, 1963, in ROUGERIE et BEROUTCHACHVILI, 1991) et il constitue un des ouvrages fondamentaux qui a permis de répandre très vite ce terme et cette notion en ex-URSS et à l'étranger. C'est d'ailleurs à Irkoutsk que s'est tenu en 1971 un Symposium international sur le thème de la “ topologie des géosystèmes. ” Sur le plan épistémologique, le concept de géosystème s'inscrit dans un axe de recherche propre à la science du paysage ou “ *Landschaftovedenie* ” qui est née en Russie sous l'impulsion de géographes naturalistes tels que BERG, VISOTSKI et MOROSOV (BEROUTCHACHVILI et G. BERTRAND, 1978) et s'est largement développée en U.R.S.S. Le premier colloque consacré à la *Landschaftovedenie* s'est tenu en 1955 à Léninegrad mais déjà, aux XVIII^e et XIX^e siècles, les précurseurs de cette école dont la Russie s'est voulue le pays fondateur et l'ardent défenseur y travaillaient. En effet, à la fin du XIX^e siècle la question se posait de mettre en valeur les vastes steppes d'Ukraine et de Sibérie méridionale dont les fameuses terres à chernozems représentent une source de richesses agricoles importantes. Ainsi, durant les vingt dernières années de ce siècle, le célèbre pédologue DOKOUTCHAEV élaborait le concept fondateur de “ Complexe Naturel Territorial ” ou C.N.T. qui privilégiait l'étude des sols et marquait le point de départ de la science du paysage.

Landschaftovedenie ou science du paysage et topologie des géosystèmes ou géotopologie ont joué le rôle de “ passerelle ” entre complexes et systèmes comme le précise le chercheur sibérien

KRAUKLIS au Congrès International de Géographie de Paris en 1984 (ROUGERIE et BEROUTCHACHVILI, 1991) : “ le développement d’une conception dynamique [liée à la géotopologie] en rapport avec l’objet paysage est devenu le point de départ permettant de traiter un complexe géographique naturel comme un géosystème...le géosystème doit être étudié comme un système ”. Ce qui correspond au concept qu’en avait donné SOCHAVA (1978, in ROUGERIE et BEROUTCHACHVILI, 1991) dans son ouvrage fondamental “ Introduction à la science des géosystèmes ”. On est ainsi passé du complexe au système comme l’indique le titre d’une publication de BEROUTCHACHVILI et G. BERTRAND (1978) “ Le Géosystème ou “ Système territorial naturel ” ”.

Puis, très tôt, le géosystème est devenu plus qu’un concept, à la fois une unité spatiale et un objet d’étude du paysage et de sa complexité et il a eu un large écho en France par l’intermédiaire de deux géographes G. BERTRAND et J. F. RICHARD. Avec eux d’autres auteurs ont contribué à étendre l’espace d’application et approfondir le champ de recherche de ce concept qui se distingue de celui d’écosystème par une approche plus large, plus globale et moins hiérarchisée (G. BERTRAND, 1968, 1978, 1982, 1984 et 1986 ; ROUGERIE, 1973 et 1988 ; G. BERTRAND et DOLLFUS, 1973 ; BEROUTCHACHVILI et MATHIEU, 1977 ; BEROUTCHACHVILI et G. BERTRAND, 1978 ; BEROUTCHACHVILI et RADVANYI, 1978 ; RICHARD, 1975, 1978 et 1985 ; C. BERTRAND et G. BERTRAND, 1986 ; ROUGERIE et BEROUTCHACHVILI, 1991).

En jetant les bases de l’approche systémique, la notion d’écosystème, antérieure à celle de géosystème, lui a permis de s’inspirer d’une partie de ses fondements pour aller plus loin dans l’étude des systèmes en intégrant un plus grand nombre d’éléments. Au sein du géosystème, l’étude des relations existant entre les constituants biotiques et abiotiques n’est conditionnée par aucune hiérarchie à l’inverse de l’approche écosystémique qui privilégie les éléments biotiques. Il est donc essentiel de considérer aussi bien le biotope que la biocénose et notamment les liens qui les unissent et les régissent. Pour BEROUTCHACHVILI et G. BERTRAND (1978) “ l’écosystème représente une approche biocentrique et métabolique dans laquelle les éléments non vivants sont subordonnés au milieu vivant au cours du processus de la photosynthèse et de la chaîne trophique. ” La page suivante présente trois figures indiquant la signification d’un géosystème, les diverses relations qui caractérisent ses éléments et sa comparaison avec l’écosystème. Si certaines études du paysage ont abouti à la réalisation d’organigrammes méthodologiques (PANAREDA CLOPÉS, 1973, AMAT et HOTYAT, 1984), l’approche systémique est intrinsèquement orientée vers la modélisation.

La figure n° 1 illustre le niveau de prise en compte des éléments biotiques et abiotiques, de l’action anthropique ainsi que la place qu’ils occupent dans le géosystème. Biotope, biocénose et action anthropique sont les trois volets d’un objet d’étude envisagé dans son intégralité, le géosystème, et sur lequel ils exercent une action capable de modifier son état (structure et dynamique). Ces trois volets sont tous caractérisés par des liaisons réciproques qu’ils assurent entre eux.

La figure n° 2 montre comment le C.N.T. s’articule avec l’écosystème et le géosystème. Dans le premier cas (a), l’écosystème marginalise certains éléments du C.N.T. tels que l’aéromasse, l’hydromasse et la lithomasse et s’identifie donc comme un système partiel. En revanche, dans le second cas (b), le géosystème englobe le C.N.T. dans toute son entité et le lie à l’action anthropique alors que celle-ci n’est pas prise en compte dans l’écosystème.

La figure n° 3 indique clairement l’intérêt prioritaire porté aux éléments vivants dans un écosystème qui dans toute son entité devient une partie seulement du géosystème.

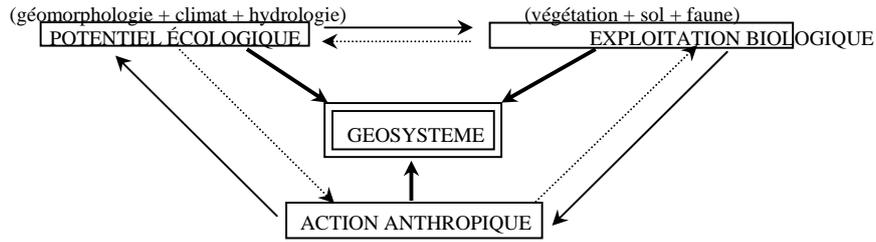


Fig. 1 : Définition théorique du géosystème, d'après G. BERTRAND (1968).

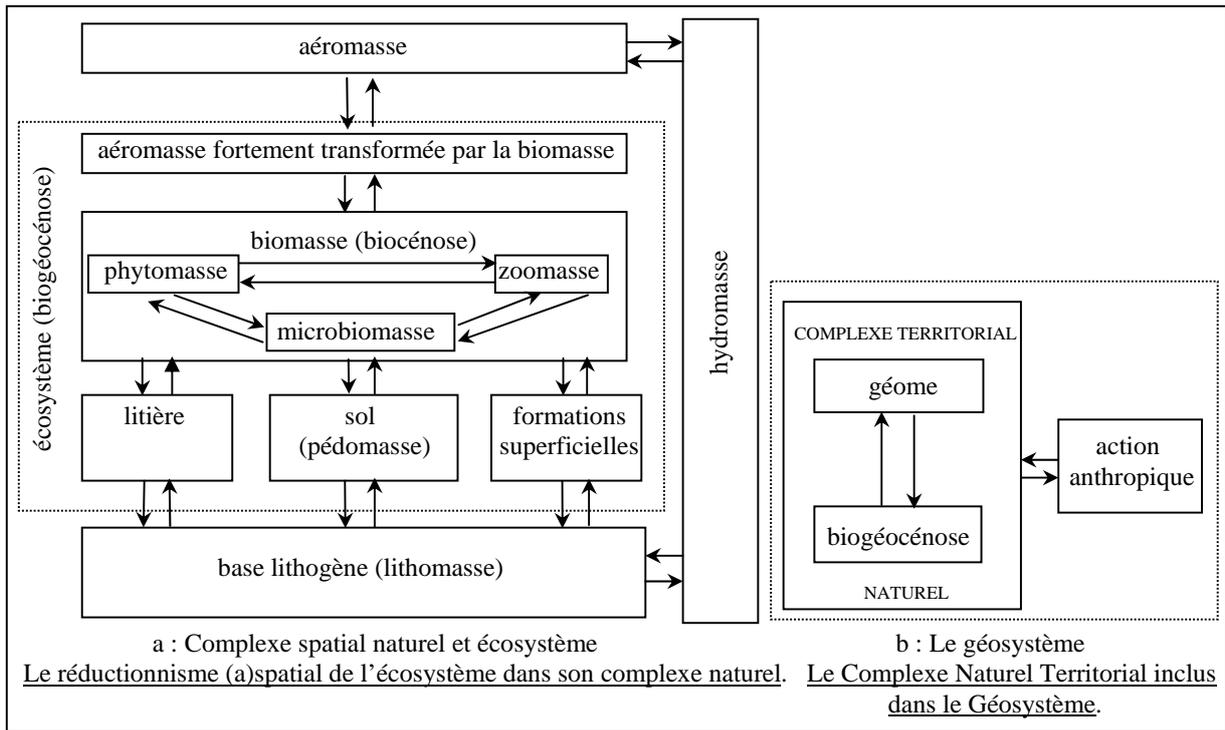


Fig. 2 : La relation d'emboîtement entre les trois entités : écosystème, Complexe Naturel Territorial et géosystème, d'après BEROUTCHACHVILI et MATHIEU (1977).

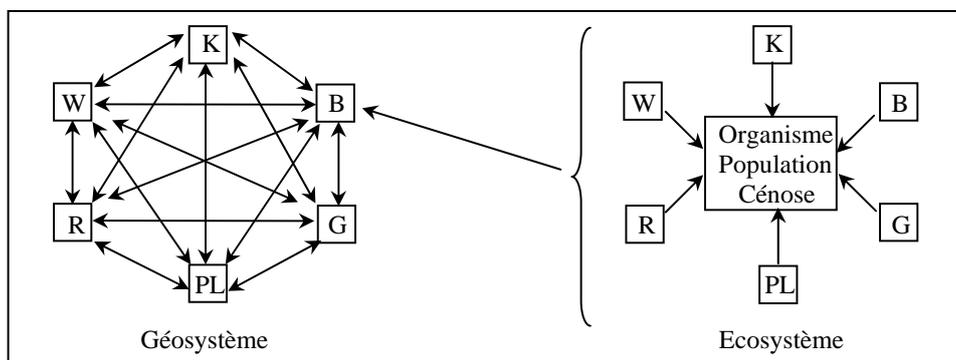


Fig. 3 : L'essence complexe du géosystème et le réductionnisme biocentrique de l'écosystème, d'après PREOBRAJENSKI (in ROUGERIE et BEROUTCHACHVILI, 1991).

K : climat ; W : eau ; R : relief ; PL : pédo- et lithosphères ; B : biosphère ; G : société

La classification des unités spatiales du géosystème, à l'image des poupées russes, est établie par des emboîtements d'échelle suivant une structure horizontale. Un géosystème s'étend de plusieurs centaines de kilomètres carrés à quelques kilomètres carrés. Il comprend les sous-unités suivantes :

1. *le géofaciès*, unité paysagère de quelques hectomètres carrés à quelques décamètres carrés, pouvant atteindre quelques kilomètres carrés ; d'aspect plus homogène que le géosystème et comme toutes ses sous-unités, il se définit par sa propre physionomie, sa propre masse et son énergie interne ;
2. *le géotope*, de quelques décamètres carrés à quelques mètres carrés, s'inscrit dans le géofaciès en délimitant les communautés végétales spécialisées (une clairière par exemple) et
3. *l'écotope*, de quelques mètres carrés à quelques décimètres carrés, pouvant être représenté par un rocher ou un buisson.

La structure verticale est organisée par superposition de *géohorizons* dont la hauteur, la masse et l'énergie varient suivant les milieux :

1. le niveau *aérien* ou supérieur ;
2. le niveau *végétal* où l'on observe un accroissement sensible de la masse totale est subdivisé en strates ;
3. le niveau *pédologique* caractérisé par une élévation continue de la masse globale proportionnelle à l'augmentation des densités est subdivisé en horizons et
4. le niveau *géologique* correspondant à la roche mère où la masse se stabilise.

Le géosystème est composé au minimum de deux géofaciès ou d'une série de géofaciès formant alors une sorte de " mosaïque " ou de " puzzle " et qui assurent entre eux des relations étroites en terme de transferts de matière et d'énergie. Dans le fonctionnement global du géosystème, la circulation de ces flux peut être résumée comme suit :

- les transformations de l'énergie solaire (ensemble du bilan thermique et radiatif du géosystème). Une très faible part de cette énergie est utilisée pour la photosynthèse (moins de 2 % en moyenne),
- les transformations de l'énergie gravitationnelle comprenant la circulation de l'eau, la chute des feuilles et les divers processus érosifs liés à la gravité (éboulements, glissements de terrain, solifluxion, reptation, etc...),
- les cycles biogéodynamiques qui commandent les échanges qualitatifs et quantitatifs de matière (cycles biogéochimiques de l'oxygène, de l'azote, du carbone, du silicium, du calcium, etc...) et dont les transformations de la matière vivante par humification et minéralisation, et les divers processus d'encroûtements constituent le moteur,
- les processus géomorphologiques liés à l'érosion qui modifie les modelés et les volumes rocheux et participe à l'évolution des formes du relief,
- les mouvements de la masse aérienne (fréquence et intensité des vents, changements de température et de pression atmosphérique (ascendance frontale, orographique, thermo-convection etc...),

- les mouvements de la masse hydrique marine sur les marges continentales (intensité des marées, des houles, etc...).

Les échanges de matière et d'énergie qui forment l'essence même des relations entre éléments biotiques et abiotiques se produisent dans la structure horizontale comme dans la structure verticale mais ils sont plus constants et plus réguliers dans l'espace et dans le temps, et par conséquent, plus faciles à mettre en évidence dans la structure verticale ; cela s'explique notamment par l'exposition des interfaces aux actions des agents météoriques. Dans la structure verticale les interfaces présentent une disposition horizontale alors que c'est l'inverse dans la structure horizontale. Ainsi, telles des membranes perméables, les interfaces dites horizontales sont traversées par des flux de matière et d'énergie suivant la direction verticale atmosphère / Terre et réciproquement. En effet, les eaux de pluies, par exemple, sont en partie interceptées par l'évaporation à la surface des végétaux puis à la surface des sols et s'infiltrant dans la roche avec une masse décroissante par rapport à la masse initiale d'eau météorisée. De même, les radiations solaires réchauffent tous les éléments situés à la surface du globe et en profondeur avec une énergie décroissante. De plus les facteurs astronomiques qui expliquent la saisonnalité rythment ces relations.

En revanche, les transferts de matière et d'énergie qui se produisent dans la structure horizontale ne sont pas directement contrôlés par les agents atmosphériques et sont, de fait, beaucoup plus complexes et plus subtils que les premiers. En effet, le relief par exemple mais aussi la nature de la roche peuvent conditionner la qualité et la quantité d'éléments minéraux qui migrent latéralement entre plusieurs types de sol à travers une ou des interface(s) verticales marquant le contact entre un géotope et un géofaciès puis un géosystème ou entre deux géotopes ou deux géofaciès (processus majeurs dans les toposéquences ou catenas). Alors que dans l'autre sens (structure verticale) la migration se fait perpendiculairement aux horizons pédologiques (processus d'éluviation et d'illuviation). De même, la formation d'un microclimat ne peut être perçue, mesurée et délimitée que dans la structure horizontale et s'explique bien souvent par une variation topographique brutale ou par la présence d'un contraste végétal (massif d'acacias dans un reg ou bosquet résiduel dans une prairie par exemple). Ainsi l'étendue d'un microclimat coïncide souvent avec les limites d'un écotope, d'un géotope ou d'un géofaciès et les échanges de matière ou d'énergie qui se produisent avec sa périphérie ne suivent ni dans l'espace ni dans le temps le schéma de répartition des caractères climatiques qui prévaut dans la structure verticale.

Par ailleurs, si des liaisons verticales et horizontales ou latérales mettent en valeur les échanges entre éléments du géosystème, elles forment des composantes dont la résultante correspond à des liaisons obliques qui se produisent alors entre géohorizons et géofaciès, géotopes ou écotopes. Ce qui accroît encore la complexité du géosystème et de sa dynamique alors qu'au sein de l'écosystème n'existent que des relations verticales dont la principale est la photosynthèse, source de production primaire. En effet, ROUGERIE (1988) assigne à l'écosystème une organisation à dominantes "verticales" alors que le géosystème est caractérisé une organisation tridimensionnelle. ROUGERIE et BEROUTCHACHVILI (1991) comparent ainsi les deux types de systèmes : "...il ajoute une dimension latérale à la seule dimension verticale retenue par la plupart des approches écosystémiques..., l'écosystème considère essentiellement l'énergie solaire, les transferts biochimiques, parfois géochimiques et biogènes ; le géosystème les complète par la prise en considération des énergies liées à la gravitation et par celle des migrations de masses, aériennes, hydriques, organiques et minérales..."

La figure n° 4 ci-dessous, donne une idée du fonctionnement théorique d'un géosystème dans sa structure et sa dynamique. Ce dernier intègre éléments biotiques, abiotiques et anthropiques dont les interactions (liaisons internes) sont le " ciment " tout en assurant des échanges avec l'extérieur (liaisons externes).

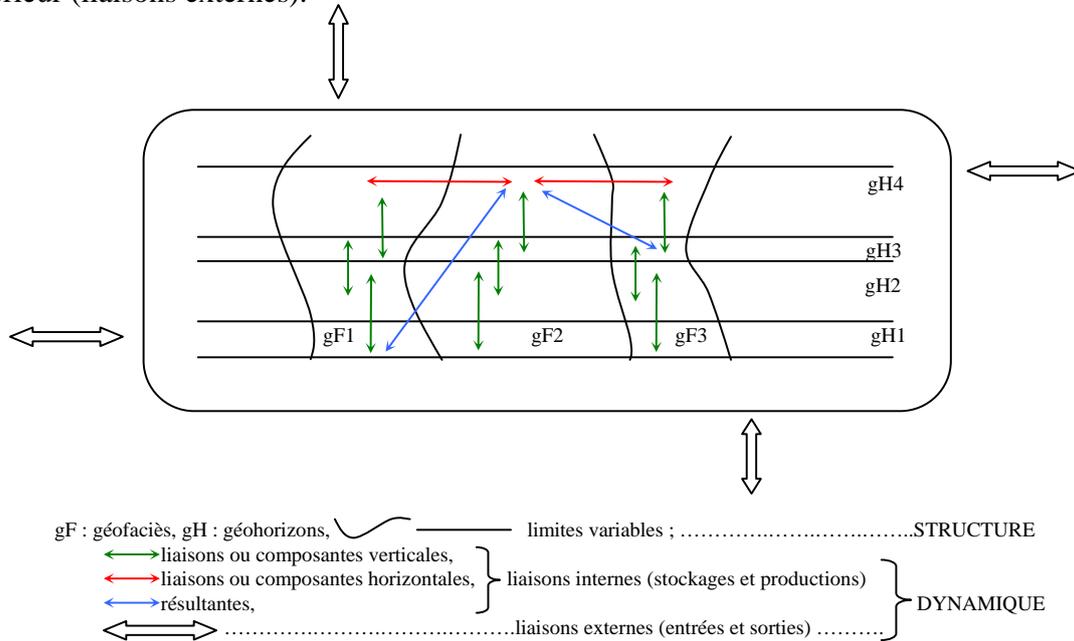


Fig. 4 : Modélisation du géosystème en coupe verticale.

Ainsi, en élargissant le champ du système appréhendé dans sa globalité, éléments et liaisons pris en compte dans le géosystème étendent son fonctionnement mais ses points communs avec l'écosystème résident toujours dans le fait que masses et énergies assurent des transferts qui en font, comme lui, un système thermodynamique ouvert. Dans l'approche systémique du paysage certaines écoles comme celle d'Irkoustk, de Moscou et de Tbilissi se sont équipées d'infrastructures très sophistiquées pour mettre en place des stations de recherche performantes afin de traiter et modéliser les données enregistrées pour en faire des simulations. Si bien que ROUGERIE et BEROUTCHACHVILI (1991) parlent de " cybernétique du paysage " en évoquant l'école de Moscou qui, au sein de son Institut de géographie, a été le plus loin dans ce domaine. Cette approche est donc quantitative. Mais pour DE ROSNAY (1975), " l'approche systémique dépasse et englobe l'approche cybernétique ". Le comportement du géosystème dans le temps correspond à ce que BEROUTCHACHVILI appelle " éthologie " d'après ROUGERIE (1988). En effet, selon ce dernier " L'étude des états du système est celle des rapports entre variables de structure et de fonctionnement pendant un laps de temps donné, prenant en considération les entrées, les productions, les stockages et les sorties. Elle s'effectue pour les masses et pour les énergies aux différents niveaux structuraux du système ". Ainsi l'auteur reconnaît " l'extrême complexité et l'extrême lourdeur des procédures de recherche sur la dynamique des géosystèmes " et que " Maîtriser, en les quantifiant, tous les paramètres qui s'entrecroisent, interfèrent, se pondèrent, dans le temps et l'espace...est quelque peu utopique ".

Dans le développement de l'approche géosystémique G. BERTRAND perçoit déjà en 1982 la nécessité de distinguer le géosystème dit quantitatif du géosystème dit qualitatif et cela face à la lourdeur des opérations à mener, des mesures innombrables et des coûts exorbitants.

Si en 1929 KACHKAROV et KOURBATOV intègrent le rôle des éléments abiotiques et anthropiques en dressant l'organigramme des relations réciproques concernant la biocénose du désert sableux des Kara-Koum centraux (in KACHKAROV et KOROVINE 1942) c'est que leur intuition les dirige déjà vers une approche systémique ; en effet, dans leur organigramme ils prennent en compte les takyrs (couloirs interdunaires) et les éléments qu'ils contiennent (eau, limons etc...) à disposition de la faune (chameaux, moutons, petits échassiers limicoles, bergeronnettes et moineaux) et de l'homme. Dans la pure tradition de l'école russe ces auteurs parlent de " complexe désertique " à défaut de géosystème. " La vie dans les déserts " pourrait aussi constituer une étude des écosystèmes désertiques mais il y manque alors une structure telle qu'on l'a définie plus haut et cette lacune, en plus de la fonction réductrice, ajoute à l'écosystème une définition floue.

La connaissance des milieux dunaires enregistre une recrudescence de la recherche tant fondamentale qu'appliquée à travers les programmes nationaux ou internationaux menés sur le thème de la désertification. En effet, la prise de conscience de tels problèmes par les responsables et décideurs soulève principalement des inquiétudes quant à leur gestion et dans une moindre mesure, des questions quant à l'explication du phénomène. Il nous semble sensé et donc juste de traiter prioritairement l'explication du phénomène afin de pouvoir éventuellement mieux le gérer. C'est dans ce sens qu'ont été orientées les recherches qui suivent.

Il s'agit de mieux connaître le facteur déclenchant d'une accumulation dunaire. À partir des données sur les processus tels que déflation, transit et dépôt des sables, pouvons-nous identifier des zones d'accumulation préférentielles et les ruptures d'équilibre successives ?

Dans un premier temps, il est nécessaire d'être prudent quant à la terminologie employée. Désertification induit assurément une intervention humaine. Un recul des espaces boisés en raison de la déforestation ou de la mise en culture peut entraîner une érosion mécanique des sols par leur mise à nu. La mutation des géosystèmes est alors rapide et brutale.

Le terme d'aridification exprime, pour sa part, une modification du climat à l'origine d'un changement du couvert végétal ; par exemple le passage d'une forêt à une savane, une steppe, voire un reg ou un erg, à l'échelle des temps géologiques. La transition est, dans ce cas, plus lente et progressive.

On pourrait en rester là quant aux définitions cependant les phénomènes de désertification et d'aridification étant très fortement corrélés, les clivages entre ces deux termes et les processus qu'ils mettent en jeu demeurent négligeables voire inexistantes. Produisant ainsi, un bel exemple qui dépasse le schéma traditionnel de la dichotomie ou de l'opposition naturel/humain et nous amenant plus naturellement à une démarche systémique.

De plus, si des recherches récentes (SCHAERER, 1986, in RAMADE, 1987), entre autres, nous amènent à insister sur la prise en compte de plus en plus évidente et nécessaire de facteurs biotiques dans certains processus que l'on croyait à tort uniquement physiques, les facteurs abiotiques doivent être aussi intégrés au système et ne pas être relégués au second plan. C'est le cas, par exemple, du déclenchement des précipitations où les noyaux de condensation atmosphériques ne sont pas seulement inorganiques ; ils peuvent être formés par des bactéries, en l'occurrence, *Pseudomonas syringae* et *Erwinia herbicola*, très abondantes dans l'humus des

forêts ombrophiles. Les caractères climatiques de température et d'humidité jouent ici un rôle à la fois essentiel et évident sur la répartition zonale de tels processus montrant qu'il est préférable d'utiliser le terme de géosystème plutôt que celui d'écosystème. On peut alors parler de processus "biophysiques" qui mettent en jeu tant éléments biotiques qu'abiotiques dans l'équilibre ou la rupture d'équilibre des géosystèmes.

Problématique :

D'après P. BOUDY (1948, 1950 et 1958), entre autres, les sables vifs d'Essaouira se sont accumulés à partir de la charnière XVIII^e-XIX^e siècle durant la construction de la ville qui a débuté en 1765 et durant son extension. La demande urbaine en bois de construction, domestique et de chauffage, serait à l'origine de la surexploitation d'une junipéraie à la place de laquelle un erg s'est installé et développé.

Des contraintes trop fortes pesant sur la vie des populations locales, les dunes ont été "fixées" mécaniquement et biologiquement à partir de 1918 et en plusieurs étapes. Les peuplements non pas résiduels comme beaucoup d'auteurs l'ont écrit, mais contemporains et identiques à cette forêt disparue seraient ceux de Sidi Kaouki situés à 15 km au Sud d'Essaouira.

Aucune recherche des paléoenvironnements n'a porté sur ce secteur. A. BALLOUCHE (1986) a effectué des sondages destinés à l'analyse pollinique dans plusieurs régions du Maroc ; le plus bel exemple étant celui de la lagune de Oualidia. Les carottages les plus méridionaux sont ceux de l'oued Tensift. Aussi, pour ce qui touche aux paléoenvironnements, le terme de "reconstitution" utilisé avec enthousiasme certes, mais trop souvent sans s'interroger sur son vrai sens ni sur la connotation qu'il peut porter, nous paraît excessif. En réalité, il n'est fait aucune reconstitution ni reconstruction si ce n'est par la pensée. C'est pourquoi nous préférons parler de recherche des paléoenvironnements.

Il était donc intéressant de poursuivre ce type de recherches à Essaouira, située plus au Sud. Quel type de milieu a précédé le géosystème dunaire ? Pourquoi et comment s'est faite cette évolution ? Si effectivement une forêt avait existé à l'emplacement des sables actuels, pouvait-on lui associer le terme de primaire ? Quand on connaît le riche passé archéologique de cette région et son occupation humaine très ancienne, il est permis d'en douter, même si on ne doit porter aucun a priori. En effet, les récits et descriptions laissés par les géographes et voyageurs de l'Antiquité, du Moyen Âge, des périodes modernes et contemporaines, concernant l'histoire du milieu et son évolution sont nombreuses (STRABON, 1er siècle ? (1924) ; PLINIE l'Ancien, 1er siècle (1980) ; LÉON l'Africain, 16e siècle (1981) ; DESJACQUES et KOEBERLÉ, 1955 ; JODIN, 1957, 1966 et 1967 ; BERTHIER, 1966). Même si d'autres travaux ont aussi apporté des connaissances majeures sur ce terrain (WEISROCK, 1980 ; CHAHBOUN, 1988 ; GENTILE, 1997), les recherches paléoenvironnementales menées jusqu'à aujourd'hui n'ont pas réussi à déterminer le type de milieu prédominant et les relations que l'homme entretenait avec celui-là au Sud de l'oued Tensift. Doit-on parler de mythe ou de réalité à propos de la disparition de la junipéraie remplacée par le massif dunaire ? Dans quelle mesure la dimension culturelle intervient-elle dans la perception de l'espace dunaire actuel ?

La première difficulté à résoudre était de trouver un système hydro-sédimentaire, lac, marais, ou lagune capable de contenir et préserver les pollens. La région étant dépourvue de lacs et de

marais, seules les dépressions interdunaires étaient susceptibles d'archiver l'histoire des formations végétales locales. Mais dans ce type de milieu semi-aride il est bien difficile de trouver des pollens bien conservés et l'expérience l'a confirmé. Des assèchements prolongés ont oxydé les sédiments fossilisés si bien que les pollens n'étaient pas déterminables. Les recherches ont alors été orientées vers un autre marqueur paléobotanique : les phytolithes.

Aussi, la connaissance des paléoenvironnements n'est pas suffisante pour comprendre l'évolution récente et le fonctionnement du géosystème dunaire. Malgré le boisement, un meilleur contrôle de ce milieu instable est nécessaire. Les recherches qui suivent n'ont pas la prétention d'apporter des solutions radicales et prêtes à l'emploi pour maîtriser les problèmes d'ensablement, mais simplement d'apporter leur contribution à une meilleure appréhension et compréhension de la dynamique dunaire. Quelles sont les différentes séquences sédimentaires enregistrées sous les sables dunaires ? Que peut-on lire à travers la minéralogie de celles-ci et de ceux-ci ? Comment évolue la topographie des dunes ? Comment les actions éoliennes et hydriques agissent sur le géosystème ? Quelle place tient l'anthropisation dans la dynamique dunaire ? C'est à ces questions que nous tenterons de répondre en utilisant diverses méthodes de recherches.

Méthodologie :

C'est aux liens entre éléments biotiques et abiotiques interdépendants au sein et entre les unités spatiales définies que nous nous intéresserons. En effet, " pour bien concevoir un objet, écrivait LAMARCK, il faut d'abord l'envisager globalement " (G. BERTRAND, 1982). Ainsi, en choisissant de privilégier la démarche géosystémique à toute autre approche méthodologique, nous avons été amenés à analyser chacun des géoéléments du système. Les éléments biotiques étudiés sont surtout centrés sur la flore ; la faune n'est pas indispensable à la problématique posée. La composante anthropique occupe une place particulière car si l'on peut considérer qu'elle fait partie de la biocénose, nous savons très mal évaluer l'impact anthropique, ici, et d'une manière générale. Peut-être est-il préférable alors d'employer le terme " d'anthropocénose " pour caractériser les sociétés qui, par leurs activités, marquent le géosystème de leur empreinte. Si pour G. BERTRAND (1986) " le système et l'élément sont devenus les termes antagoniques d'une même démarche scientifique ", il est temps de les réconcilier. Ainsi, la référence régulière au terme de géosystème ou de géofaciès nous impose d'appréhender et d'expliquer le fonctionnement de ce milieu suivant une approche systémique ; le terme massif étant réservé à la topographie du géosystème.

La première partie est consacrée à la description des éléments biotiques et abiotiques qui forment un contexte local et régional semi-aride.

Tous les éléments abiotiques (hydromasse, aéromasse et lithomasse) sont analysés plus dans leur singularité que dans les liens qu'ils entretiennent. Ceci fera l'objet du chapitre IV en deuxième partie.

Le sol constitue l'interface entre éléments biotiques et abiotiques, c'est pourquoi l'étude et la cartographie pédologiques sont placées entre les deux, formant le deuxième chapitre.

Le couvert végétal constitue une partie seulement des éléments biotiques et il en sera l'objet unique sur lequel portera notre attention. En effet, dans le cadre problématique de la dynamique dunaire il représente le seul élément biotique déterminant capable d'interagir étroitement.

Dans la deuxième partie, formation et dynamique du géosystème sont expliquées par diverses méthodes de recherche.

L'analyse des spectres de diffractométrie X porte sur une carotte sédimentaire. Ceux-ci sont comparés à ceux du bassin-versant (sommets et versants des dunes), pour déterminer l'évolution minéralogique des sables suivant un transect Nord/Est - Sud/Ouest (direction de l'alizé). L'évolution topographique récente est analysée par photo-interprétation diachronique (morphologie du massif dunaire, répartition et types de formes dunaires et leur mobilité). L'étude de la dynamique éolienne a pour but de montrer l'ampleur de la déflation et la dynamique hydrique est recherchée à travers une discussion sur l'influence des eaux superficielles (précipitations, marée) et souterraines (biseau salé, nappes aquifères).

L'utilisation des phytolithes comme traceurs de la dynamique végétale permet d'explorer une méthode nouvelle, différente de la palynologie et prometteuse puisqu'elle a fait ses preuves dans d'autres régions arides. Nous essaierons ainsi de franchir les obstacles posés par l'oxydation des pollens.

L'équilibre du système et le facteur anthropique sont analysés à travers les interactions qui les caractérisent et individualisent le géosystème actuel. Toutes les initiatives et activités des populations locales sont prises en compte et considérées sans aucun a priori et nous verrons comment elles s'intègrent dans les processus de dynamique dunaire.

L'archéologie du géosystème dunaire d'Essaouira constitue la troisième et dernière partie du mémoire de thèse.

Le carottage de sédiments effectué au centre d'une dépression interdunaire a pour objectif d'atteindre les dépôts sous-jacents aux sables éoliens afin de mieux comprendre et mieux connaître les états antérieurs du géosystème et les transitions qui se sont produites. Les analyses granulométriques et minéralogiques sont couplées afin de montrer quelle dynamique a pu mettre en place le substratum.

Enfin, la mise en perspective dans le temps illustre les étapes de l'anthropisation locale et régionale à partir de recherches géo-historiques. Mogdoul qui deviendra Mogador puis Essaouira est marquée par une occupation humaine plurimillénaire. De nombreux conflits jalonnent son histoire et nous mènerons une réflexion sur la façon dont l'essor urbain et commercial contemporain accroît la pression sur le géosystème.

*PREMIÈRE PARTIE :
UN CONTEXTE RÉGIONAL SEMI-ARIDE*

Introduction

« The answer, my friend, is blowing in the wind. »

Bob DYLAN

Analyses, hypothèses et discussions ne peuvent être développées sans une connaissance préalable du terrain étudié et sans une connaissance approfondie de la littérature qui s'y rapporte. Si les éléments qui composent le géosystème sont distingués par leur rapport au vivant (abiotiques, biotiques), ils ne sont pas abordés de manière linéaire, séparée ou cloisonnée mais en considérant toujours les liaisons qui existent entre chacun d'eux. Par exemple, parmi les éléments abiotiques une part du rôle de l'hydromasse est liée aux caractères climatiques (précipitations franches et occultes), l'autre à l'océan Atlantique. De même l'aéromasse est contrôlée par les facteurs climatiques mais aussi par le relief qu'elle contribue à façonner (effet Venturi, effet de rugosité). D'une manière comparable, la lithomasse est tributaire de l'hydromasse et de l'aéromasse.

Les sols occupent une place centrale car ils forment une interface assurant transferts de matière et d'énergie entre éléments abiotiques et biotiques : la lithomasse et la phytomasse. De plus ils sont composés de minéraux et de matières organiques leur conférant un statut particulier et intermédiaire qui relève à la fois du vivant et du non-vivant. Ainsi la pédogénèse est conditionnée par la lithomasse (texture, structure, composition géochimique), mais aussi par l'hydromasse (fonctions de transferts et d'altération), l'aéromasse (évaporation) et la phytomasse (tapis végétal acide ou alcalin).

Les éléments biotiques végétaux dépendent de l'hydromasse (quantité minimale d'eau assurant un bon rendement photosynthétique), de la lithomasse (acidité ou basicité de la roche), de la pédomasse (type d'humus, texture, structure et capacité d'échange cationique) et de l'aéromasse (température, lumière, évapotranspiration).

Dans l'approche systémique ou géosystémique en l'occurrence, et comme il a été défini en introduction générale, le géosystème assure des liaisons internes mais aussi des liaisons externes. C'est pour cette raison qu'on ne peut occulter les éléments périphériques au géosystème et avec lesquels il assure des liaisons externes. Dans ce sens, le contexte régional semi-aride est souligné en première partie par des exemples propres au terrain d'étude bien sûr, mais aussi parfois lointains comme c'est le cas dans le chapitre I2 avec les formations géologiques secondaires (Trias, Jurassique et Crétacé). A priori, ces dernières ne sont pas concernées par l'aire qui nous intéresse mais nous verrons au chapitre IV3 concernant l'hydrodynamisme souterrain que plusieurs liens existent entre elles. Ainsi, l'approche choisie n'est pas compatible avec la circonscription à des limites nettement découpées et fixes. Dans une même recherche, ces limites doivent être variables en fonction de l'objet étudié au sein du géosystème, caractéristique inhérente à la notion même de système.

Malgré le classement de la localité souirie dans le domaine semi-aride suivant les calculs d'indices bioclimatiques, nous allons voir que cette " semi-aridité " se distingue du caractère semi-aride de localités voisines par des éléments et des facteurs climatiques originaux. Le paysage indique une dynamique éolienne partout présente et les dépôts sableux quaternaires recouvrent des formes marines entaillées par le ruissellement. Par conséquent, les sols soumis à une pédogénèse fragile sont et restent squelettiques. Ils sont recouverts par une végétation clairsemée et adaptée aux conditions arides du milieu dunaire.

CHAPITRE I

LES ÉLÉMENTS ABIOTIQUES :
HYDROMASSE, AÉROMASSE ET LITHOMASSE

« L'observation de la nature doit être assidue,
la réflexion profonde
et l'expérience exacte. »

Denis DIDEROT

L'alizé, le courant des Canaries et le phénomène d'upwelling jouent un rôle primordial sur le climat régional. De la même manière, aéromasse et hydromasse océanique sont les principaux acteurs et/ou facteurs morphodynamiques.

Ainsi, les éléments abiotiques mettent en valeur des facteurs climatiques originaux, d'une part, et montrent, d'autre part, qu'ils conditionnent la géodynamique.

1) Des caractères et des facteurs climatiques originaux : un " désert " brumeux

Essaouira est une station balnéaire célèbre pour son doux climat. Les populations avoisinantes affluent de Marrakech, de Safi et de beaucoup d'autres villes plus petites et certaines familles n'hésitent pas à venir de la capitale et du Nord du pays pour y passer leurs vacances. Cela dit, à la clémence des températures s'opposent d'autres éléments climatiques moins agréables.

A) La variabilité des caractères principaux

Il est, dans un premier temps, très important de préciser qu' à Essaouira, à l'inverse de beaucoup d'autres régions, l'eau météorique est issue de deux sources importantes : la pluviosité et les précipitations occultes.

a) Des précipitations peu abondantes et très variables

La pluviométrie totale annuelle, en moyenne de 279 mm, constitue un faible apport hydrique qui arrose la localité et ses environs.

Par comparaison avec d'autres stations régionales, Essaouira, bien que située en bordure océanique, enregistre la plus petite moyenne pluviométrique annuelle pour la période 1950-1976, exceptée, la cuvette aride de Chichaoua (tabl. I).

Tableau I : Pluviométrie totale moyenne annuelle, d'après A. WEISROCK (1980), modifié

- (1) d'après H. Gausson et al. (1958) en années civiles,
- (2) d'après la Météorologie Nationale Marocaine, en années agricoles,
- (3) 1950-1953.

<i>Sites</i>	<i>stations</i>	<i>altitude (m)</i>	<i>pluviométrie totale</i>
--------------	-----------------	---------------------	----------------------------

			<i>Moyenne annuelle (mm)</i>	
			<i>1925-1949(1)</i>	<i>1950-1976 (2)</i>
Littoral	Essaouira	5	287	271,3
	Safi	15	327	317,9
	Bou Tazert	35	257	-
	Agadir	32	226	283
Plateaux	Aïn El Hajar	145	382 (3)	406,2
Intérieurs	Had Draa	251	348	-
	Chihaoua	340	175	208,3
	Imgrad	450	452	537,3
	Tamanar	360	313	-

Dans un contexte plus général, nous pouvons observer, dans le tableau II, que les précipitations diminuent avec la latitude, notamment le long de la côte atlantique.

Tableau II : Variation des précipitations annuelles en fonction de la latitude, d'après P.J. LAMB et R. A. PEPLER (1988), modifié.

<i>Stations</i>	<i>latitude N</i>	<i>Précipitations annuelles en mm</i>
Tanger	35° 43'	895
Rabat	34°	496
Casablanca	33° 34'	511
Safi	32° 17'	327
Essaouira	31° 31'	286
Agadir	30° 23'	224

Le régime annuel des pluies suit le schéma AHPE (fig. 5). Novembre, Décembre, janvier, Février, Mars et Avril sont les mois les plus humides, avec un maximum mensuel oscillant entre Décembre et Novembre. Les maxima de précipitations sont nettement marqués en automne et hiver, avant de diminuer graduellement de Février à Mai.

L'été est sec, conforme au modèle méditerranéen et marque une opposition saisonnière très forte. Notons, à travers ces observations, les nuances qui se dégagent au sein du bassin méditerranéen. Alors que sur sa partie nord-occidentale, ce dernier enregistre des maxima de précipitations en Automne et au Printemps, à Essaouira, les maxima sont atteints en automne et en hiver, comme sur le restant du pourtour méditerranéen.

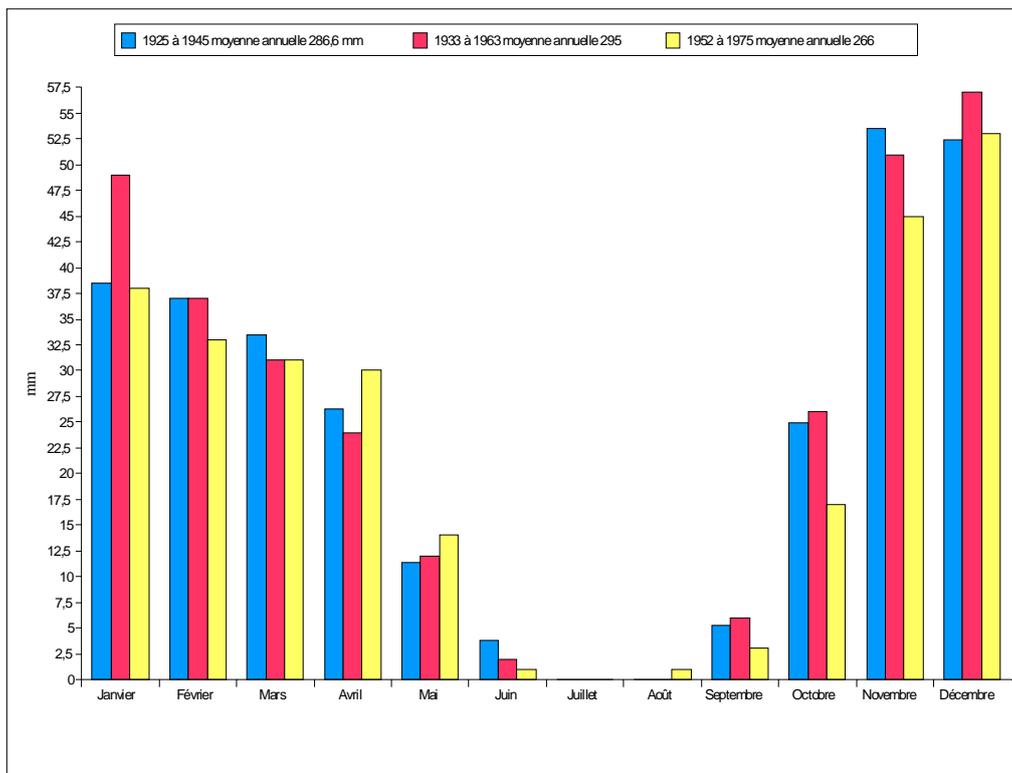


Fig. 5 : Pluviométrie moyenne mensuelle à Essaouira, d'après M. HOUMIMYD et M. ALLAM (1990), modifié,
 1925 à 1945, Métro (1952),
 1933 à 1963, Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire,
 1952 à 1975, F. Zyadi (1986).

Aussi, comme l'a démontré BELLICHI (1998), à travers l'étude des régimes pluviométriques du Maroc du centre-Ouest s'étendant de Casablanca à Marrakech, Essaouira s'inscrit dans une variante méridionale des régimes pluviométriques, à l'inverse de Safi, pourtant située à moins de 100 km au Nord, qui se rattache au modèle pluviométrique de Casablanca. Dans cette variante méridionale, Essaouira se distingue de Chichaoua et Marrakech par une concentration des précipitations en automne-hiver où il pleut davantage et plus souvent qu'en hiver-printemps (caractéristique des régimes de l'intérieur).

La répartition interannuelle connaît, elle aussi des variations notables. Des périodes pluriannuelles humides et arides ont été observées (GRAVIER et WEISROCK, 1988 ; GENTILE 1997).

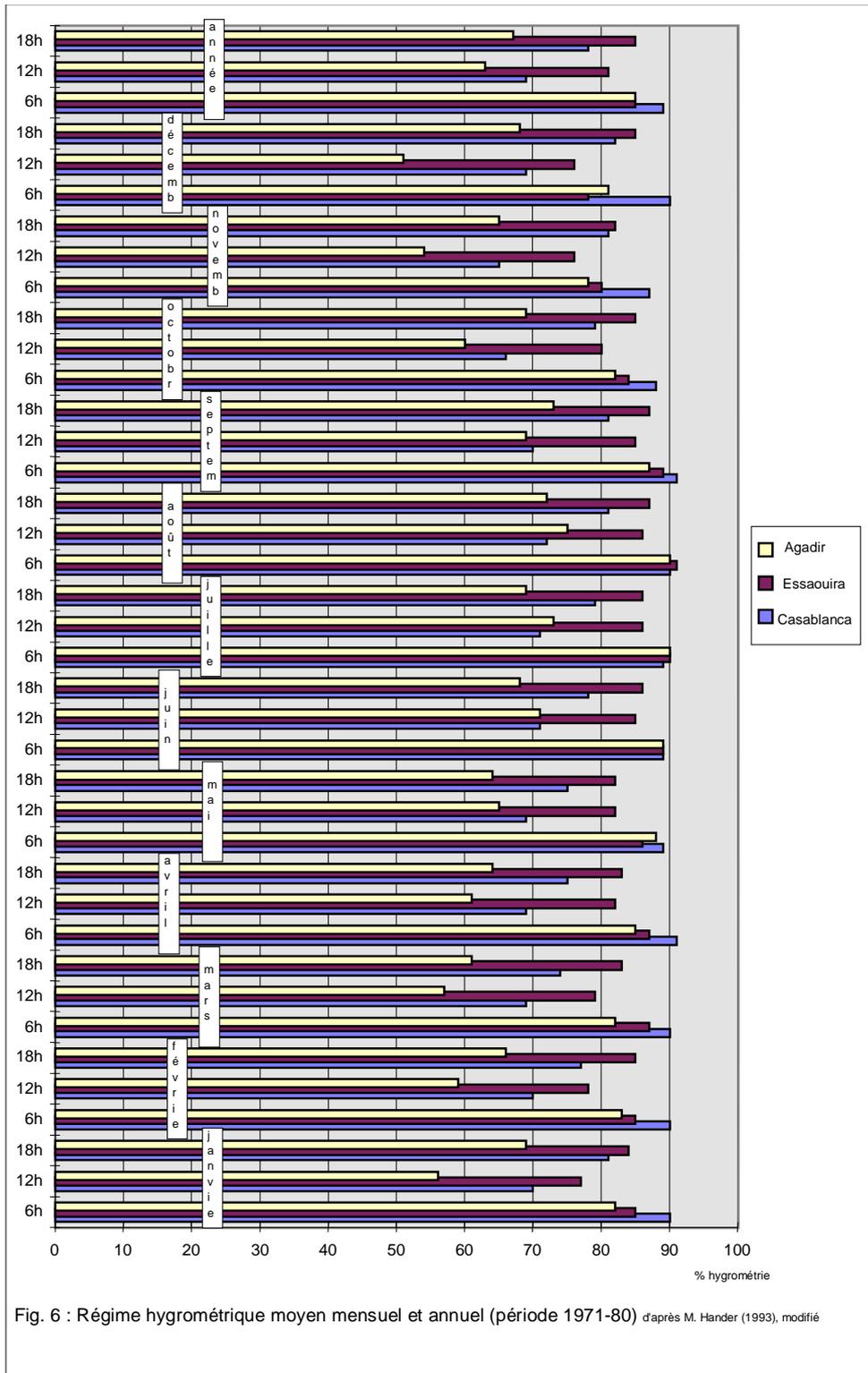
Ce premier élément climatique est renforcé par une humidité relative élevée très caractéristique à Essaouira. Toujours supérieure à 75 %, elle a deux origines : les brumes côtières périodiques et les alizés qui se chargent en vapeur d'eau sur l'océan Atlantique. Les premières sont les plus pourvoyeuses en humidité relative la nuit, et c'est en été qu'elles se produisent le plus souvent. Les brouillards estivaux sont particulièrement importants à Essaouira et autres sites exposés aux influences maritimes. H. DELANNOY (1980) explique leur formation par : " la combinaison de processus radiatifs et advectifs conditionnés par la température des eaux côtières, l'altitude de la surface d'inversion et le type de situation atmosphérique ".

Tableau III : Nombre moyen de jours de brouillard, d'après H. DELANNOY (1980).

La période d'observation du Cap-Spartel, données extraites de P. Erimesco (1965), n'est pas précisée. La saison estivale d'Ifni, données rassemblées par L. Font Tullot (1955) ne porte que sur trois mois : Juillet à Septembre.

Stations	Période d'observation	Jours de brouillard		% été dans l'année
		été	année	
Tanger-ville	1949-58	3,5	6,8	51
Cap-Spartel	-	22	37	59
Tanger-Aéro	1954-73	5,1	10,7	48
Larache	1962-73	21,1	45,3	47
Kénitra	1954-73	13,9	57,4	24
Rabat-Salé	1954-73	18,9	41	46
Casablanca	1954-73	13,2	36,1	37
Nouasseur	1954-56, 58, 70-72	21,6	62	35
Averroès	1936-53	10,6	26,5	40
Safi	1955-73	6,5	22	30
Essaouira	1954-1973	11,6	18,6	62
Agadir	1954-73	15	33,9	44
Ifni	1941-53	19,3*	43,1	45*
Tarfaya	1941-53	3,7	12,4	29,8

Durant la journée, l'alizé maritime balaie ces brumes mais fournit une quantité d'humidité importante. Si bien que l'hygrométrie moyenne annuelle reste très élevée (fig. 6). Des trois villes atlantiques (Casablanca, Essaouira et Agadir), c'est Essaouira qui enregistre les plus forts taux d'humidité relative à 12 h et 18 h en moyenne annuelle, devant Casablanca qui est première à 6 h avec 89 %. A ces trois instants de la journée, l'hygrométrie dépasse 80 % à Essaouira. Elle atteint 85 % à 6 h et 18 h.



Ces pourcentages élevés d'humidité relative ont une influence notable sur les températures.

b) Les données thermiques des masses d'air

Positionnée à la latitude d'Alexandrie et des grands ergs Nord-sahariens, Essaouira jouit d'un climat très tempéré, doux en hiver et frais en été.

Tableau IV : Températures annuelles en ° C, d'après A. CHAHBOUN (1988) modifié et complété,

(1) période 1955 à 1975,

(2) période 1947 à 1976,

(3) période 1941 à 1970.

<i>Stations</i>	<i>Long. O.</i>	<i>Latit. N.</i>	<i>Alt.(m)</i>	<i>Temp. moy.</i>	<i>Max. moy.</i>	<i>Max. abs.</i>	<i>Min. moy.</i>	<i>Min. abs.</i>	<i>Amplitude annuelle</i>	<i>écarts extrêmes annuels</i>
Safi (1)	9°14'	32°17'	43	17,9	23,2	44,3	12,7	2,4	10,5	41,9
Essaouira (2)	9°47'	31°31'	7	17,2	20,0	30,4	14,5	6,5	5,50	23,9
Agadir (3)	9°34'	30°23'	18	18,4	23,6	40,7	13,3	1,0	10,30	39,7
Marrak. (3)	8°07'	31°37'	464	19,8	26,9	46,4	12,8	0,1	14,10	46,3

L'examen du tableau IV, par comparaison avec d'autres stations régionales, indique un comportement thermique singulier pour Essaouira. La température moyenne annuelle est la plus basse des quatre stations, malgré la position plus septentrionale de Safi et la situation plus intérieure et plus élevée de Marrakech (140 km du littoral et 464 m d'altitude). Les maxima sont les plus bas et les minima, les plus hauts. Ce qui donne l'amplitude annuelle la plus serrée avec 5,5 °, seulement, malgré la position également littorale de Safi et d'Agadir.

Tableau V : Moyennes des températures maxima des mois d'été en ° C (1925-1949),

d'après A. Weisrock (1980).

<i>Stations</i>	<i>Juin</i>	<i>Juillet</i>	<i>Août</i>	<i>Septembre</i>
Essaouira	20,9	21,8	22,2	22,3
Agadir	25,9	26,5	27,1	26,8
Tamanar	31,3	36,8	37,4	32,7
Chichaoua	32,7	37,6	38,3	34,1

La moyenne des maxima des mois d'été à Essaouira est inférieure de cinq degrés à celle d'Agadir, et de dix à seize degrés à celle des autres stations. Il n'y a pas de véritable chaleur d'été, " suffocante, " telle qu'on peut la ressentir à Chichaoua, Tamanar ou surtout Marrakech.

Tableau VI : Moyennes des températures minima des mois d'hiver en ° C (1925-1949),

d'après A. WEISROCK (1980).

<i>Stations</i>	<i>Décembre</i>	<i>Janvier</i>	<i>Février</i>
Essaouira	10,7	9,5	10,4
Agadir	8,4	7,2	8,5
Tamanar	8	6,8	7,5
Chichaoua	4,1	2,8	4,6

La douceur de l'hiver très caractéristique est imputée à l'intrusion d'air tropical maritime qui est aussi à l'origine d'une partie de la cyclogénèse (H. DELANNOY, 1982 et 1988).

Les tableaux IV, V et VI illustrent clairement, d'un point de vue thermique, la particularité du climat d'Essaouira qualifié de climat insulaire canarien par C. SAUVAGE (1962). Le caractère de continentalité lui échappe totalement alors que les autres stations le subissent (Chichaoua, Tamanar et Agadir).

Aussi, alors que prédomine un climat littoral sur toute la bordure atlantique, Essaouira se distingue nettement de cette entité régionale en plus de l'ensemble du pays.

C'est également le cas en ce qui concerne l'aérodologie.

B) La marque prépondérante de l'alizé

S'il est un élément marquant toute la côte de l'Atlas atlantique, le vent souffle fréquemment et avec force à Essaouira plus qu'ailleurs (tableaux VII et VIII). Le secteur principal est celui de Nord/Nord-Est (NNE), (tableau IX et figure 7).

Tableau VII : Vitesse moyenne des vents en km/h, d'après A. Chahboun (1988).

<i>Stations</i>	<i>Hiver</i>	<i>Printemps</i>	<i>été</i>	<i>Automne</i>
Safi	10,8	18,0	18,7	15,1
Essaouira	15,5	19,8	20,1	13,7
Agadir	8,6	12,2	8,6	9,4

Tableau VIII : Les jours calmes et venteux à Essaouira (1958-67), d'après A. WEISROCK (1980).

	<i>Nombre de jours</i>		<i>%</i>	<i>% de jours venteux</i>
	<i>Calmes sur 10 ans</i>	<i>moyenne</i>		
Janvier	183	18,3/31	59	41 %
Février	139	13,9/28	49,5	50,5
Mars	99	9,9/31	32	68
Avril	62	6,2/30	20,6	79,4
Mai	89	8,8/31	28,8	71,2
Juin	86	8,6/30	28,6	71,4
Juillet	32	3,2/31	9,7	92,3
Août	52	5,2/31	15,9	84,1
Septembre	121	12,1/30	40	60
Octobre	146	14,6/31	47	53
Novembre	171	17,1/30	56	44
Décembre	144	14,4/31	46,5	53,5
Année		142,4/365	38	62

Tableau IX : Classement des vents en fréquence et intensité selon les 12 mois pour les années 1958 à 1967. Seules sont prises en compte les sommes des produits (f x n) supérieurs à 500 des 8

vents les plus forts, f étant la vitesse du vent en m/s (de 2 à 20), n le nombre de jours venteux correspondants ; d'après A. WEISROCK, (1980).

Rang	1	2	3	4	5	6	7	8
J	NE	NNE	ENE	S	N	ESE	SO	E
F	NE	NNE	E	ENE	SSO	SO	N	ESE
M	NNE	NE	N	SO	ENE	E	ESE	SSO
A	NNE	N	NE	ENE	E	ESE	NO	NNO
M	NNE	N	NE	E	ENE	NNO	ESE	
J	NNE	N	NE	ENE	E	NNO		
J	NNE	ENE	N	NE	E	NNO		
A	NNE	NE	N	ENE	NNO	E		
S	NNE	N	NE	NNO	ENE	NO	ONO	O
O	NNE	NE	N	ENE	O	E	SO	OSO
N	NE	NNE	ENE	N	OSO	O	SO	SSO
D	NE	NNE	SO	N	ENE	S	E	SSO

Les vitesses les plus élevées se produisent au Printemps et en Été avec des valeurs respectives de 19,8 et 20,1 km/h (tabl. VII). Et les fréquences les plus élevées se distribuent de Mars à Septembre dans un intervalle de 60 à 92,3 % de jours venteux (tabl. VIII). L'alizé de secteur NNE est le vent dominant la plus grande partie de l'année avec une fréquence et une vitesse plus élevées au printemps, en été et en début d'automne (fig. 7 et tableau IX).

Pour déclencher et entretenir une dynamique dunaire, la notion de vent efficace est primordiale ; d'après certains auteurs (CAPOT-REY, 1965 ; CLOS-ARCEDUC, 1969 et GLENNIE, 1970 ; in WEISROCK, 1980) la vitesse seuil à partir de laquelle le vent devient efficace est 6 m/s. C'est la valeur qui a été retenue pour établir les roses mensuelles de la figure 7 ; cette dernière illustre la prédominance des vents efficaces de secteur NNE de Mars à Octobre et la relative constance des secteurs NE et N tout au long de l'année. Alors que de Novembre à Février le secteur NNE s'efface au profit des secteurs S à SW.

Le tableau IX représente le classement mensuel des vents par efficacité décroissante selon huit degrés. Le secteur NNE occupe la première position de Mars à Octobre et la deuxième de Novembre à Février. Durant ces quatre mois, c'est le secteur NE qui l'emporte montrant ainsi la grande stabilité de la cellule anticyclonique des Açores. Sa remontée latitudinale est reflétée par l'efficacité des vents de secteur N qui enregistrent leurs maxima durant les mois d'avril et de Mai (fig. 7) et se placent en deuxième position d'Avril à Juin (tabl. IX).

Les flux alizéens issus de l'anticyclone des Açores génèrent un temps ensoleillé mais venteux la plus grande partie de l'année.

L'humidité supplémentaire dont est chargé l'alizé ne suffit pas pour combler le manque d'eau sur la localité d'Essaouira. Cette lacune impose de classer la ville et ses alentours dans le domaine bioclimatique semi-aride.

C) Un milieu semi-aride à influences océaniques

Les indices d'aridité définis selon DE MARTONNE, THORNTHWAITE ou EMBERGER s'accordent tous pour classer Essaouira dans le domaine bioclimatique semi-aride. Alors que d'autres stations régionales telles qu'Had Draa, Tamanar et Chichaoua appartiennent tantôt à l'étage semi-aride, tantôt à l'aride, voire au saharien, selon les auteurs (tabl. X, ci-dessous).

Tableau X : Indices d'aridité de quelques stations régionales,
d'après A. WEISROCK (1980), modifié, A pour aride et SA pour semi-aride.

<i>Stations</i>	<i>Indices d'aridité</i>		
	<i>De Martonne</i>	<i>Thornthwaite</i>	<i>Emberger</i>
Essaouira	10,66 (S.A.)	-38,2 (S.A.)	70,50 (S.A.)
Had Draa	11,95 (S.A.)		31,02 (A.)
Chichaoua	6,05 (A.)	-49,2 (A.)	11,99 (Saharien)
Bou Tazert	8,95 (A.)		27,49 (A.)
Tamanar	10,46 (S.A.)	-41,2 (A.)	23,14 (A.)
Agadir	7,87 (A.)	-44,7 (A.)	33,11 (A.)

L'aire bioclimatique semi-aride définie par EMBERGER correspond à l'étage thermo-méditerranéen selon la classification d'OZENDA (1982).

Avec 279 mm de précipitations, l'Atlantique n'est pas un grand générateur de pluies. Les cyclogénèses dont il est à l'origine se forment principalement en Automne et en hiver, comme nous l'avons vu plus haut, et proviennent de l'Ouest ou du Sud-Ouest (air tropical maritime).

L'explication de la faible quantité de précipitations trouve son origine dans un processus qui s'auto-entretient : l'upwelling. En effet, un courant marin froid orienté NNE-SSO balaie la côte marocaine au large : c'est le courant des Canaries. Mais, au niveau d'Essaouira, ce courant (au sens strict du terme) n'existe pas. Il laisse la place à une dérive littorale plus ou moins forte (W. GENTILE, 1997) qui correspond à des remontées d'eau froides et profondes. Celles-ci sont impulsées par l'entraînement des eaux tièdes superficielles vers le Sud par l'alizé issu de l'anticyclone des Açores. C'est une anomalie thermique négative qui régulièrement s'installe sur le plateau continental marocain entre Casablanca et le cap Bojador (Sahara occidental). Le phénomène suit la remontée en latitude des cellules anticycloniques subtropicales calquée sur le balancement de l'équateur météorologique. Avec un léger décalage dans le temps, l'anticyclone des Açores prend une position plus septentrionale, de Mars à Octobre, c'est à dire de l'équinoxe de printemps à l'équinoxe d'automne. Et c'est de Juin à Octobre que les eaux froides de l'upwelling remontent à la surface. Ainsi, les hautes pressions deviennent plus vigoureuses et engendrent les alizés puissants et constants que nous avons décrits plus haut.

Aussi, c'est à l'interface océan/atmosphère que se font les relations de ce système couplé. En effet, les eaux froides renouvelées refroidissent les masses d'air supérieures et renforcent la subsidence de la cellule anticyclonique, qui elle même entretient l'upwelling par l'action des alizés, et ainsi de suite.

Il sagit ici d'une influence climato-océanique négative qui aridifie le milieu en empêchant toute cyclogénèse.

En revanche, la proximité de l'océan joue un rôle déterminant, même s'il reste mineur, dans l'apport d'humidité relative. D'après M. HOUMINYD et M. ALLAM (1990), une compensation de

l'ordre de 50 mm/an est assurée par les précipitations occultes issues des brouillards côtiers et est directement absorbée par les feuilles des végétaux.

Il s'agit ici d'une influence climato-océanique positive caractéristique d'un désert brumeux.

À une échelle plus large, des relations entre les fluctuations de la circulation atmosphérique sur l'hémisphère Nord et les précipitations au Maroc sont établies (BELAASSAL, 1998). L'auteur précise que " les sécheresses les plus sévères sont liées à une activation négative " de la NEAO (North East Atlantic Oscillation) vu l'importance de la liaison statistique entre la NEAO et les précipitations. Ainsi, l'indice de la NAO étant la différence de pression entre les Açores et l'Islande (DELANNOY, 1998), un indice élevé indique la vigueur de la circulation d'Ouest (situation favorable à la cyclogénèse), et un indice faible ou négatif signifie une circulation méridienne voire bloquée sur le Nord-Est de l'Atlantique. Ce qui est souvent le cas à Essaouira.

Mais l'originalité climatique de cette localité trouve aussi son explication à travers des facteurs topographiques locaux qui accentuent les facteurs précédents. En effet, la ville forme une presqu'île au bout de laquelle est située la station météorologique. Cette position très avancée dans la mer enregistre des températures insulaires et un degré hygrométrique élevé.

Aussi, le long du littoral se sont édifiées des dunes, que nous décrivons plus loin, et qui lui sont parallèles (NNE/SSW). Ces dunes, aujourd'hui en partie consolidées, et la falaise morte plus à l'Est, atteignant plus d'une centaine de mètres d'altitude (WEISROCK, 1980), elle aussi parallèle au rivage, ont tendance à renforcer les vents au sol par canalisation (effet Venturi).

A l'échelle régionale, c'est la configuration du littoral qui apporte sa contribution dans la direction des alizés. Essaouira est le site le plus bas de l'Atlas atlantique avec 5 m (tabl. I et IV). Entre Safi et Essaouira, la côte est uniformément basse et presque rectiligne. L'absence d'obstacles facilite une direction constante et une vitesse maximale du vent.

Alors que la continentalité se fait nettement sentir sur les autres stations régionales (froid marqué en hiver, forte chaleur en été, tabl. V et VI), Essaouira y échappe tant par l'upwelling côtier que par sa position littorale, quasi insulaire. Elle est assurément la ville du Maroc, voire du Maghreb, la plus tempérée ; mais aussi la plus ventée, l'alizé constituant un caractère climatique majeur à l'échelle locale, aidé par une topographie qui renforce son efficacité. Les précipitations sont marquées par une sécheresse estivale rattachant Essaouira au modèle du régime méditerranéen.

Au total, le quotient pluviothermique d'Emberger qui permet d'établir des nuances au sein des domaines bioclimatiques arides et semi-arides, isole Essaouira du reste de sa région en la classant dans l'aire semi-aride à hiver chaud, particularité qu'elle détient singulièrement, même si Safi s'en rapproche.

Si les influences maritimes sont fortes sur le plan climatique, la géodynamique régionale est conditionnée en grande partie aussi par l'océan Atlantique.

2) L'eau, le vent et la tectonique : éléments-clé de la géodynamique

Les formes du relief sont façonnées par un jeu subtil entre les divers processus morphodynamiques. La disposition topographique et les formations géologiques sont principalement liées à l'histoire océanique s'inscrivant dans le paysage à une échelle relativement petite sur le plan spatial et très longue sur le plan temporel qui dépasse largement le Quaternaire. Mais le transport éolien et le ruissellement jouent un rôle important. Ils agissent sur un secteur plus restreint (limité au domaine littoral pour le premier) et à une échelle temporelle plus courte, limitée au Quaternaire où la tectonique a joué un rôle plus modeste.

Avant d'évoquer la géodynamique passée et actuelle, une présentation de la topographie actuelle qui en est le résultat est nécessaire.

A) Une topographie étagée et peu élevée

La topographie conditionne le ruissellement mais aussi la morphodynamique éolienne par les effets d'accélération (effet Venturi et déflation) et les effets de ralentissement (effet de rugosité et accumulation). Dans un géosystème semi-aride et à fortiori dunaire, la topographie constitue donc un facteur primordial qui oriente l'évolution des formes du relief.

Au Nord d'Essaouira, le littoral est grossièrement rectiligne et orienté NNE-SSW. Il forme un cap sur lequel est bâtie la ville avant de subir, au Sud de celle-ci, une incurvation qui donne la magnifique baie longue de cinq kilomètres (cf. cartes n° 2 et 3).

La région n'est pas très élevée dans l'ensemble, notamment les proches environs d'Essaouira. Et si A. WEISROCK (1980) rattache cette partie à l'Atlas atlantique, c'est plus pour des raisons tectoniques que pour une altitude élevée. En effet, une série de bas plateaux étagés forment le relief et il faut s'enfoncer 25 km vers l'intérieur pour dépasser 300 m seulement (cf. carte n° 2).

Ces bas plateaux dont l'altitude varie entre 0 et 300 m sont orientés parallèlement au littoral suivant une direction méridienne.

Le plateau d'Essaouira est limité au Nord par le plateau d'Akermoud ; au Sud, par le plateau des Ida Ou Gourd. Au dessus de 300 m les plateaux moyens suivent aussi une orientation méridienne ; ils se situent donc à l'Est des bas plateaux et correspondent à « des plateaux bosselés et accidentés de collines ou bombements surbaissés » (WEISROCK, 1980). Ce sont les Chiadma des Hennchanne, Korimat, Meskala, collines de Neknafa, Aït Zeltene, Haha Nord-Est. Ceux-ci forment des collines couvertes d'arganiers. Alors que plus à l'Est, la structure plissée sous-jacente accroît encore le relief et fait le lien entre plateaux moyens et montagne.

En coupe, le schéma topographique est quasiment uniforme de l'oued Tensift au cap Rhir ; la figure 8, ci dessous, en donne un aperçu. D'Ouest en Est se succèdent une étroite plaine littorale constituée parfois d'une oulja (plaine côtière marécageuse) comme c'est le cas à Sidi Bettache et Sidi Mohamed Rasfa au Nord d'Essaouira (A. WEISROCK, 1987) ; un talus que nous appelons talus ouljien ; une série de plateaux dont le plateau moghrébien qui se relève de 100 à 250 m vers l'Est est le mieux conservé ; puis un second talus nettement marqué correspondant au talus moghrébien. Les termes de Moghrébien et d'Ouljien faisant référence à la chronologie du Maghreb seront définis plus bas.

Entre le talus ouljien et le plateau moghrébien, des replats s'intercalent avec leur talus correspondant. Ce qui donne une coupe en escalier montant vers l'Est. Mais ils ne sont que

rarement bien conservés, en raison de l'érosion hydrique et éolienne, et, par conséquent, peu distincts. Ils sont souvent très disséqués et marquent des niveaux intermédiaires décrits plus bas. L'étagement est de mieux en mieux marqué vers le Sud, et au delà du cap Rhir, partie la plus montagneuse correspondant à la zone axiale, prolongement du Haut-Atlas (R. AMBROGGI, 1963).

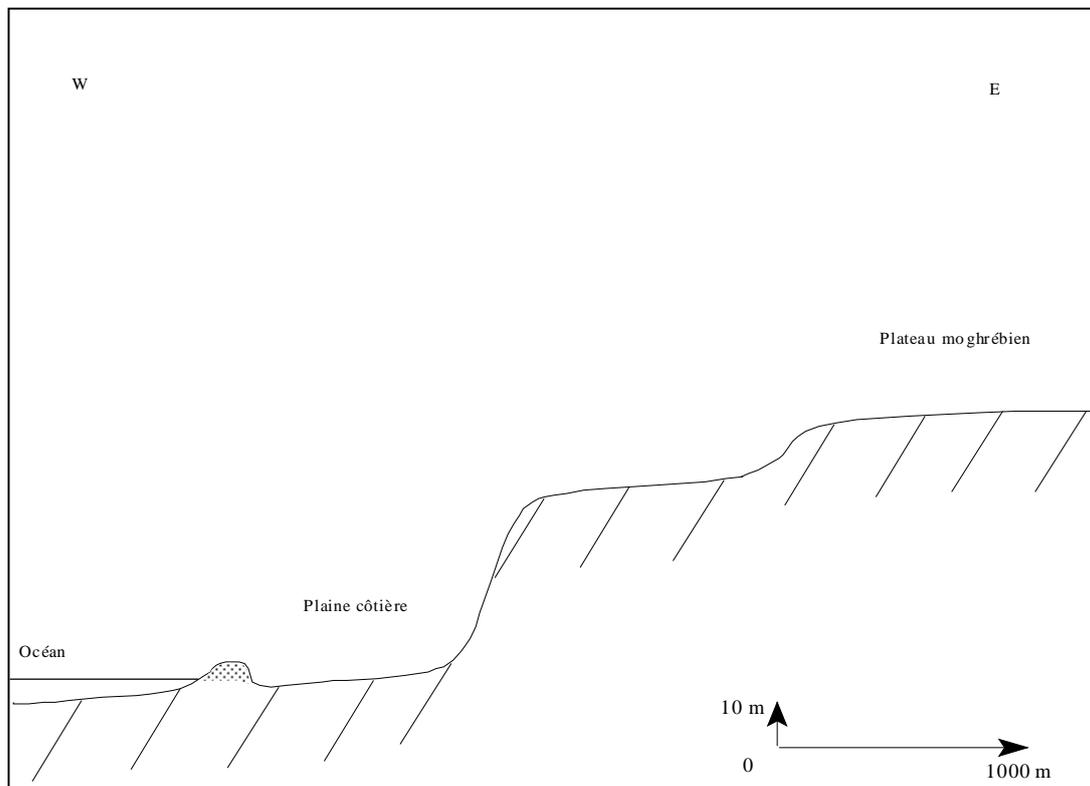


Fig. 8 : Coupe schématique du relief littoral.

Plus en détail, le massif dunaire d'Essaouira-Est est accumulé entre la ville et le talus ouljien (fig. 10). Son altitude est très faible puisqu'elle est située entre 25 m et 45 m à peine. Le relief alterne entre parties basses (les sillons interdunaires) et parties hautes (les crêtes dunaires). Les édifices sableux forment des barkhanes (dunes en forme de croissant dont les extrémités s'étirent dans le sens du vent). Leur flèche est orientée grossièrement Nord-Sud. Ces barkhanes sont souvent coalescentes et elles sont fixées par une végétation arborée à *Acacia cyanophylla* et *Eucalyptus gomphocephala*. Les dépressions sont occupées par des mares temporaires et dépourvues de végétation exceptée les peuplements algaires et les salicornes. Dans sa partie nord-occidentale, le massif dunaire jouxte l'océan par l'intermédiaire du cordon dunaire littoral (cf. carte n° 5, chap. IV2B).

B) Lithostratigraphie et empreinte de l'histoire océanique

Lorsqu'on arrive à Essaouira par la route principale n° 10 (de Casablanca ou de Marrakech), la première image que l'on a est celle de l'immensité de l'océan face à l'espace urbain. C'est à partir d'Azelf, un point de vue panoramique qui surplombe la ville, sa baie et les alentours, que l'on peut avoir cette impression. On comprend alors la forte influence marine.

En effet, l'ouverture du bassin atlantique constitue un élément fondamental de la lithostructure régionale. Les travaux précurseurs de géologie marocaine ont permis de connaître très tôt la stratigraphie régionale (A. BRIVES, 1902 ; L. GENTIL, 1902 et P. LEMOINE, 1905, in A. WEISROCK, 1980). Mais les deux thèses d'E. ROCH (1930, in A. WEISROCK, 1980) portant sur l'ensemble du bassin sédimentaire côtier d'Agadir-Safi et de R. AMBROGGI (1963, in A. WEISROCK, 1980) limitée à sa partie méridionale, constituent des ouvrages-clé. Aussi, la recherche pétrolière a encore précisé la stratigraphie mais a surtout apporté de nouvelles connaissances sur la sédimentologie et la tectonique de la chaîne atlasique (DUFFAUD et al., 1966, in WEISROCK, 1980).

Les faciès lithologiques qui caractérisent le secteur Nord de l'Atlas atlantique s'étendent chronologiquement de la fin du Primaire à aujourd'hui.

a) Les affleurements permo-triasiques

Ils correspondent à un paléorift préfigurant l'ouverture de l'Océan atlantique (A. WEISROCK, 1980) et sont caractérisés par des formations d'argiles rouges salifères et gypsifères (COCHET et COMBE, 1976), des coulées basaltiques, des grès, des pélites et des conglomérats. Leur orientation est d'ailleurs parallèle au littoral, suivant une direction majeure hercynienne ou " mésétienne ".

La série formée par ces dépôts est puissante (entre 2500 et 6000 m) et, sous les contraintes tectoniques, elle affleure par des plis diapir (diapirs de Taitoust et de l'oued Tidzi).

Le plus étendu est celui du couloir d'Argana, constituant les prémices d'une rupture capitale à l'origine de l'ouverture du bassin océanique (M. TIXERONT, 1973).

b) La couverture sédimentaire secondaire et tertiaire

b1) Le Jurassique

Il est composé de grès, marnes, calcaires et dolomies (DUFFAUD et al., 1966), et affleure essentiellement dans quatre secteurs du Sud au Nord :

- à l'Ouest du couloir d'Argana ;
- sur l'anticlinal Jbel Amsitten ;
- sur les anticlinaux de la zone nord-atlasique Jbels Hadid et Kourati
- dans la région du moyen Tensift.

b2) Le Crétacé

Il couvre les deux tiers de la superficie de l'Atlas atlantique. Trois cycles de sédimentation ont été relevés (R. AMBROGGI, 1963) :

- le Crétacé inférieur est marqué de dépôts franchement marins à l'Ouest (calcaires lumachelliques et marnes à faunes variées) qui passent latéralement à l'Est à un faciès de type lagunaire ;
- le Crétacé moyen correspond à un maximum transgressif. Il est individualisé par l'alternance de marnes et de calcaires (calcaires à miliolites et calcaires très dolomités dans le bassin d'Essaouira notamment) ;
- le Crétacé supérieur est constitué de calcaires dolomitiques et lumachelles pour un tiers et de marnes jaunes pour deux tiers. Les sédiments sont riches en huîtres et microfaune benthique marquant un milieu littoral et une phase régressive.

La sédimentation essentiellement calcaire et marneuse devient phosphatée à partir du Maestrichtien.

b3) L'Eocène

Il est très peu étendu dans la région et s'identifie par deux formations majeures :

- à l'Eocène inférieur, une sédimentation phosphatée et sableuse domine ;
- à l'Eocène supérieur, le relais s'effectue par une sédimentation calcaire.

c) Les Formations plio-pléistocènes marines et fluviale

Elles correspondent à des phases multiples de transgression et régression formant des terrasses étagées dont les falaises mortes sont parallèles au rivage actuel.

La plus remarquable et la plus développée de ces formations est le Moghrébien correspondant au taxon pVD (carte n° 3 p. 39). Etage inclus dans le Pliocène, il en marque la fin et pose le problème de son individualisation par rapport au Pliocène lui-même et au Villafranchien. Il recouvre la série secondaire en discordance planaire et affleure largement d'Ouest en Est sur une bande méridienne large de 10 à 40 km. Ce faciès s'étend sur un paysage quasi uniforme retrouvé tout le long de la côte atlantique par son homogénéité (G. BEAUDET et A. RUELLAN, 1971 ; L. ORTLIEB, 1975). Les caractéristiques topographiques du Moghrébien correspondent à un talus externe occidental (falaise morte de 100 à 200 m), une plateforme qui se relève vers l'Est, et un talus interne oriental (supérieur à 100 m en général). A. GUILCHER (1974, in A. WEISROCK, 1980) a défini par le terme de " rasa " les " surfaces d'aplanissement rocheuses, littorales, anciennes et perchées ". A. WEISROCK (1979) qualifie la plateforme d'abrasion marine moghrébienne de rasa moghrébienne.

La sédimentation est grésolumachellique à la base et passe à une sédimentation grossière à tendance régressive au sommet (A. HOURIMECHE, 1988). Ainsi deux hypothèses ont longtemps prévalu : le Moghrébien a été considéré comme un Pliocène régressif (GIGOUT, 1956 ; LECOINTRE, 1963) ; ou comme la première transgression quaternaire équivalant au Villafranchien (CHOUBERT, 1965 ; BIBERSON, 1971). Après les études de micropaléontologie dans l'arrière pays

de Rabat et à partir d'arguments sédimentologiques et minéralogiques (A.WEISROCK, 1980), il semble que la première hypothèse l'emporte. L'océan pliocène est très progressivement transgressif (Pliocène inférieur et moyen) et son extension est maximale au Moghrébien (Pliocène moyen et supérieur). Il n'y a pas de changement climatique notable entre Pliocène inférieur et supérieur : " La faune ne subit guère de transformations et le paysage géochimique reste le même " (A. WEISROCK, 1980). Les conditions sont tropicales ou sub-tropicales humides ; le Moghrébien s'explique alors par une courte crise d'origine tectonique contemporaine d'un début de régression marqué par le passage d'une sédimentation fine à une sédimentation plus grossière. Le facteur tectonique ne peut être l'unique explication en raison des dépôts liés à la régression observés sur toute la côte atlantique ; tant sur la meseta (BIBERSON, 1961 ; BEAUDET, 1969), que sur le rivage du Sahara occidental (ORTLIEB, 1975 ; RISER, 1996 et 1999a et 1999b).

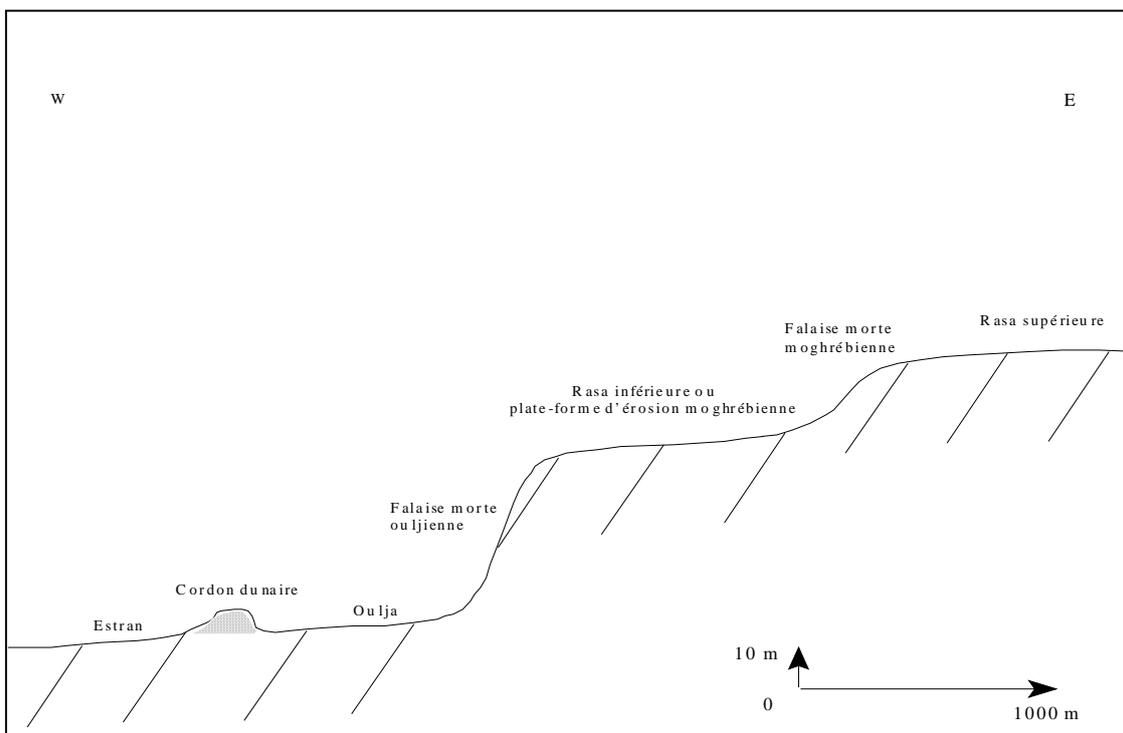


Fig. 9 : Les principales formes marines quaternaires.

Au Pléistocène, les cycles de transgression marine se reproduisent et sont conjugués à l'activité tectonique commencée au Pliocène qui se poursuit aujourd'hui encore. Les phases d'incision des oueds et de recul des versants alternent avec les phases d'accumulation marquées par des niveaux étagés (fig.9). Ces niveaux sont retrouvés sous diverses formes dans l'ensemble du Maghreb et également en domaine continental (COQUE, 1979 ; BALLAIS, 1981 ; BALLAIS et al., 1995).

La région d'Essaouira et, plus largement, l'Atlas atlantique présente l'originalité d'associer aux formes continentales (glacis, terrasses alluviales) des formes littorales très nettes (terrasses marines).

D'un point de vue structural, la région d'Essaouira appartient à une zone synclinale communément appelée le synclinal de Mogador. Ce qui a pour effet de moins mettre en valeur

l'étagement des terrasses. Mais dans les vallées des oueds (oued Ksob et oued Tidzi), les niveaux alluviaux sont retrouvés encaissés dans des niveaux marins très bien conservés comme le Maarifien et l'Ouljien, notamment entre Cap Rhir et Agadir (WEISROCK et al., 1999).

Le premier serait contemporain de l'interglaciaire Günz-Mindel. Il vient s'étagier au pied de la grande falaise morte moghrébienne. Il est caractérisé par une lumachelle concassée très consolidée associée à des graviers de roche siliceuses. C'est un faciès littoral à faune comparable à celle de la formation moghrébienne (HOURRIMECHE, 1988).

L'Ouljien correspond à la transgression tyrrhénienne (A. WEISROCK, 1987). Il est constitué de graviers cristallins arrondis, de pétrographie variée, cimentés par des sables biodétritiques. Sa faune abondante est peu différente de l'actuelle mais demande des conditions océaniques plus tièdes (A. WEISROCK, 1987). Il est souvent recouvert par des formations dunaires importantes.

La carte n° 3 illustre la prépondérance des faciès dunaires dans les tons gris-bruns.

Les dépôts continentaux pléistocènes marquent le paysage surtout au Soltanien contemporain du Würm européen. Cette séquence est très nettement visible sur la rive droite et partiellement sur la rive gauche de l'oued Ksob. Le faciès débute par un conglomérat fluviatile à galets bien roulés et assez gros, consolidés par une matrice sableuse. Ce terme est surmonté d'une accumulation calcaire consolidée à éléments détritiques très fins (limons roses). Une telle disposition est retrouvée dans tout l'Atlas atlantique et au-delà (HOURRIMECHE, 1988). Le sommet de la terrasse soltanienne est affecté d'un paléosol de type fersiallitique.

Des sables biodétritiques sous forme de dunes plus ou moins grésifiées sont superposés à la séquence précédente.

C) Les différents systèmes dunaires littoraux du Quaternaire

Dans le secteur d'Essaouira il n'y a guère que l'oued Ksob qui, par son encaissement, permette d'observer la stratigraphie locale.

Le Moghrébien constitue un soubassement bien individualisé par son degré de cimentation et de compaction et il est recouvert par cinq générations de dunes ou systèmes dunaires (WEISROCK, 1980). Sa position morphologique est donc remarquable puisqu'il accueille dans son entaille tout le matériel post-moghrébien. Les dunes moghrébiennes s'observent plus à l'Est et sont recouvertes d'une croûte calcaire à smectite (RISER, in WEISROCK, 1980).

Les systèmes dunaires qu'ils soient fossiles ou actuels ont fait l'objet de vives polémiques concernant la direction des « paléovents » (MARTIN et NAIRN, 1975 et STEARNS, 1976).

La première dune post-moghrébienne est lapidifiée et elle surmonte la plage fossile maarifienne en continuité directe de sédimentation. Il s'agit vraisemblablement de la dune maarifienne recouverte de colluvions rose clair, traversées par des encroûtements racinaires tubulaires ; le tout est scellé par une croûte calcaire lamellaire à attapulgite.

La dune ouljienne, également lapidifiée mais légèrement moins dure que la première, est emboîtée dans le système maarifien. Elle est entaillée par la vallée de l'oued Ksob de la carrière Leroux à la route n° 8a. L'épaisseur maximale visible est de 20 m. Elle est ravinée en surface par une croûte lamellaire (WEISROCK, 1982) et recouverte par la terrasse soltanienne. C'est celle qui correspond à ce que l'on appelle communément le grès de Mogador.

Le troisième système dunaire est représenté par des dunes longitudinales de 2 à 5 km de long et espacées de 100 à 300 m. Celles-ci sont très bien développées et très nettement visibles entre Essaouira et le Cap Sim. Elles sont encroûtées superficiellement, altérées par un sol brun à nodules calcaires et coiffées par une végétation arborée à genévriers de Phénicie. La datation C14 de cette formation a donné un âge antérieur à 5700 B.P. (WEISROCK, 1980). Les différents travaux qui ont suivi attribuent ces dunes longitudinales à l'Holocène inférieur. Mais après des mesures plus précises, il s'avère que leur âge est situé autour de 14000 B.P. (WEISROCK, communication orale), les rattachant au Pléistocène supérieur.

Dans les sillons interdunaires de cette troisième génération, les sables correspondant à la quatrième et cinquième génération se sont accumulés sous diverses formes. Ils sont également visibles plus au Nord et à l'Est d'Essaouira.

Des accumulations sableuses sans végétation, mêlés à de nombreux Hélicidés et à beaucoup de fragments de silex parfois taillés en pointe mogadorienne d'âge néolithique (ANTOINE, 1952), constituent le quatrième système dunaire. De multiples restes de foyers à débris de « croûte noire » sont également présents. Cette génération de dunes est appelée « dunes historiques » (WEISROCK, 1982).

Le cinquième ensemble correspond à des sables vifs accumulés sous la forme de barkhanes et nebkhas. Dans ce secteur ils sont dépourvus de végétation mais sont colonisés à l'Est d'Essaouira et au Nord par des formations végétales que nous décrivons plus bas. Ce sont des sables biodétritiques contenant des fragments de tests de mollusques marins. Entre Essaouira et le Cap Sim, leur teneur en carbonates et leur granulométrie diminuent suivant une direction NNE-SSW ; et leur tri s'améliore suivant la même direction (CHAHBOUN, 1988 et GENTILE, 1997).

Cette cinquième génération est actuelle et elle est représentée par le massif dunaire illustré en coupe par la figure 10. Les sables vifs qui la composent font qu'elle est partout prégnante dans le paysage. Lors de la première mission de terrain, elle a suscité plusieurs questions : quelle est la raison d'une accumulation si vaste et si homogène ? pourquoi cette zone préférentielle est-elle située aux abords de la ville ?

A priori, la configuration topographique permet d'avancer quelques arguments. Comme il a été expliqué plus haut (chap. IIC), l'effet de rugosité est nul à l'amont-vent d'Essaouira (absence de relief). Ce qui donne à l'alizé une direction unique et par conséquent, une efficacité maximale, primordiale pour la déflation et le transport des sédiments.

Aussi, W km environ au Nord de la ville, un angle d'incidence notable se forme entre l'orientation du littoral et la trajectoire du vent ; alors que plus au Nord, elles sont parallèles (cf. carte n° 2 et 3). Le cap formé à Essaouira marque un changement de direction du trait de côte. Ce facteur topographique supplémentaire a pour effet de diminuer la vitesse jusqu'à l'endroit où il rencontre le littoral suivant une direction oblique. Ainsi, l'alizé perd son efficacité de transport et dépose alors les particules prélevées en amont.

Les cinq systèmes dunaires (maarifien, ouljien, pléistocène supérieur, historique et actuel) mettent toujours en jeu le facteur éolien mais ils sont intervenus à des époques différentes. Ils se sont édifiés lors de phases climatiques différentes. Pour les trois premières générations, les deux dernières semblent consécutives à l'anthropisation de la zone littorale. Elles sont contemporaines d'un stade régressif de l'océan (A. WEISROCK, 1982).

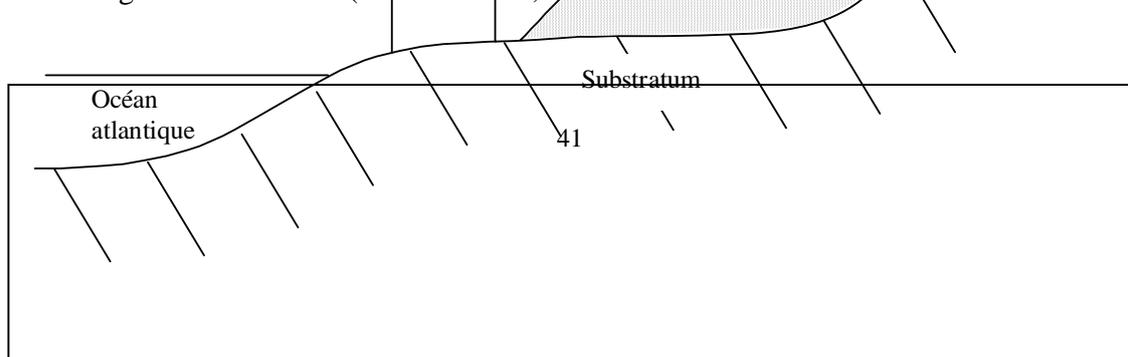


Fig. 10 : Localisation schématique du massif dunaire en coupe.

La description des traits géodynamiques de la région souirite fait apparaître l'action de processus hydriques (édification de terrasses marines et fluviales, dépôts alluviaux des oueds fournis à l'océan) et éoliens (accumulation de formations dunaires). Les cycles marins successifs ont formé des rasas étagées recouvertes en partie d'édifices dunaires construits par l'alizé. Ces formations sont ravinées par les oueds et le ruissellement d'une manière générale. Enfin, la tectonique d'ouverture du bassin océanique et de l'orogénèse atlasique rend plus difficile la compréhension des divers processus sur le terrain. Par les soulèvements, les effondrements, les jeux et les rejeux, elle modifie la disposition de toutes ces formations (terrasses marines, alluviales et dunes).

Aussi, c'est près des embouchures des oueds que l'on peut mieux saisir les relations entre les quatre agents morphodynamiques. La thèse d'A. CHAHBOUN (1988) en rend bien compte.

La description des éléments abiotiques montre que les liens qu'ils entretiennent sont complexes. Masses hydriques (océanique, fluviale et atmosphérique), aéromasse (alizé) et lithomasses (profondes et superficielles) sont caractérisées par des flux (et des reflux pour l'océan) sous l'impulsion d'énergies de nature et de degré divers.

Les sols forment une transition vers les éléments biotiques puisqu'ils se situent à l'interface de la roche et du couvert végétal.

Le géosystème dunaire actuel présente une pédogénèse peu évoluée que l'on retrouve à sa périphérie.

CHAPITRE II

LE SOL A L'INTERFACE DES ELEMENTS BIOTIQUES ET ABIOTIQUES

« L'enthousiasme est la seule vertu. »

P. TAILLEZ

Le sol fait la transition dans ce chapitre entre éléments biotiques et abiotiques pour une double raison : il est non seulement situé à l'interface lithosphère / phytosphère formant un géohorizon fondamental par lequel transitent les flux de matière et d'énergie entre biotope et biocénose mais il est en même temps composé à la fois de matière biotique (matière organiques) et abiotique (matières minérales) qui, soumises à diverses énergies (électrique, calorifique, énergie des micro-organismes décomposeurs) forment le terreau de la production primaire.

Il représente un lien primordial dans le développement de l'activité biologique du géosystème. C'est la raison pour laquelle il enregistre et subit toute modification d'un élément du géosystème. Il constitue par sa " sensibilité " et sa capacité à refléter l'état du géosystème, plus qu'un élément de mesure, un indicateur du fonctionnement du géosystème.

D'une manière générale, les sols de la région d'Essaouira sont calciques, xériques, et peu évolués, voire non évolués. Mais des nuances importantes existent suivant les secteurs. Le géosystème dunaire est caractérisé par une forte dichotomie.

1) Conditions édaphiques fragiles et sols squelettiques

Les facteurs les plus importants, favorables à une pédogénèse relativement rapide, et suffisamment évoluée pour former un sol riche, sont :

- la nature (teneur en certains ions minéraux tels que calcium et sodium), la texture et la structure de la roche mère,
- la teneur en eau,
- la température et l'acidité du sol (P. DUCHAUFOR, 1984).

La teneur en eau du sol n'est pas uniquement dépendante des précipitations. Trois autres facteurs essentiels sont influents : la texture du sol, le taux de boisement et la topographie. Ces trois principaux facteurs interagissent étroitement.

Avec moins de 280 mm de précipitations par an, le déterminisme climatique est déjà imposant par cette faible valeur même si les brumes côtières et l'alizé apportent une humidité relative importante (cf. chap. I.1Aa). Et l'hinterland ne bénéficie pas de ces contributions supplémentaires.

La texture des sols, très variable selon les secteurs, détermine leur capacité de rétention. On passe de sols à texture sablo-limoneuse, (Azelf, Tazzitount, Taoubalt) à des sols à texture très grossière (Sidi Yacine, El Ghazouane, Tissouirine), en passant par des sols à texture très sableuse (Essaouira-Est, Tanngaro-Diabat) et des sols à texture grossière, caillouteux (Watier, Sidi Kaouki, Sidi Harazem). Mais deux tendances générales dominent : le caractère meuble et la perméabilité. Cette dernière est imposée par les paramètres morphosédimentaires décrits au paragraphe précédent, à savoir : les dynamiques éolienne et océanique.

La première édifie des formes dunaire donc très poreuses mais surtout très perméables ; porosité n'est pas synonyme de perméabilité. En effet, une roche à pores conjoints est très perméable ;

alors qu'une roche à pores disjoints, même très poreuse, peut être imperméable. Bien entendu, la composition minéralogique, le degré d'acidité de l'eau précipitée, de l'eau infiltrée et le temps sont des facteurs de dissolution. Ils peuvent rendre assez rapidement perméable, une roche à l'origine imperméable.

La dynamique océanique forme des terrasses marines, qui sont très carbonatées. Après chaque régression/émersion au cours du temps, ces dépôts s'encroûtent et se consolident en formant des calcarénites (H. CHAMLEY, 1987). C'est le cas des sédiments moghrébiens, maarifiens, ouljiens et mellahiens (contemporains de la dernière transgression correspondant au Versilien de Méditerranée ou au Flandrien de la Mer du Nord) lorsqu'ils existent. Ces formations cimentées, carbonatées ou gréseuses, sont en général très perméables. Elles constituent le soubassement respectif des différentes générations de dunes qui, malgré leur encroûtement, voire leur grésification, demeurent elles aussi très perméables. Dans le chapitre VIII une idée de l'étendue de ces croûtes calcaires et de leur exploitation est donnée (fig. 63) mais disons d'emblée que celles-ci sont très répandues dans la région. Par exemple, le soubassement moghrébien est recouvert de croûtes calcaires pulvérulentes à la base et d'une blancheur éclatante, passant en surface à des croûtes lamellaires. Elles forment des obstacles pour la végétation pour au moins deux raisons :

- d'une part, le sol est appauvri en éléments minéraux par migration des carbonates en profondeur lors du processus de lessivage. Les croûtes forment des horizons illuviaux qui concentrent et retiennent aussi des micro-organismes tels qu'algues et champignons susceptibles d'enrichir le sol, comme c'est le cas au Maroc atlantique semi-aride (J. VAUDOUR, 1997).

- d'autre part, les systèmes racinaires sont limités dans la recherche d'humidité en profondeur et s'adaptent en développant un réseau traçant. Ce qui limite la production de phytomasse et affaiblit les organismes végétaux, d'autant plus que la dynamique éolienne très active peut participer avec le ruissellement à la mise à nu des racines.

Le rôle d'obstacles zonaires joué par les croûtes est double. A la barrière matérielle qu'elles constituent pour les systèmes racinaires s'ajoutent les entraves à la recharge des aquifères et les interceptions d'eau météorique qui, de fait, retournent dans l'atmosphère par évaporation (NAFAA et al., 1997). Cette dernière, conséquente dans la région (vents forts et températures relativement élevées), est facilitée par les textures peu argileuses et surtout sableuses dominantes.

La capacité de rétention de tels sédiments (formations superficielles et substratum) étant très faible, la météorisation et l'altération de la roche mère restent limitées donc la pédogénèse également. Par conséquent, le développement du couvert végétal reste lui aussi limité. Et le phénomène s'auto-entretient. La végétation ne fournit qu'une fine litière et un apport de matière organique insuffisant à la formation d'un horizon humique épais.

C'est pourquoi la plupart des sols de la région possèdent des caractères encore proches de ceux de la roche mère. Leur profil est de type (A)C, AC, plus rarement A(B)C et les horizons sont plutôt mal différenciés. L'épaisseur maximale rencontrée est 15 cm mais la grande majorité d'entre eux n'excède pas 10 cm, notamment sur substrat sableux.

Si la topographie est peu élevée (gradients altitudinaux modérés, cf. chap. I.2A), l'incidence qu'elle exerce sur la teneur en eau des sols est majeure. D'une part, elle accroît l'érosion

hydrique sur les plateaux intérieurs et le talus des falaises mortes en accélérant les écoulements superficiels et hypodermiques, ce qui favorise l'installation de sols squelettiques. Et d'autre part, elle provoque un ruissellement important permettant d'entraîner les éléments solubles et colloïdaux au pied des versants et dans la plaine littorale. Celle-ci voit donc se développer des sols moins arides, aux dépens des hauts de pente et des reliefs.

Ainsi, au sein du géosystème dunaire, il est important de bien distinguer les sols interdunaires tapissant le fond des lettres et dont la teneur en eau est bien plus élevée que celle des sols dunaires extrêmement perméables.

Commandée par une roche mère carbonatée très répandue, la teneur en ions minéraux est essentiellement dominée par Ca^{2+} . L'ion Na^+ intervient surtout dans les bas-fonds du milieu dunaire détaillé plus bas. La fraction colloïdale organique, plutôt faible, est compensée par une fraction colloïdale minérale relativement riche, ce qui donne parfois une capacité d'échange cationique suffisante pour que le complexe absorbant soit saturé en bases (CASTRO ROMAN et al., 1997). Mais cette caractéristique n'est pas le lot commun de tous les sols, loin s'en faut.

Nous avons effectué des mesures de pH sur le terrain dans divers secteurs à l'aide d'un pHmètre électronique et celles-ci ont toutes donné des valeurs supérieures à 7 indiquant l'alcalinité générale des sols (Tableau XI).

Tableau XI : Description générale des sols à la périphérie d'Essaouira.

SITES	TYPE DE SOL	FORMATION VÉGÉTALE	PH
Tangaro-Diabat	arénosol sur terrasse alluviale, rajeuni par des apports éoliens profil (A)C	formation arborée mixte à <i>Juniperus phoenicea</i> et <i>Retama monosperma</i>	7,2
Cap Sim	arénosol sur dune fini-pléistocène encroûtée superficiellement profil AC	formation arbustive à <i>Retama monosperma</i>	7,8
Sidi Yassine	lithosol caillouteux sur plateforme moghrébienne profil A(B)C	forêt claire à <i>Argania spinosa</i>	8,2
Ararta	régosol sableux sur plateforme moghrébienne profil AC	taillis à <i>Tetraclinis articulata</i>	7,9

Si les types de sol régionaux sont, dans l'ensemble, peu développés, divers degrés d'évolution les distinguent. Leur répartition coïncide avec les dynamiques sédimentaires (dynamique éolienne héritée et actuelle, et dynamique marine héritée).

2) Distribution spatiale des sols

Globalement, les types de sol identifiés sont :

- des arénosols dunaires, proches du trait de côte,
- des régosols sableux d'apport éolien et des régosols sableux d'altération,
- des calcisols et des lithosols sur les plateaux intérieurs (cf. carte n° 4).

La typologie utilisée ci-dessus est inspirée de l'ouvrage "Référentiel Pédologique" (INRA, 1995).

Les arénosols se développent sur substrat sableux dunaire d'origine éolienne, hérité ou non (Cap Sim, Tanngaro-Diabat, Essaouira-Est). Les dunes héritées sont encroûtées et partiellement consolidées. Elles sont soit affleurentes, soit recouvertes par les sables éoliens actuels (dunes vives). Dans ce dernier cas, le sol est sans cesse rajeuni et la pédogénèse sans cesse ralentie et précarisée. Ce phénomène se produit d'ailleurs entre Essaouira et le cap Sim à grande échelle et au-delà, dans une moindre mesure, sur les plateaux intérieurs. Les dépôts éoliens actuels recouvrent partiellement d'autres formations que les dunes héritées : les plus anciennes terrasses alluviales de l'oued Ksob (cf. tabl. XI), et les terrasses marines ouljienne, maarifienne et plus accessoirement, moghrébienne. Ces apports en silice appauvrissent les sols en empêchant la formation d'un complexe argilo-humique. D'une part la silice présente ici une granulométrie sableuse (cf. fig. 11, plus bas) et d'autre part c'est un minéral acide qui ne favorise pas l'humification. D'autant moins que des résineux comme les genévriers de Phénicie fournissant une litière acidifiante peuplent ces espaces (tabl. XI).

Les régosols, à texture plus fine mais un peu moins meubles que les précédents s'étendent plus au sud en allant vers Sidi Kaouki et le cap Sim. On les retrouve, au droit de l'embouchure du Ksob, à quelques kilomètres (secteur d'Azelf). Ils forment le premier type de régosols sableux : régosols d'apport éolien. Nous distinguons un second type de part et d'autre de la route principale n° 10 qui mène à Ounara et Marrakech (forêt de thuyas d'Ararta). Ce sont des régosols sableux d'altération couvrant la plateforme moghrébienne. Là encore la silice fait obstacle au développement du complexe absorbant d'autant plus que genévriers de Phénicie et thuyas (tabl. XI) forment une végétation acidifiante.

Les calcisols et lithosols (caillouteux et rocailleux), à texture beaucoup plus grossière et plus compacts que les précédents sont développés sur les formations calcaires des terrasses marines moghrébienne et quaternaires. Ils apparaissent dans les secteurs d'El Ghazouane (au Sud de la vallée du Ksob), d'El Araïch en allant vers la ferme Watier et sur le plateau des Ida Ou Ghourd (vers Sidi Yassine et Tissouirine).

D'une façon plus détaillée, le massif dunaire marque une rupture assez nette sur le plan pédologique par rapport au reste de la région, même s'il présente sur sa plus grande étendue des arénosols fréquemment rencontrés au Nord comme au Sud.

3) La dualité pédologique du géosystème dunaire

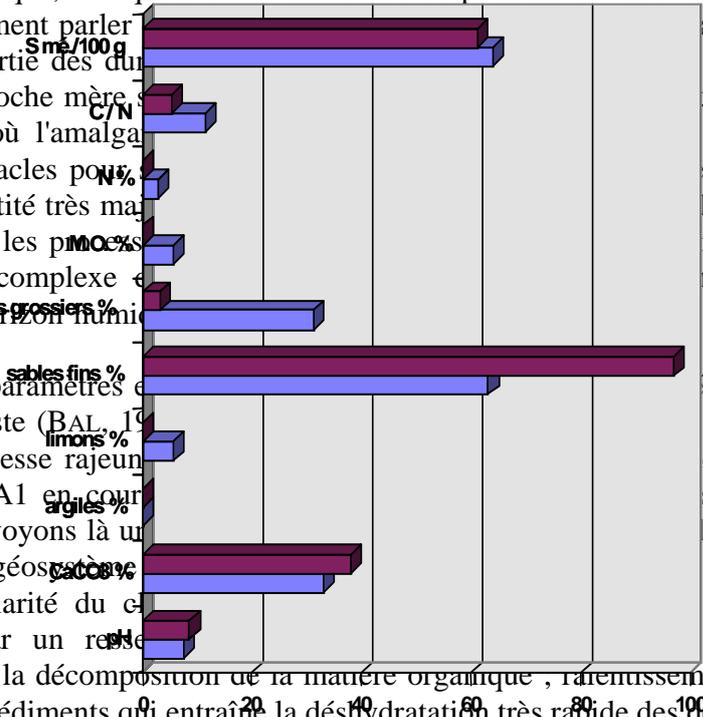
La couverture pédologique y est partout très peu développée : entre 8 et 15 cm. Elle est représentée par deux types de sols :

- des sols dunaires (arénosols et régosols sableux d'apport éolien) couvrant environ 80 % de la superficie du massif ; ils se localisent sur substrat sableux et
- des sols salsodiques (sols salins) représentant le reste de la superficie ; ils occupent les dépressions interdunaires situées aux abords de la ville dont certaines forment des petits lacs temporaires et d'autres des bas-fonds humides.

A) Les sols dunaires

Dans la mesure où la dynamique éolienne a un impact non négligeable sur le massif, et où les dunes qui le composent ne sont pas encore complètement stabilisées, ni sur le plan mécanique, ni sur le plan biologique, une question fondamentale se pose concernant l'activité pédogénétique : peut-on véritablement parler sur la majeure partie des dunes d'un sol développé, et la roche mère est-elle abondante, et la roche mère est-elle dans la mesure où l'amalgam d'importants obstacles pour les dunes ; la quantité très ma considérablement les p... conséquence, le complexe e formation d'un horizon humi mère.

Malgré tous ces paramètres e pédologénèse existe (BAL, 1993) secteurs et sans cesse rajeun sable. L'horizon A1 en cour particules. Nous voyons là un que représente le géosol... Aussi, la particularité du e méditerranéen par un re... ralentissement de la décomposition de la matière organique, ralentissement accru par l'extrême perméabilité des sédiments qui entraîne la désydratation très rapide des dépôts superficiels.



Les profils caractérisant ces sols dunaires sont de type AC et (A)C. La roche mère est composée de sables biodétritiques (cf. chap. I2C). Le matériel est donc essentiellement siliceux et carbonaté (40 % de CaCO₃, d'après A. CHAHBOUN, 1988).

Le diagramme de la figure 11 est une comparaison entre les sols dunaires et le substrat dunaire de certains critères pédologiques relevés par M. BAL (1993). Le substrat inerte joue ici le rôle d'échantillon témoin. Les parcelles-test ont été choisies sur les espaces dont le couvert végétal est le plus dense. Donc, nous avons là une représentation des valeurs extrêmes. Bien entendu, les valeurs des sols dunaires varient suivant la densité du couvert et la formation végétale, pour atteindre les valeurs extrêmes de la dune nue. Les mesures effectuées portent sur les 10 premiers centimètres de sol. Malheureusement, le protocole n'a pas été indiqué par l'auteur.

Le pH est compris entre 7,6, pour les sols dunaires et 8,6, pour les dunes dépourvues de végétation. La somme des bases échangeables (S) est représentée principalement par le cation Ca²⁺ pour les sols dunaires, comme pour le substrat. Cette domination souligne l'importance du faciès carbonaté.

Sols dunaires S = 59,5 (Ca²⁺) + 3 (Mg²⁺) + 0,91 (Na⁺) + 0,37 (K⁺) = 63,78 m.é./100 g
 substrat S = 58,5 (Ca²⁺) + 1,5 (Mg²⁺) + 0,89 (Na⁺) + 0,21 (K⁺) = 61,1 m.é./100 g

Fig. 11 : Comparaison de certains critères pédologiques entre les sols dunaires et le substrat nu,

d'après M. BAL (1993), modifié.

Le faciès dunaire des sols est nettement mis en valeur par l'absence d'argiles, bien sûr mais aussi par la faible proportion de limons et l'abondance des sables. Au regard de la granulométrie de la dune nue, l'extrême jeunesse des sols est soulignée par le fait que la fragmentation de la roche mère n'a pas encore formé d'argiles et que la formation de limons est très faible (moins de 5 %), récente et se poursuit ; la somme des bases échangeables S est sensiblement égale dans les deux cas. Enfin, si la proportion de matière organique est non négligeable avec 5,57%, l'humification reste faible, voire nulle.

Les sols dunaires à faible capacité de rétention tels qu'ils ont été décrits plus haut caractérisent fortement une partie du géosystème. Leur extension est complémentaire de celle du second type de sol formant une mosaïque. Celui-ci couvre une roche mère très différente

B) Les sols salsodiques

Ils recouvrent un substrat très argileux ou argilo-limoneux qui occupe le fond des lettes, constituant une couche quasi-imperméable entraînant la stagnation d'eau précipitée sur des périodes pluri-annuelles. Certaines dépressions connaissent des périodes d'inondation plus courtes pour des raisons qui sont discutées plus bas.

Les profils sont de type AC, avec une matière organique végétale issue uniquement de la strate herbacée ou algale. Les strates arborée et arbustive y sont absentes. La texture très fine est généralement argileuse. La présence de sels tels que la halite (NaCl) et le gypse (CaSO₄) a été identifiée sur le terrain par un tapis de salicornes (*Sarcocornia fruticosa*) abondamment développé et des efflorescences de gypse blanchâtres dues à l'évaporation. Malgré ces phénomènes d'efflorescence et d'évaporation, les sols restent gorgés d'eau. Par capillarité, des migrations ascendantes d'eau issue de la nappe sous-jacente se produisent et entretiennent l'humidité des bas-fonds. La floculation des argiles confère à l'horizon A une structure en agrégats.

Si les mesures de pH, conductivité et température ont été effectuées sur les eaux des creux interdunaires (cf. plus bas chap. IV3), elles n'ont pas porté sur un extrait de pâte saturée de ces sols. Ce qui rend difficile leur typologie dans la classification pédologique.

Cependant, l'alternance argiles salées / dunes permet une analogie avec la thèse de R. BATTISTINI (1964) sur la géomorphologie de l'extrême Sud de Madagascar où l'auteur évoque dans sa description, des périmètres de sols salés argileux affleurant entre les barkhanes littorales.

Les sols salsodiques sont très mal drainés à l'inverse des sols dunaires. Ils connaissent tous une évaporation intense mais certains restent inondés plus longtemps. Nous avons pu constater au cours des missions scientifiques que les dépressions les plus proches du trait de côte restent plus longtemps inondées que celles de l'intérieur. Les apports du biseau salé conjugués à une sécheresse moins accusée par rapport à l'hinterland jouent un rôle majeur.

Les six figures ci-dessous donnent un panorama des types de sols rencontrés sur le terrain. Leur localisation est portée sur la carte n° 8, p. 181 comme tous les autres clichés figurant dans la thèse.

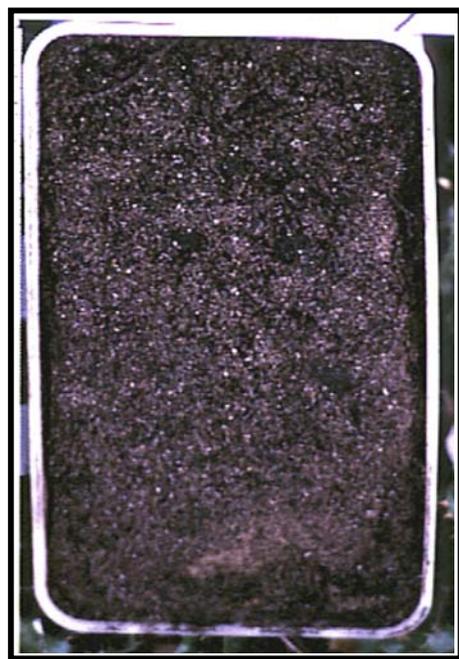
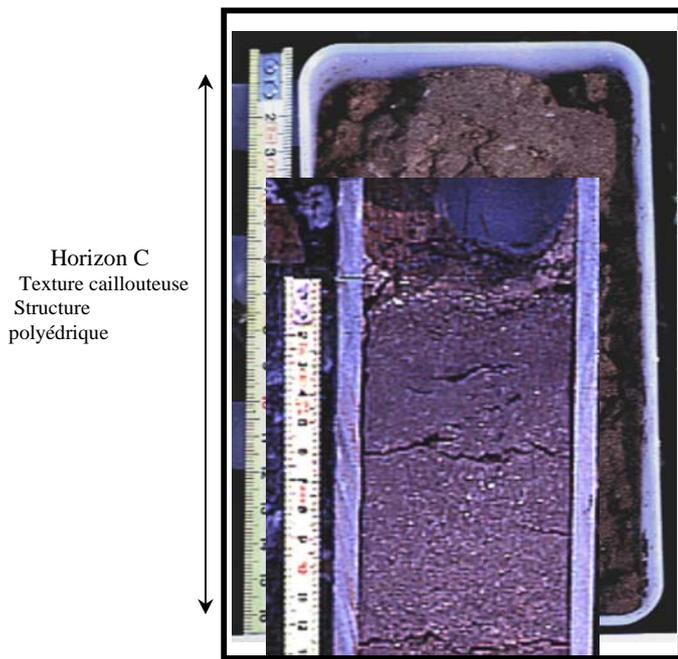


Fig. 13 : Arénosol dunaire 2
Cliché : Claude SIMONE, le 8 IX 1996.

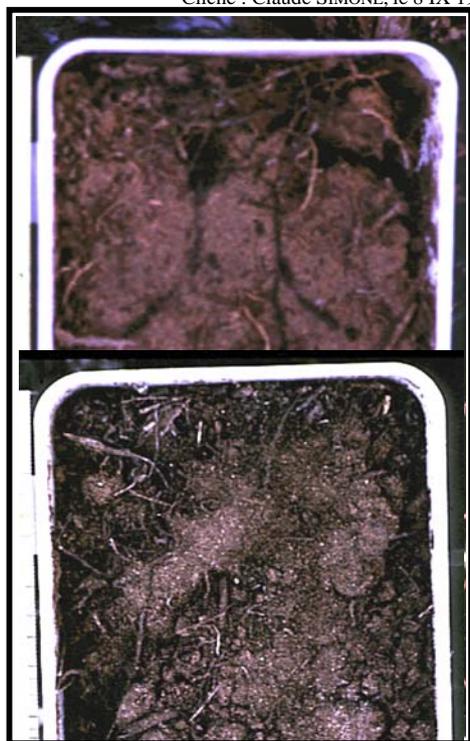
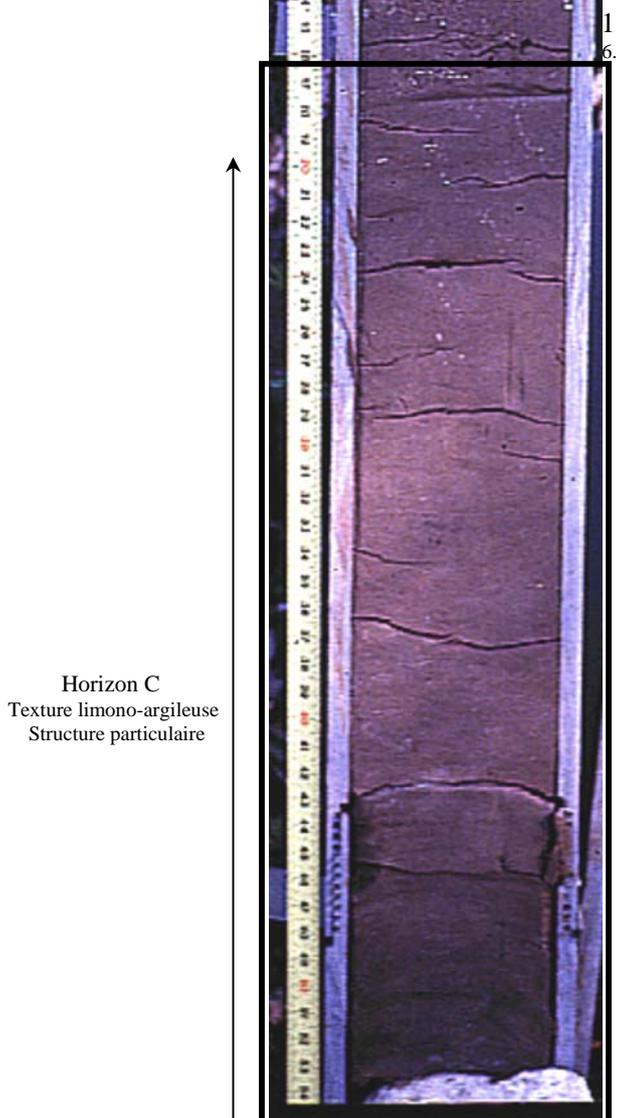
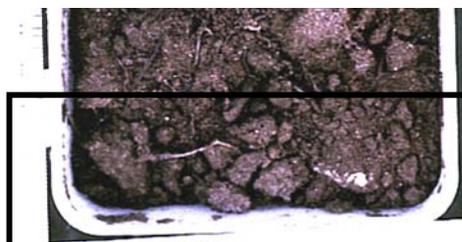


Fig. 15 : Régosol sableux d'apport éolien
Cliché : Claude SIMONE, le 8 IX 1996.



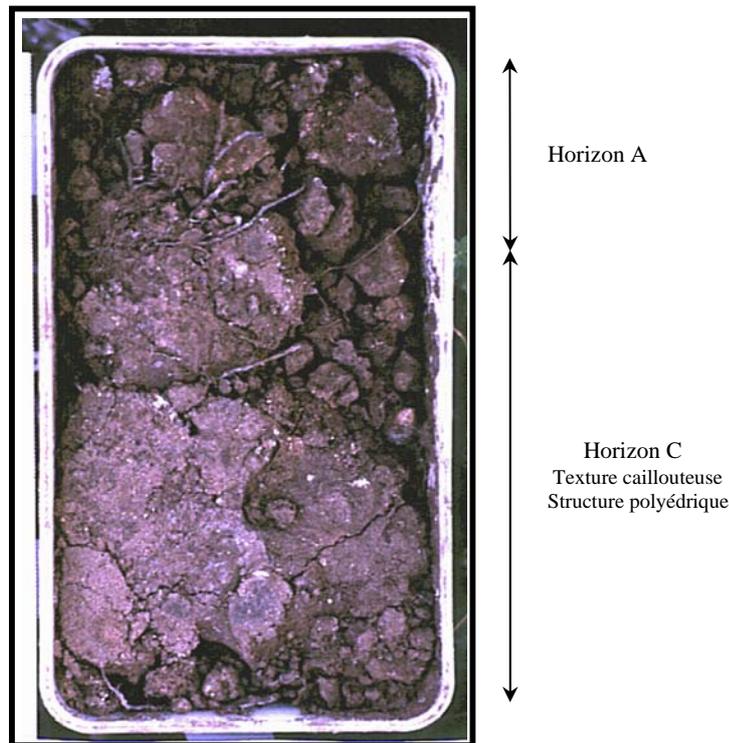


Fig. 17 : Calcisol ; Cliché Claude SIMONE, le 8 IX 1996.

Les boîtes rectangulaires qui contiennent les sols ont toutes la même taille : 15 cm x 10 cm. Ces derniers ont été prélevés après creusement d'une cavité supérieure à 15 cm de profondeur et suffisamment large de manière à faciliter l'accès pour encastrer la boîte sur le profil tout en conservant la structure. Ces extractions de sols ont été effectuées en prenant soin de reboucher les cavités.

Les figures 12 et 13 illustrent deux types d'arénosols dunaires caractéristiques. Le premier a été prélevé entre le camping de Tanngaro et la plage (cf. carte n° 4 et 8) ; le second à l'Est d'Essaouira dans une dépression intradunaire formée après coalescence de deux dunes. La figure 14 représente un sol salsodique au sommet de la carotte prélevé aussi à l'Est d'Essaouira dans une dépression interdunaire inondée. Les figures 15 et 16 montrent deux types de régosols ; le premier (régosol d'apport éolien) provient du lieu-dit Azelf et le second (régosol d'altération) des environs de Taoubalt. La figure 17 présente un calcisol appartenant au secteur de Watier.

Tous les sols illustrés plus haut sont peu épais (10 cm à peine) et la roche mère est vite mise à nu. Tous n'indiquent aucune différenciation d'horizons ou presque, témoin de leur extrême jeunesse. Seuls le régosol d'altération (fig. 16) et le calcisol (fig. 17) présentent une structure AC où l'horizon A se distingue peu de la roche mère. Le régosol d'apport éolien (fig. 15) est coiffé d'une litière relativement épaisse pour la région (2 cm) pouvant s'identifier à l'horizon A₀₀. Le premier arénosol (fig. 12) de couleur gris-brun contient des concrétions calcaires visibles à mi-hauteur ; sa couleur claire est liée aux sables éoliens. En revanche le second arénosol (fig. 13) de couleur beaucoup plus sombre (noir-brun foncé) possède une texture très particulière, très riche en matières organiques et en fragments de tests (points clairs). Il est situé dans le fond d'une dépression intradunaire fermée dont la proximité d'un couvert arboré de feuillus périphériques et

surplombants, à phytomasse épaisse est une source abondante en matière ligneuse (feuilles, écorce, brindilles, tiges et petites branches). La silice des sables dunaires qui donne une couleur très claire sur la dune nue (brun clair) ne domine plus. Elle est mélangée de manière homogène à la matière organique noire presque totalement humifiée. C'est le seul site de la région où on rencontre ce phénomène. Contrairement, le sol salin (fig. 14) est très pauvre en matière organique et très riche en argiles. Lorsqu'ils s'assèchent, les bas-fonds où se développe ce type de sol laissent apparaître un très maigre tapis végétal. Les points clairs correspondent là encore à des fragments de coquilles soufflés par le vent et un début d'encroûtement superficiel (1 cm d'épaisseur) se produit par formation de gypse. Bien qu'aucune différenciation d'horizons ne se soit nettement réalisée, le régosol éolien (fig. 15) montre la pénétration de petites racines et radicelles indiquant un début de pédogénèse. La couleur brun clair dominante est l'empreinte des sables éoliens dont la structure particulière évolue vers une structure en agrégat. Le régosol d'altération (fig. 16) possède une nette structure en agrégats mélangée à quantité d'herbes et brindilles encore discernables, même en profondeur indiquant une humification lente et difficile. La raison principale en est que ce type de sol est couvert d'une forêt claire de résineux à genévriers de Phénicie et thuyas. Cependant la texture est plus fine en surface qu'en profondeur illustrant une désagrégation mécanique avancée. Le calcisol (fig. 17) est beaucoup plus rocailleux que les sols précédents et il contient aussi plus d'argile à l'exception du sol salin mais à l'inverse de ce dernier, sa structure en agrégats lui permet une bonne aération. Comme le régosol d'altération la texture est plus fine en surface signe de processus identiques de désagrégation mécanique. L'exploitation des interstices par les racines se produit en profondeur et reflète une pédogénèse plus avancée que celle des sols précédents.

Les tableaux XIIa et XIIb ci-dessous, indiquent la correspondance des codes Cailleux Expolaire des couleurs des sols décrits plus haut.

Dans le premier tableau, le profil interdunaire (fig. 14) a été identifié à sec par niveaux de 5 cm d'épaisseur, les deux premiers niveaux (sommet du profil) ayant révélé deux couleurs chacun, une couleur sommitale et une couleur basale.

Le second tableau indique le code des cinq autres sols (figures 12, 13, 15, 16 et 17) non séchés. Le code des sables dunaires vifs identifié à sec y est aussi mentionné.

Tableau XIIa : Correspondance des codes couleurs Cailleux et Munsell au profil interdunaire (fig. 14).

<i>Echantillon</i>	<i>Code Cailleux Expolaire</i>	<i>Correspondance Code Munsell</i>
Dep5	N51	5YR 6/2 (pinkish gray)
	P27	5YR 5/3 (reddish brown)
Dep10	P27	5YR 5/3 (reddish brown)
	N51	5YR 6/2 (pinkish gray)
Dep15	N51	5YR 6/2 (pinkish gray)
Dep20	R53	5/3 (reddish gray)
Dep25	R53	5/3 (reddish gray)
Dep30	R53	5/3 (reddish gray)
Dep35	R53	5/3 (reddish gray)
Dep40	R53	5/3 (reddish gray)
Dep45	R47	4/4 (reddish brown)
Dep50	R47	4/4 (reddish brown)
Dep55	R47	4/4 (reddish brown)

Tableau XIIb : Correspondance des codes couleurs Cailleux et Munsell aux sols régionaux et aux sables éoliens.

<i>Echantillon</i>	<i>Code Cailleux Expolaire</i>	<i>Correspondance Code Munsell</i>
Arénosol 1 (fig. 12)	M75	10YR 7/3 (very pale brown)
Arénosol 2 (fig. 13)	S51	7.5YR 3/2 (dark brown)
Régosol éolien (fig. 15)	P67	7.5YR 5/4 (brown)
Régosol d'altération (fig. 16)	T29	5YR 3/3 (dark reddish brown)
Calcisol (fig. 17)	R30	5YR 4/2 (dark reddish gray)
Sables dunaires vifs	N75	10YR 6/3 (pale brown)

En somme les contraintes pédologiques pour la végétation régionale sont nombreuses et efficaces. Textures à faible capacité de rétention, lessivage et formation d'un horizon éluvial, formation de croûtes, faible altération physico-chimique, rajeunissement permanent (ensablement et apports en silice), forte érosion éolienne et hydrique, litière acidifiante et humification difficile constituent autant d'obstacles pour une pédogénèse aboutie et pour le développement de formations végétales suffisamment denses et épaisses capables d'empêcher accumulations dunaires et érosions.

Généralement on insiste peu sur le rôle protecteur des sols envers leur roche mère et les études pédologiques sont souvent orientées vers la végétation. Le poids de l'agronomie et de l'agrologie occupe évidemment une place centrale et joue en cette faveur (applications agricoles). Mais en se voulant excessivement biocentrique, l'engouement pour le concept d'écosystème des dernières années a aussi joué en cette faveur et a marginalisé un élément fondamental : la roche ; oubliant ainsi qu'éléments biotiques et abiotiques sont intimement liés. Le sol constitue un complexe pelliculaire qui enveloppe la lithosphère et la protège des agressions météoriques parfois très incisives comme c'est le cas à Essaouira avec la dynamique éolienne. De la même manière, la phytosphère enveloppe la pédosphère et assure aux sols un rôle protecteur contre les agressions météoriques mais aussi anthropiques (mises en cultures et déforestation).

En ce sens, la part de la couverture végétale dans l'ensemble biotique et dans son fonctionnement est prédominant.

Autour d'Essaouira, les sols salins sont tous dépourvus de phytomasse arborée et arbustive marquant un net contraste géosystémique et paysager avec les dunes où les bouquets de végétation sont implantés.

CHAPITRE III

ELEMENTS BIOTIQUES :

UN COUVERT VEGETAL TRES SPECIFIQUE ET PEU DEVELOPPE

« L'énergie nucléaire a tout changé sauf, hélas, nos façons de raisonner. »

A. EINSTEIN.

A l'échelle du globe, la répartition du manteau végétal reflète à travers la zonation bioclimatique la variation latitudinale des facteurs et des éléments climatiques. Mais à l'échelle régionale ou locale les aires de répartition de la flore sont plus tributaires du soubassement géologique et par conséquent des sols même si le climat, voire le microclimat joue un rôle important. L'exemple provençal est à cet égard éloquent avec l'opposition garrigue à chêne kermès sur les massifs calcaires de la Provence occidentale et maquis à chêne liège sur les massifs cristallins des Maures et de l'Estérel en Provence orientale.

Ainsi, l'étude préalable des sols dans la région d'Essaouira a permis de jeter les bases de la connaissance du terrain à travers la constitution, la répartition des roches mères et les paramètres climatiques et morpo-sédimentaires.

La spécificité de la végétation régionale est double ; d'une part, elle est marquée par un fort endémisme et d'autre part, un certain nombre d'espèces très spécialisées se sont adaptées au géosystème dunaire alors que d'autres ont été introduites. Le faible recouvrement végétal est constitué par des formations très variées.

1) Un endémisme régional très marqué

Le Maroc, largement intégré au domaine méditerranéen est aussi soumis à des influences océaniques et sahariennes non seulement sur le plan climatique mais aussi sur le plan botanique. La flore dominée par une souche méditerranéenne voit la pénétration d'éléments "étrangers".

C'est notamment le cas dans la région d'Essaouira. Cette caractéristique est marquée en premier lieu par ce que PELTIER (1982) appelle le domaine macaronésien. Selon les travaux de PITARD et PROUST (1908), repris par BRAUN-BLANQUET et MAIRE (1924), puis EMBERGER (1924) et SAUVAGE (1948), la Macaronésie (les îles heureuses en Grec) comprend cinq archipels :

- les Açores (10 îles),
- l'archipel de Madère,
- le petit archipel des Salvages,
- les Canaries, et
- les îles du Cap Vert.

Le secteur macaronésien marocain s'étend sur une étroite bande littorale Nord-Sud, de Safi (100 km au Nord d'Essaouira) à la province de Tarfaya au Nord du Sahara occidental (PELTIER, 1982).

Il est marqué par une flore très caractéristique dont les éléments sont généralement crassulescents et aphyllés côtoyant souvent des éléments méditerranéens (BENABID, 1982). La principale et la plus originale de toutes les espèces du domaine macaronésien est l'arganier (*Argania spinosa*),

appartenant à la famille des *Sapotaceae*. Son aire de répartition, communément appelée " région de l'arganier ", correspond aux limites du secteur macaronésien marocain. En effet, elle se limite au Nord au niveau de Safi (nappes peu étendues) ; au Sud à l'oued Noun (100 km au Nord de l'oued Draa) ; à l'Est c'est dans la plaine du Souss qu'il s'enfonce le plus loin à une vingtaine de kilomètres de Tazenakht (environ 100 km à l'Ouest de Ouarzazate) ; la limite occidentale est matérialisée par la côte atlantique. Ainsi, l'arganeraie recouvre les plateaux de la bordure méridionale de la meseta, l'Atlas atlantique et les versants méridionaux du Haut-Atlas occidental, la plaine du Souss, les abords de la face occidentale du massif du Siroua et l'Anti-Atlas jusqu'à la vallée du Draa. La majeure partie de sa superficie se trouve dans la province d'Essaouira (AL BAYANE, 1995).

L'aire botanique de cet arbre serait selon P. BOUDY (1950), une enclave canarienne.

Deux stations isolées existent dans le Nord du pays : la première située au Nord d'Oujda (versant Nord du massif montagneux des Beni-Snassen) et la seconde, au Sud de Rabat (haute vallée de l'oued Grou).

O. LECOMPTE-BARBET (1975) a recensé le pourcentage d'espèces endémiques dans les familles représentées au Maroc. Il s'élève à 100 % pour les *Sapotaceae*.

On ne retrouve *Argania spinosa* dont le genre ne contient qu'une seule espèce (EL MAANA, 1994) dans aucune autre région du monde. A Madère et au Cap Vert existe le genre *Sideroxylon* (Banks) qui est le plus proche du genre *Argania*. *Argania spinosa* (L. 1753-Skeels) était aussi appelé *Argania sideroxylon* (Roem et Schoult), désignation qui a été délaissée au profit de la première (BOUDY, 1950). Parmi la famille des *Sapotaceae* qui contient une quarantaine de genres et six cents espèces (EL YOUSFI, 1988), tous peuplent la zone tropicale ou sub-saharienne, le plus septentrional étant *Argania* (28°40' de latitude N, au niveau de l'oued Noun) et l'exception étant *Bumelia* retrouvé en Amérique du Nord dans l'Illinois (BOUDY, 1950).

A l'échelle mondiale, la circonscription de l'arganier uniquement marocaine et très majoritairement sud-occidentale est donc très réduite puisqu'elle s'étend sur une superficie d'environ 828 300 ha (Colloque National sur la Forêt, 1996). C'est la deuxième essence forestière nationale après le chêne vert et la première à l'échelle régionale.

Pour P. BOUDY (1950), l'arganier est " un endémique spécifiquement marocain, à affinités tropicales ". Il serait une relique du Tertiaire, époque durant laquelle les archipels situés au large de l'Afrique occidentale étaient rattachés au continent. Il s'agit alors d'un endémisme d'espèce relativement restreint.

Cela dit, en fonction de ses zones d'extension, divers types d'arganeraie existent. Ce qui rend l'association végétale de l'arganier " très spéciale " (BOUDY, 1958) et des plus complexes dans la mesure où entrent dans la composition de son cortège floristique des endémiques de l'enclave macaronésienne, d'une part et des espèces saharo-tropicales, d'autre part ; toutes deux se mêlant à des espèces méditerranéennes.

Pierre BOUDY (1950) avait relevé l'interpénétration de plusieurs espèces liées à ces différents milieux comme *Wariona saharae*, *Withania frutescens*, *Calotropis procera*, *Tetraclinis articulata* et *Rhus albidus* pour ne citer que les plus importantes.

Plus tard, dans un souci de classification BARBERO et al. (1982) et PELTIER (1982) définissent deux alliances au sein de l'ordre des Acacio-Arganetalia :

- une alliance littorale aux conditions relativement humides et à éléments macaronésiens dominants tels qu'*Euphorbia Regis Jubae*, *Euphorbia resinifera*, *Senecio anteuphorbium*, *Rhus albidus* et *Rhus pentaphylla* ;

- une seconde alliance située à l'intérieur des terres à infiltrations saharo-tropicales et donc plus xérique incluant *Acacia gummifera*, *Lycium intricatum*, *Periploca laevigata*, *Euphorbia echinus*, *Zizyphus lotus* et *Ceratonia siliqua* (dans les secteurs les plus méridionaux, les acacias sahariens, *Acacia raddiana* et *Acacia seyal* s'intègrent très localement).

Selon O. LECOMPTE-BARBET (1975) l'endémisme des espèces sahariennes s'explique ici par " les fluctuations climatiques qui caractérisent cette région depuis la fin du Pliocène. Dans les régions présahariennes du Maroc on trouve des vicariantes d'espèces des montagnes du Sahara central, vestiges d'une ancienne flore limitée maintenant sur ses bordures dont le climat rappelle celui qui régnait au Sahara central dans ces périodes moins sèches ".

Les éléments méditerranéens se mêlant aux deux alliances précédentes sont les suivants : *Pistacia lentiscus*, *Arisarum vulgare*, *Lavendula dendata*, *Cistus salvifolius*, *Cistus villosus* et *Thymus satureioïdes* (EL MAANA, 1994).

Argania spinosa est donc une espèce thermophile et xérophile. Son aspect très tortueux est le reflet d'une certaine rusticité et d'une résistance vigoureuse. Malgré son extension sur les versants du Haut-Atlas occidental, il demande des températures moyennes élevées. Il présente l'originalité de perdre ses feuilles lors d'une sécheresse prolongée, processus biophysique qui lui permet de mieux lutter contre l'aridité en limitant son évapotranspiration. C'est l'espèce forestière régionale la moins exigeante en eau pouvant même s'adapter à une sécheresse encore plus aigüe dans la région plus méridionale située entre l'Anti-Atlas et l'oued Draa où la pluviométrie annuelle est de 120 mm.

Le géosystème dunaire intègre l'arganier jusqu'à son extension sur les plateaux intérieurs. En effet, si on trouve peu d'individus dans la plaine littorale et à fortiori près d'Essaouira où les sols sableux sont les plus profonds, des placages de sables éoliens envahissent les espaces où l'arganier est présent. C'est notamment le cas dans le secteur de Watier qu'il occupe en association avec le thuya de Berbérie, le genévrier de Phénicie et une liane (*Periploca laevigata*) et entre l'oued Ksob et le cap Sim où il existe en formation monospécifique. Avec le genévrier de Phénicie il constitue un groupement végétal identifié par la méthode phytosociologique et inclus dans le périmètre des dunes maritimes d'Essaouira (BAL, 1993). Bien que l'espèce soit indifférente aux divers types de sols (siliceux ou calcaire, argileux, sablonneux ou caillouteux) il refuse les sols trop meubles comme les sables éoliens profonds (PELTIER, 1982) et bien entendu les sols halomorphes. Les plateaux intérieurs constituent son domaine de prédilection occupant en grande partie les formations quaternaires consolidées dont la plateforme moghrébienne et le substratum crétacé (secteurs de Tissouirine, Sidi Yacine et plateau des Ida Ou Gourdh).

Dans l'après guerre, l'étendue hégémonique de l'arganier au regard des deux autres espèces arborescentes principales que sont le thuya de Berbérie et le genévrier de Phénicie ne faisait aucun doute et c'est probablement toujours le cas à peu de choses près. Ainsi, la superficie boisée dans la circonscription de Mogador (dunes comprises) était de 55 402 ha et la répartition des espèces était la suivante :

- arganier 34 000 ha,
- thuya 9 000 ha et
- genévrier de Phénicie et olivier 1 000 ha (BOUDY, 1958).

Le reste étant peuplé en essences secondaires. Mais l'auteur livre des informations supplémentaires fort intéressantes à propos du secteur qui jouxte Essaouira : « Toute la zone entourant Mogador était, autrefois, garnie d'une forêt de genévriers rouges du type littoral avec un peu d'arganiers et qui, détruite par l'homme, a été envahie par les sables en mouvement d'origine maritime ou terrestre ». Evoquant toujours l'arganier quelques années plus tôt, BOUDY (1950) écrivait déjà : « C'est ainsi qu'autour de Mogador, il a été refoulé complètement des dunes non fixées,...Il est probable que ses racines très traçantes supportent mal le décapage éolien ». Malheureusement ces propos ne sont assortis d'aucune donnée quantifiée, mesure pratique ou résultat permettant d'avoir une idée plus précise de son ancienne étendue et de son taux de boisement respectif.

Le thuya de Berbérie (famille des *Cupressaceae*) est un arbre endémique de la Méditerranée sud-occidentale (endémisme de genre). Il peuple surtout les régions du Maghreb mais se rencontre aussi dans quelques secteurs très ponctuels, au Sud-Est de l'Espagne (région d'Almeria) et sur l'île de Malte.

D'après BOUDY (1950), les superficies couvertes en Afrique du Nord sont les suivantes :

- Maroc : 740 000 ha,
- Algérie : 161 000 ha,
- Tunisie : 30 000 ha.

Troisième essence forestière nationale (COLLOQUE NATIONAL sur la FORET, 1996), il représente la deuxième espèce arborescente à l'échelle régionale.

Dans la zone de l'arganier, il occupe 250 000 ha et dans les environs d'Essaouira 8 000 ha. Les plus beaux peuplements y sont ceux du massif de l'Ouamsitten (100 km au Sud-Ouest d'Essaouira) et les nappes de la forêt d'Ararta qui borde la route de Marrakech et s'étendent au NNE d'Essaouira jusqu'à la montagne Hadid.

Les substrats calcaires et une température élevée favorisent l'extension du thuya vers la mer, tant et si bien que le secteur d'Essaouira avec la douceur de ses hivers, constitue un site très caractéristique où il enregistre sa plus grande proximité avec l'océan. Sa relative indifférence aux conditions édaphiques fait qu'il est omniprésent dans la région mais comme l'arganier, les sols dunaires profonds le gênent bien que dans certains secteurs il soit envahi d'amas dunaires importants et à l'origine de nebkas (entre Essaouira et Watier, secteurs de Watier, de Taoubalt et en partie, de Diabat). On le trouve ainsi en association avec *Juniperus phoenicea* ssp. *lycia* (le genévrier de Phénicie). Cependant, il apprécie les substrats sableux consolidés quaternaires

(FENNANE, 1987) et on le retrouve alors plus à l'intérieur en peuplement monospécifique (forêt d'Ararta).

Les autres espèces très caractéristiques de cette association sont, d'après FENNANE (1987), *Thymus broussonetii*, *Cistus salviifolius*, *Halimium halimifolium* et *Helianthemum canariense*. Avec l'arganier souvent présent, *Periploca laevigata* se range dans le même groupe.

Comme l'arganier le thuya est un arbre rustique et il a la faculté de rejeter de souche (faculté rare chez les résineux que possèdent aussi *Pinus canariensis*, *Pinus rigida* et *Sequoia sempervirens*) lui permettant de résister dans une certaine mesure aux mutilations les plus profondes y compris aux incendies.

C'est une essence également thermophile et xérophile mais surtout héliophile. Le thuya est absent des espaces ombragés et des ubacs ; il recherche la lumière. Son association avec le genévrier de Phénicie est courante et sa physionomie très proche c'est pourquoi il est très aisé de confondre des peuplements mixtes avec une formation monospécifique.

Juniperus phoenicea est la troisième essence forestière régionale. Elle appartient comme le thuya à la famille des *Cupressaceae*. A l'inverse des deux précédentes, elle colonise aisément les substrats dunaires vifs en plus des dunes consolidées qu'elle peuple uniformément ou en association avec le thuya et / ou l'arganier.

C'est une espèce typiquement méditerranéenne et son endémisme de genre s'étend à une aire plus large que celle du thuya. Elle occupe tout le pourtour méditerranéen de manière plus ou moins continue et s'étire d'Est en Ouest du Proche-Orient aux îles Canaries et à Madère.

A l'inverse des autres résineux, son aire de peuplement est à peu près continue au Maghreb. Elle se scinde en deux parties : un secteur littoral et un secteur " continental ", de montagne. Les superficies couvertes sont très variables (BOUDY, 1950) :

- Maroc : 152 000 ha,
- Algérie : 290 000 ha,
- Tunisie : 8 000 ha.

Dans la région de l'arganier, le genévrier de Phénicie s'étend sur 34 000 ha. Il recouvre les dunes d'Essaouira sur 900 ha (BOUDY, 1950) mais ces peuplements observés sur le terrain sont souvent à l'état arbustif ; ils ne dépassent que très rarement deux mètres. Les plus belles formations à essence dominante unique sont celles de Sidi Kaouki, de Bou Tazert et de Talmest où les individus peuvent dépasser cinq mètres. Cependant le sous-bois y est relativement réduit et se compose d'éléments méditerranéens tels que *Retama monosperma*, *Ephedra fragilis*, *Pistacia lentiscus*, *Rhamnus oleoides* et *Phillyrea media*, entre autres, se distinguant d'éléments plus méridionaux comme *Periploca laevigata*, *Ononis natrix* ssp. *angustissima*, *Cenchrus ciliaris* et *Helianthemum canariense* (BAL, 1993).

A l'inverse des deux précédentes espèces (l'arganier et le thuya), le genévrier de Phénicie ne recherche pas obligatoirement la chaleur ; le caractère thermophile lui est étranger puisqu'un faciès continental de montagne existe et a été identifié dans le Sud marocain par une limite supérieure à 2 400 m sur le Sarrho et à 2 200 sur le Haut-Atlas (BOUDY, 1950). *Juniperus phoenicea* est une espèce très robuste qui rejette de souche également et capable de s'adapter à des conditions arides mais pas plus arides que celles de l'arganier. Bien que pour P. BOUDY

(1950) “ c’est de toutes les essences forestières celle qui résiste le mieux à l’aridité, d’où sa présence dans les dunes ”, le facteur édaphique est déterminant et il n’est pas unique.

La proximité d’une nappe phréatique est un deuxième facteur ; celle de l’océan en est un autre ; et le système racinaire des individus constitue un quatrième facteur.

En effet, les sols sableux sont arides car très perméables mais une nappe phréatique peu profonde peut en atténuer l’aridité. En revanche un lithosol ou un calcisol peut marquer une aridité plus prononcée que les précédents si la nappe est profonde et en raison de la proportion importante de galets ou de la structure en dalle qui accroît l’évaporation du sol par la chaleur spécifique élevée des roches.

Aussi, dès qu’on s’éloigne des dunes mobiles et de la zone des embruns, le thuya devient plus abondant que le genévrier et plus à l’intérieur c’est l’arganier qui prend le relais. La proximité de l’océan en tant que source d’humidité apportée par l’alizé joue sans aucun doute, un rôle considérable. D’autant plus que l’évapotranspiration sur le littoral est bien inférieure à celle de l’hinterland.

Le quatrième point est que l’arganier ayant la particularité d’avoir un système racinaire traçant et une adaptation physiologique en cas de sécheresse accusée grâce à la perte de ses feuilles se contente de très peu d’humidité. Alors que le genévrier puise l’eau beaucoup plus en profondeur. De plus, les racines traçantes de l’arganier ne peuvent s’implanter dans un substrat aussi meuble que les sables dunaires d’Essaouira.

A l’inverse de ce que souligne P. Boudy (1950) le genévrier de Phénicie est certainement une espèce xérophile mais pas autant que l’arganier.

Parmi les trois principales espèces arborescentes régionales, une seulement est une angiosperme : l’arganier ; appartenant au domaine macaronésien, il représente une curiosité géographique rare.

Les deux autres, plus courantes, sont des gymnospermes propres au domaine méditerranéen : le thuya de Berbérie et le genévrier de Phénicie.

Des trois, l’arganier est d’une part, celui qui exprime le plus fort endémisme, d’autre part, celui qui couvre la plus grande superficie régionale.

Leurs compagnes respectives relèvent du domaine méditerranéen mais aussi, en proportion non négligeable, du domaine macaronésien et dans une moindre mesure, de la zone saharienne.

Un caractère xérophile accusé est commun aux trois espèces.

Le premier aspect d’une végétation très spécifique est celui de l’endémisme. Mais la flore locale s’est considérablement enrichie d’espèces introduites afin de fixer les sables mobiles des dunes. Le caractère dunaire constitue le second trait de la spécialisation végétale locale et régionale.

2) L’adaptation d’une végétation psammophile et halophile

Des trois principales espèces arborescentes, le genévrier de Phénicie est assurément le plus psammophile. Cependant, au cœur même du géosystème il existe à l’état arbustif et témoigne d’une conquête végétale vigoureuse. Le terme de reconquête végétale est généralement employé par les auteurs contemporains (BOUDY, 1950 ; HOUMIMYD et ALLAM, 1990 ; BAL, 1993) ainsi que par les ingénieurs forestiers de la DEFCS (Direction des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols) d’Essaouira. Ceux-ci pensent que la végétation climacique est une junipéraie aujourd’hui disparue sous la pression anthropique ayant laissé la place à des accumulations dunaires. Mais en

l'absence d'arguments convainquants, il serait plus judicieux de parler de conquête végétale plutôt que de reconquête. En effet, pour le moment rien ne prouve l'existence d'une végétation antérieure aux dunes et si elle a existé, que c'était une junipéraie.

Nous tenterons d'apporter quelques éléments de réponse en deuxième et troisième partie. Dans le même sens, il est difficile d'affirmer que les accumulations dunaires sont exclusivement d'origine anthropique.

Sans pour autant avancer que le genévrier de Phénicie est ici une espèce nouvelle qui s'est adaptée localement au substrat dunaire d'Essaouira et tout en sachant que les dunes littorales du Maghreb jusqu'à la Tunisie sont peuplées en grande partie de *Juniperus phoenicea*, une description de l'adaptation dunaire de la végétation qui accompagne le genévrier s'impose. A ce titre, le terme adaptation doit être compris non pas comme une mutation de la végétation en place depuis la formation des dunes (bien que cela ne soit pas à exclure pour certaines espèces), mais comme des formes de vie accommodables et accommodées liées aux sables vifs.

Ainsi, le rôle de l'anthropisation prend toute son ampleur dans l'intervention de l'administration forestière et des populations locales qui ont œuvré et oeuvrent toujours à la stabilisation de ces dunes " blanches " en effectuant des campagnes de boisement. C'est pourquoi la question de " l'adaptation " de la végétation dunaire est posée. Pour le moins, la phytocénose du géosystème est plus adoptée qu'adaptée, même si les deux ne sont pas incompatibles. Cette adaptation est donc plus anthropique que " naturelle " car la phytomasse actuelle est le résultat de l'introduction d'espèces non endémiques.

Le terme d'adaptation ne doit pas être réduit au sens d'une évolution où l'homme n'a joué aucun rôle. Ainsi une espèce peut être introduite et peut aussi ne pas s'adapter. L'homme comme le vent où les oiseaux migrateurs est à l'origine de l'adaptation d'espèces à l'extérieur de leur aire de répartition endémique. Le terme d'adaptation englobe donc celui d'introduction auquel nous réservons le sens d'une initiative et d'un volontarisme.

En effet, le géosystème dunaire a été l'objet de boisements réguliers et soutenus que nous développerons en fin de deuxième partie (chapître VI) à propos de la dynamique du géosystème.

Le développement dunaire a pris ici une telle ampleur que pour beaucoup d'auteurs dont BEN DAANOUN M. (1993), Essaouira constitue le plus bel exemple marocain : " Pour ces milieux dunaires, ceux les plus spectaculaires sont ceux du Sud-Ouest marocain, dont essentiellement ceux d'Essaouira. "

Afin de fixer les sables mobiles, des espèces très spécialisées ont été sélectionnées, communément liées aux milieux très spécialisés que sont les zones désertiques et semi-désertiques. Ces espèces sont soumises à un déterminisme édaphique contraignant caractérisé par un faible bilan hydrique. Le spectre biologique est défini par une majorité de thérophytes et d'hémicryptophytes psammophiles et xérophytes.

La plus répandue car la plus apte à fixer les sables dunaires est une *Gramineae* : *Ammophila arenaria* ssp. *arundinacea* (l'oyat ou le roseau des sables). Celle-ci est régulièrement accompagnée de *Retama monosperma* (endémique stationnellement introduite), *Medicago minima*, *Lotus creticus*, *Andryala canariensis*, *Euphorbia paralias*, *Polycarpea nivea*, *Ononis natrix* ssp. *angustissima*, *Cyperus kalli* (le souchet des dunes) et *Crucianella maritima* pour les plus importantes.

Il est à noter qu'*Aristida pungens* (sous-famille des *Arundinoideae*, WATSON et al., 1985), s'enracinant habituellement dans les sables éoliens profonds (ergs), très répandue au Sud-Est du pays et en Tunisie n'est pas présente ici.

En revanche, d'autres *Gramineae* telles que *Lygeum spartum*, *Cenchrus ciliaris*, *Aeluropus litoralis* et *Avena alba* peuplent la périphérie d'Essaouira.

La première appartenant à la sous-famille des *Arundinoideae*, est caractéristique des steppes sur formations gypseuses en Tunisie aride (AKRIMI et NEFFATI, 1994). Sa présence est probablement liée à celle du gypse dans les dépressions (cf. chap. II).

La deuxième (*Cenchrus ciliaris*) appartient à la sous-famille des *Panicoideae* qui est caractéristique des milieux chauds et humides (WATSON et al., 1985).

La troisième (*Aeluropus litoralis*) est rattachée à la sous-famille des *Chloridoideae* marquant des milieux chauds et secs (WATSON et al., 1985).

La quatrième et dernière (*Avena alba*) fait partie de la sous-famille des *Festucoideae* peuplant des milieux tempérés, froids ou d'altitude (WATSON et al., 1985).

Au-delà du caractère psammophile de la végétation, toutes les nuances à distinguer au sein même du géosystème et la complexité qu'il exprime sont soulignées par le peuplement d'espèces graminéennes adaptées à des milieux spécifiques très différents. En effet, celui-ci revêt des caractéristiques diverses et parfois opposées, tant sur le plan hydrique (hydromorphie et xéromorphie) que sur le plan thermique (tempéré et chaud).

Côtoyant ces espèces, des essences arborescentes telles qu'*Eucalyptus gomphocephala* et *Acacia cyanophylla* essentiellement ont été introduites. *Acacia cyclops* a été placé en bordure océanique afin de fixer le cordon dunaire littoral. Ces arbres ne sont pas exclusivement psammophiles mais ont été choisis en fonction de leur rapidité de croissance, de manière à produire une matière organique abondante à court terme, afin d'accélérer la pédogénèse et la stabilisation des sables. Ils sont assurément xérophiles comme les espèces précédentes, tant herbacées qu'arbustives. Ils supportent une sécheresse prononcée malgré la compensation apportée localement par des taux d'humidité relative élevée.

S'il est au coeur du géosystème dunaire, le genévrier de Phénicie éprouve quelques difficultés à s'imposer dans l'aire de boisement face aux eucalyptus et acacias et cela malgré une régénération assurée. Cependant il existe à l'état climacique avec *Periploca laevigata*, *Prasium majus* et *Salsola longifolia* qui composent le sous-bois dans des périmètres situés entre Azelf et Sidi Yacine et autour de la ferme Watier sur des sols sableux profonds (BAL, 1993). Il manifeste la même vigueur sur les dunes consolidées (grès siliceux et calcaires, dunes « grises » longitudinales du cap Sim). Essaouira est la localité où le faciès littoral du genévrier s'éloigne le plus de l'océan (BEN DAANOUN, 1993).

Le concept de climax est souvent prépondérant dans les études phytodynamiques car il place la végétation sous l'angle de successions progressives ou régressives à différents stades (stade pionnier, intermédiaire et terminal ou climacique). Il se fonde sur l'idée d'équilibres dynamiques et de cycles et conserve donc un lien avec le concept antérieur de forêt primaire. L'initiative de cartographier la végétation de la France à partir de feuilles au 1/200 000^e (GAUSSEN, in OZENDA, 1986) a permis d'aboutir à la notion de série de végétation ou série dynamique, puis de zone équipotentielle (REY, in OZENDA, 1986). Ainsi a émergé le concept de climax rassemblant la totalité de groupements végétaux qui évoluent vers lui, s'en éloignent ou en dérivent. Mais l'école du climax comme la plupart des courants de pensée a essuyé des critiques injustifiées

pour certaines d'entre elles et justifiées pour les autres. Par exemple, traitant des conceptions du temps en géographie, REYNAUD (1971) souligne les ambiguïtés de la notion de cycle et de l'obsession finaliste ; il conçoit plus aisément un déroulement hétérogène fait de ruptures, de discontinuités à l'image des crises climatiques, ou des impacts anthropiques.

Ces remarques justes et justifiées imposent donc une certaine prudence à l'égard du concept de climax, prudence adoptée dans le cadre du géosystème d'Essaouira.

Comme il a été décrit au chapitre précédent, les dépressions interdunaires sont en partie occupées par des sols salins couverts d'espèces caractéristiques de milieux halo-hydromorphes : *Sarcocornia fruticosa* dont l'ancien nom de genre est *Salicornia* (FENNANE et al., 1999), *Suaeda fruticosa*, *Salsola longifolia*, *Frankenia thymifolia*, *Atriplex glauca*, *Limonium guyonianum*, *Limonium mucronatum*, *Lycium intricatum*, *Juncus acutus* et *Tamarix canariensis* (plus psammophile que les précédentes). Celles-ci se sont naturellement adaptées aux sols salins et humides. Les salicornes observées sont vertes sur leur partie basale alors que le sommet des épis est souvent rougeâtre formant une concentration de soude.

Malgré le caractère hydromorphique des bas-fonds qu'elles occupent, ces espèces fonctionnent comme des xérophytes. Les dépressions étant soumises à une évaporation élevée, la végétation accumule de fortes quantités d'eau dans ses tissus, processus biophysique qui constitue une des formes les plus abouties de l'adaptation à la sécheresse : la crassulescence. Ce phénomène de résistance au déficit hydrique, autrement appelé évitement (HARROUNI, 1994), met en jeu une pression osmotique élevée au sein du parenchyme des plantes. C'est une régulation des différences de concentration en sels qui s'effectue entre le sol et les tissus de la plante afin de rechercher un équilibre. Ce processus nommé osmose s'accompagne de plusieurs autres processus d'adaptation dont les principaux sont l'absence de feuilles diminuant l'évapotranspiration, la formation d'un duvet blanchâtre augmentant la réflectance (c'est notamment le cas de *Frankenia thymifolia*, entre autres) et l'augmentation du rapport partie racinaire/partie aérienne.

La végétation du géosystème dunaire est formée de deux sous-ensembles :

- le premier correspond à une végétation majoritairement introduite qui a pour but de stabiliser les sables vifs ; elle peuple les hauts de dunes et les versants et s'accompagne d'espèces spontanées telles que *Juniperus Phoenicea*, *Cyperus kalli* et *Andryala canariensis*, entre autres ;

- le second sous-ensemble est composé d'une végétation "naturelle" qui colonise les cuvettes interdunaires. Caractéristique des milieux salés et humides, elle s'est implantée et répandue naturellement. *Sarcocornia fruticosa* (la salicorne) est en tête du cortège floristique.

Après avoir décrit l'endémisme végétal marqué, la seconde spécificité de la végétation locale s'exprime d'une part, à travers un faciès dunaire d'abord adapté, puis spontané ; et d'autre part, à travers un faciès halomorphe, spontané. Il est important de mentionner enfin le degré d'anthropisation élevé lié à l'introduction directe par l'homme d'un groupe d'espèces arborescentes principalement et qui représente la majeure partie de la phytomasse sur l'aire de boisement.

La variété des groupements végétaux et la faible densité du couvert partout significative, caractérisent le géosystème dunaire.

3) La faible densité et la diversité des formations végétales

La diversité et la faible densité des groupements végétaux sont mises en valeur par l'étude de BAL (1993) qui a effectué des relevés phytosociologiques suivant la méthode sigmatiste développée par BRAUN-BLANQUET (1928 et 1933). Neuf groupements ont été identifiés plus une classe intitulée « reboisements » couvrant en grande partie la superficie dunaire.

Les neuf groupements végétaux relevés sont les suivants :

- I) groupement à *Rhus albidus* et *Limonium mucronatum*,
- II) groupement à *Polycarpea nivea* et *Lotus creticus*,
- III) groupement à *Tamarix canariensis*, *Salsola longifolia* et *Lycium intricatum*,
- IV) groupement à *Juniperus phoenicea* et *Periploca laevigata*,
- V) groupement à *Juniperus phoenicea* et *Tetraclinis articulata*,
- VI) groupement à *Juniperus phoenicea* et *Argania spinosa*,
- VII) groupement à *Salsola longifolia*, *Periploca laevigata*, *Asparagus pastorianus* et *Senecio anteuphorbium*,
- VIII) groupement à *Retama monosperma* et *Limonium mucronatum*, et
- IX) groupement à *Helianthemum confertum* et *Retama monosperma*.

La méthode suivie a nécessité l'affectation de deux indices pour chaque espèce inventoriée : un indice d'abondance-dominance exprimant l'abondance des individus et leur recouvrement ; et un indice de sociabilité indiquant leur répartition spatiale (individus isolés, en touffes, en groupes, en colonies ou en peuplements).

Le tableau XIII ci-dessous, indique les taux de recouvrement et la hauteur moyenne des strates arborescente et arbustive pour chacun des groupements identifiés. Hauteur et densité nous donnent une idée de la phytomasse locale dont la production est relativement faible même si les groupements IV et V paraissent assez denses.

Tableau XIII :
Taux de recouvrement et hauteur des groupements végétaux sur dunes maritimes d'Essaouira, d'après BAL (1993), modifié.

Groupements	Strate arborescente		Strate arbustive	
	Recouvrement moyen (%)	Hauteur moyenne (m)	Recouvrement moyen (%)	Hauteur moyenne (m)
I	< 5	4	< 60	< 1
II	-	-	< 40	< 0,5
III	< 15	3	< 55	< 1,5
IV	55	4	40	1,5
V	55	< 3,5	50	1
VI	< 35	< 3,5	< 60	1,5
VII	< 10	3	< 60	< 1,5
VIII	< 5	3,5	> 60	< 1,5
IX	< 5	< 3,5	> 60	< 1,5

Les taux de recouvrement de la strate arbustive sont beaucoup plus élevés que ceux de la strate arborescente (50 % en moyenne avec des valeurs supérieures à 60 % pour les groupements VIII et IX, contre 20 % en moyenne). Le groupement II n'a pas de strate arborescente et cette dernière enregistre des valeurs très basses, inférieures à 5 % pour les groupements I, VIII et IX.

La hauteur générale est relativement limitée, au maximum 4 m ; dans certains secteurs les individus peuvent dépasser cette valeur. Le groupement III à *Tamarix canariensis*, *Salsola longifolia* et *Lycium intricatum* enregistre une hauteur moyenne de 3 m pour la strate arborescente, valeur relativement élevée, probablement due à des mesures effectuées le long des ripisylves. Alors que les tamaris situés au contact dépressions-dunes sont à l'état arbustif et s'élèvent à 1,5 m maximum. Le jonc piquant (*Juncus acutus*) marque la limite externe des cuvettes interdunaires humides et salées. Dans les bas-fonds, la strate herbacée est toujours inférieure à 60 cm ; la hauteur maximale des salicornes n'excèdent pas 30 cm.

D'un point de vue physiologique, la diversité de tels groupements végétaux met également en valeur la diversité paysagère, même si la plupart des formations observées sont des matorrals. Pour IONESCO et SAUVAGE (1962) qui ont établi un essai de définition et de nomenclature des types de végétation au Maroc, un matorral est « une formation de végétaux ligneux n'excédant pas pas 7 m de hauteur, ... ».

Ces mêmes auteurs (1962) mettent l'accent sur l'ambiguïté du terme de forêt qui prend un sens totalement différent suivant la latitude à laquelle on se réfère : « Si l'on applique brutalement les critères d'Europe tempérée ou ceux d'Afrique inter-tropicale, on s'aperçoit rapidement que très rares sont les peuplements ligneux qui mériteraient au Maroc le nom de forêt ». Pour la taille, ils adoptent la définition de C.-L. GATIN (1924) reprise par A. BRUTTINI (1930) et pour laquelle l'arbre a une taille minimale de 7 m ; « si l'on admet cette définition de la forêt, on voit que sont exclues de ce type de végétation :

- a) toute formation ligneuse fermée trop basse (de taille inférieure à 7 m ; ainsi la « forêt » basse de genévrier rouge des dunes de Mehdiya est en réalité un matorral élevé dense... »

Au niveau de la taille, Ionesco et Sauvage distinguent trois types de matorral en domaine semi-aride marocain :

- les **matorrals élevés** dépassant 2 m,
- **moyens**, compris entre 2 m et 60 cm,
- et **bas**, ne dépassant pas 60 cm.

Sur le plan de la densité, ils distinguent également trois types :

- les **matorrals denses**, couvrant plus des $\frac{3}{4}$ de la surface,
- **troués**, couvrant de la $\frac{1}{2}$ aux $\frac{3}{4}$ de la surface et
- **clairs**, couvrant du $\frac{1}{4}$ à la $\frac{1}{2}$ de la surface.

Sur la base de cette classification, les formations végétales observées sur le terrain, sont :

- un **matorral arboré élevé dense** (groupements IV et V),
- un **matorral arbustif moyen dense** (groupement VI),
- un **matorral arbustif moyen troué** (groupements I, III, VII, VIII et IX) et
- un **matorral bas clair** (groupement II).

Le groupement VI est le plus éloigné du littoral ; et les formations pures d'arganiers situées plus à l'Est et non prises en compte par Bal (1993) dans l'identification des groupements phytosociologiques, montrent un paysage de **steppe arborée**, le recouvrement étant inférieur au quart de la surface.

Les formations végétales s'organisent en deux unités paysagères dominantes qui s'interpénètrent formant une mosaïque :

- un **matorral arboré élevé, clair** à *Acacia cyanophylla*, *Eucalyptus gomphocephala* et *Juniperus phoenicea* sur les dunes (sommets, versants et dépressions intradunaires) ;
- une **steppe herbacée crassulescente** à *Sarcocornia fruticosa* dans le fond des dépressions interdunaires.

La seconde formation est celle qui s'apparente le plus au groupement III sur le plan de la composition floristique et bien qu'elle en diffère sur le plan physionomique. En effet, les conditions halo-hydromorphiques propres aux creux interdunaires et à la basse vallée du Ksob (conditions de plus en plus affirmées vers l'embouchure) imposent un cortège floristique composé d'espèces halo-hygrophiles telles que *Tamarix canariensis*, *Salsola longifolia*, *Sarcocornia fruticosa*, *Atriplex glauca*, *Juncus acutus*, et *Lycium intricatum* pour les principales. Cependant, les bas-fonds interdunaires expriment une forte spécialisation qui les distingue nettement des autres dépressions tant sur le plan pédologique, hydrologique, que botanique.

Dans l'ensemble, la phytomasse est assez peu fournie (végétation claire et peu élevée) même si les taux de recouvrement moyens de la strate arbustive affichent des valeurs au dessus de 50 % en moyenne. La diversité des formations végétales et leur distribution dans l'espace montrent beaucoup de vides où dominent de manière discontinue sables éoliens et substratum. Le manteau végétal n'assure ainsi qu'une très faible protection des sols soumis à la déflation et/ou au lessivage. Cette précarité est renforcée par une protection souvent nulle (décapage ou accumulation dunaire).

Une des particularités du géosystème réside dans la répartition des formations végétales suivant un maillage serré qui prend la forme d'une mosaïque où alternent espèces de reboisement (et leur cortège psammophile spontané) sur les dunes (matorral arboré) et espèces halo-hygrophiles spontanées dans les dépressions (steppe herbacée crassulescente).

La double spécificité du couvert végétal est indiquée par un endémisme marqué qui voit l'association originale d'espèces méditerranéennes, macaronésiennes et saharo-tropicales. De plus, une végétation spécialisée a colonisé les sables dunaires et les dépressions argileuses salées. La phytomasse produite est peu abondante (faibles recouvrement et hauteur) et les formations végétales sont diversifiées : steppes herbacée et arborée ; matorrals arborés et arbustifs, élevés, moyens et bas, denses, troué et clairs.

Conclusion

La présentation des éléments biotiques et abiotiques du géosystème dunaire souligne un contexte régional semi-aride. Hydromasse et aéromasse sont contrôlées par des facteurs climatiques originaux et impriment leurs influences à la lithomasse ainsi qu'à la pédomasse. Cette dernière constitue une surface de contact fragile entre éléments biotiques et abiotiques. La

couverture végétale à la fois endémique et introduite n'est pas assez épaisse pour enrayer la dynamique dunaire.

Les interrelations entre l'anticyclone des Açores, le courant des Canaries et le phénomène d'upwelling sont les facteurs principaux du caractère méditerranéen affirmé du climat (absence de pluies estivales et faiblesse des précipitations annuelles avec 279 mm). L'alizé de secteur NNE constitue un élément climatique prédominant, en forte corrélation négative avec la pluviométrie. Malgré les influences océaniques, l'indice d'aridité d'Emberger marque un bioclimat semi-aride à hiver chaud.

L'interdépendance chronologique et spatiale des agents morphodynamiques fait apparaître une dimension décroissante de leur rôle respectif dans l'évolution du modelé : la dynamique marine, la dynamique éolienne, la dynamique fluviatile et enfin la tectonique. Si la dynamique marine occupe une place essentielle à l'échelle des temps géologiques et si son action n'est pas perceptible à l'échelle humaine, la dynamique éolienne prend une part primordiale et assure l'essentiel de l'évolution des formes du modelé actuel. Son rôle paléomorphodynamique est aussi prépondérant ; depuis la fin du Pléistocène (15 000 ans B.P.), au moins trois systèmes dunaires ont été enregistrés.

Le faible degré d'évolution des sols à la fois squelettiques et instables ainsi que leur répartition indiquent d'une part, la précarité du géosystème. Cette dernière prend toute sa dimension à travers la sensibilité de l'interface que constitue le sol. D'autre part, les discontinuités spatiales forment une mosaïque où les sols salins s'intercalent parmi les sols dunaires. A l'échelle régionale, le géosystème prend la configuration d'un isolat pédologique dont l'espace endoréique est ignoré du principal exutoire local qu'est l'oued Ksob, au Sud. La roche mère est souvent décapée et mise à nu, fragilisée par l'insuffisance ou l'absence de pédogénèse et agressée par les agents météoriques (alizé et précipitations).

Le couvert végétal revêt une double spécificité et un faible développement. Il est caractérisé par un fort endémisme et l'adaptation d'une végétation très spécialisée, psammophile et halophile composée d'espèces introduites et spontanées. Mais la minceur du manteau végétal n'assure pas une bonne protection des sols soumis à l'érosion éolienne très incidente.

En somme, le géosystème dunaire d'Essaouira-Est comprend deux géofaciès : un géofaciès dunaire à acacias, eucalyptus et genévriers représenté par les sables mobiles autour des bouquets de végétation ; et un géofaciès lagunaire à salicornes représenté par les dépressions interdunaires. Cette répartition dichotomique suscite une comparaison à laquelle on ne peut s'empêcher de penser et dont le point commun réside dans l'alternance de deux géofaciès comme dans d'autres régions désertiques du globe : les dunes et les dépressions. Un exemple relativement bien connu est le géosystème des Kara-Koum de la région aralo-caspienne (ex-république soviétique de Turkménie) où cordons dunaires et couloirs interdunaires (les takyrs) alternent formant les deux géofaciès de base du géosystème (ROUGERIE, 1988). Bien qu'éléments biotiques et abiotiques présentent là-bas une structure et une dynamique très différentes, le rapprochement est évident.

A l'issue de cette première partie se dégage un modèle théorique général du géosystème auquel sont intégrés les éléments biotiques et abiotiques de la localité souirie (fig. 18 et 19, page suivante). Celui-ci n'est ni fixe ni définitif mais adaptable en fonction du cas d'étude.

Sur l'exemple du fonctionnement général du géosystème présenté en introduction générale (fig. 4), les liaisons internes (verticales et horizontales) indiquent les transferts de matière et d'énergie

(productions et stockages) au sein du géosystème et les liaisons externes, les transferts de matière et d'énergie avec sa périphérie proche (géosystème(s) de contact) et lointaine.

L'hydromasse ou la cryomasse, qu'elle soit marine, lacustre ou fluviale, constitue un réservoir hydrique ouvert en permanence et à partir duquel le géosystème s'alimente. C'est la raison pour laquelle elle n'est pas intégrée au géosystème mais lui est liée par sa présence partielle dans chacun des géohorizons et des géofaciès où elle circule suivant les liaisons internes. On devine alors son rôle essentiel et le poids des relations océans / atmosphère dans les fluctuations climatiques ainsi que celui des relations lithosphère / hydrosphère. Sur les deux figures, le cycle de l'eau prend ainsi la forme d'un triangle rectangle.

La structure verticale met en relief divers faciès (lithofaciès, pédofaciès, phytofaciès et climatofaciès) alignés sur les géohorizons qui eux-mêmes constituent des étages circonscrits de la lithosphère, de la pédosphère, de la phytosphère et de l'aérosphère et se subdivisent en horizons ou en strates. Chacun de ces faciès varie suivant la zone géographique, le domaine, la région, le géosystème et le géofaciès considéré est identifié par ses propres caractéristiques (sa composition, sa texture, sa structure et son énergie).

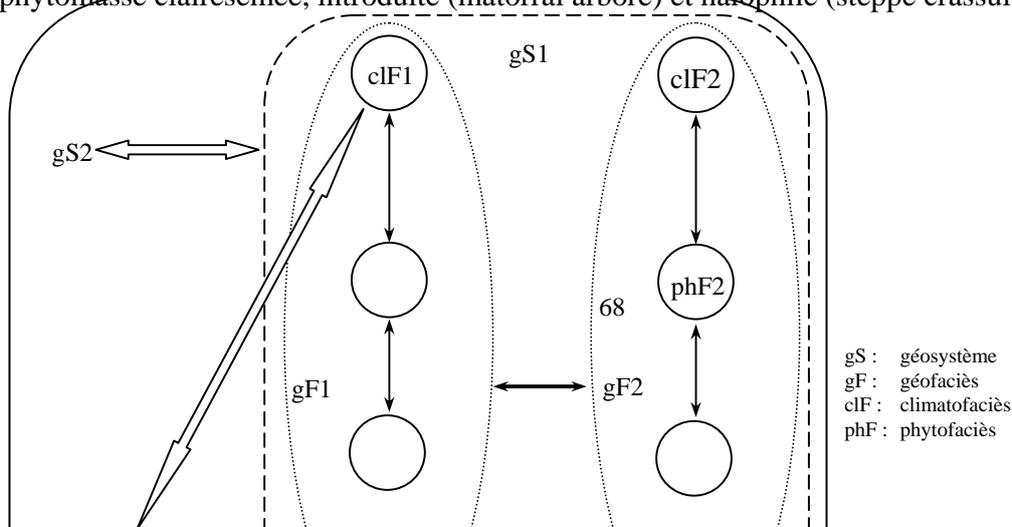
Sans être privilégiées les liaisons externes du géosystème sont fondamentales car elles imposent leur état au géofaciès et au géosystème qui s'adaptent en régulant vitesse et volume des flux de matière et d'énergie internes. L'équilibre est donc recherché en permanence. Mais à l'opposé, si une liaison interne ou la structure d'un élément au moins se modifie, les liaisons externes subissent ce changement.

La figure 19 représente l'application du modèle théorique général au géosystème littoral d'Essaouira et indique les deux géofaciès qui le composent : le géofaciès dunaire (gFd) et le géofaciès lagunaire (gFl).

Les facteurs climatiques liés la cellule anticyclonique subtropicale des Açores, au courant des Canaries et à l'upwelling apparaissent au premier plan (liaisons externes entre l'océan Atlantique, le climat méditerranéen à alizé dominant et les sables éoliens). En effet, le géofaciès dunaire présente un lithofaciès sableux soufflé par l'alizé pendant la période sèche et provenant en majeure partie du cordon littoral. Ce dernier a été mis en place par l'océan qui a remanié et déposé les sédiments sur les hauts de plage. Le rôle de l'hydromasse atlantique est donc prépondérant puisqu'on peut dire qu'elle a constitué le lithofaciès sableux directement dans un premier temps (transport marin et dépôt) et indirectement dans un second temps (transport éolien assuré par l'alizé entretenu par l'upwelling). Avec l'alizé, l'hydromasse atlantique est donc l'acteur principal qui oriente la structure horizontale du géofaciès dunaire.

Elle contrôle aussi la répartition spatiale du géofaciès lagunaire dans la mesure où ce dernier est fonction de l'espace occupé par le premier. De plus, elle alimente la salinité des bas-fonds provenant du biseau salé.

Par réaction en chaîne, les liaisons internes sont orientées en fonction des liaisons externes à partir des lithofaciès. Les pédofaciès meubles d'un côté et salin de l'autre sont couverts d'une phytomasse clairsemée, introduite (matorral arboré) et halophile (steppe crassulescente).



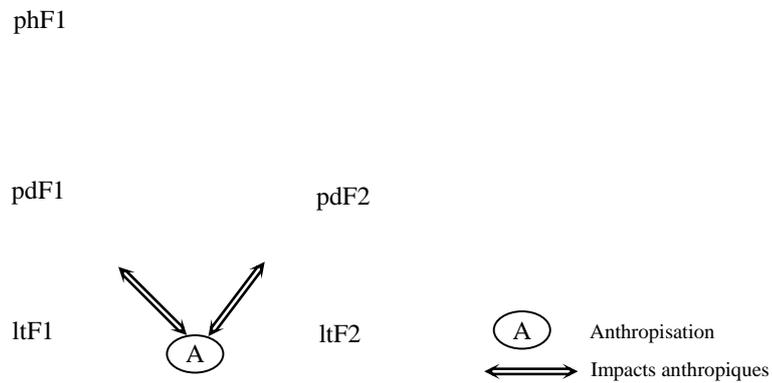


Fig. 18 : Modèle théorique du géosystème

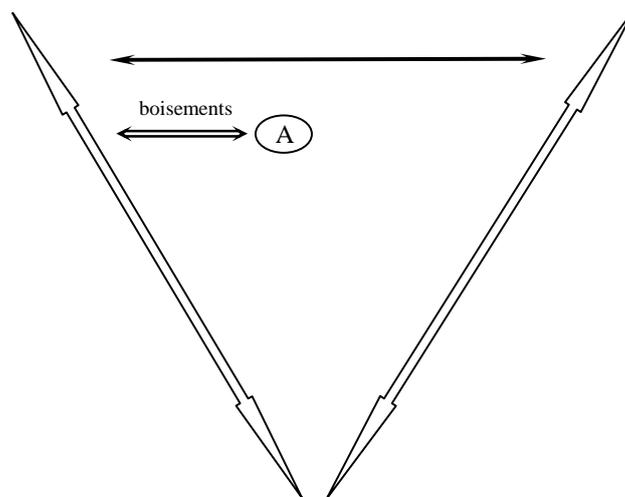


Fig. 19 : Application du modèle théorique au géosystème littoral d'Essaouira
 (légende identique à celle de la figure 18, gSd : géosystème dunaire, gSc : géosystème de contact, gFd : géofaciès dunaire et gFl : géofaciès lagunaire)

Le géosystème dunaire enregistre de multiples ruptures d'équilibre dans ce contexte semi-aride tant sur les plans phytogéographique, pédologique que morphoclimatique. A quel(s) phénomène(s) précis correspondent ces ruptures d'équilibre ? Quelles sont les réactions du géosystème face à ces phénomènes ? Quelle en est l'orientation de sa structure et de sa dynamique ? Répondre à ces questions passe par la connaissance de sa formation.

*DEUXIÈME PARTIE :
FORMATION ET DYNAMIQUE DU GÉOSYSTÈME*

Introduction

« On fait la science avec des faits comme une maison avec des pierres,
mais une accumulation de faits n'est pas plus une science qu'un tas de pierres n'est une maison. »

Henri Poincaré

Après avoir montré le déterminisme climatique semi-aride du géosystème dunaire d'Essaouira-Est qui de fait, entraîne des caractères géomorphologiques semi-arides, des formations pédologiques et phytogéographiques peu développées, il est fondamental d'approfondir la connaissance des réactions du milieu à ce déterminisme.

La compréhension des interdépendances entre éléments abiotiques, biotiques et anthropiques constitue la base de l'analyse géosystémique. Leur organisation spatiale et leur évolution dans le temps, leur fonctionnement, les échanges de matière et d'énergie au niveau des interfaces forment la dynamique du géosystème.

Si les éléments abiotiques sont inertes, privés de vie, ils n'en sont pas moins dynamiques et l'évolution topographique du massif dunaire en trois décennies le montre comme les variations hydriques des dépressions.

Une place particulière est faite aux phytolithes qui constituent un traceur de la dynamique végétale. Car bien que formant un élément abiotique puisqu'ils sont le produit d'une cristallisation, ils représentent des minéraux issus d'un flux de matière et d'énergie dont la source est la roche et dont une des étapes du cycle biogéochimique sont les tissus végétaux. Les phytolithes constituent donc un élément abiotique recyclé par un élément biotique : la plante. Nous voyons là tout l'intérêt qu'ils représentent puisqu'ils permettent de quantifier les dynamiques édaphiques et végétales. Aussi, les phytolithes permettent d'analyser une partie des éléments biotiques : la phytocénose.

L'étude dynamique des composants biotiques est principalement centrée sur la phytomasse qui a été en grande partie introduite par l'homme. Elle s'insère donc dans le chapitre VI avec l'analyse de l'élément anthropique. Ce dernier, partie intégrante du géosystème, est-il capable de rompre son équilibre ? C'est à cette question que nous tenterons de répondre.

CHAPÎTRE IV

INTERACTIONS ET DYNAMIQUE ENTRE ELEMENTS ABIOTIQUES

Sans privilégier aucun élément abiotique dans la composition de tout géosystème quel qu'il soit, il est incontestable que la lithomasse représente en quelque sorte, un amer sur un espace où tout évolue en permanence.

Les formations superficielles sont identifiées et leur organisation spatiale précisée.

Après la roche, l'atmosphère et l'eau constituent les deux autres éléments abiotiques.

La dynamique éolienne exerce une influence majeure sur le géosystème puisqu'elle en contrôle sa forme, les types de formes dunaires qui le composent et leur distribution dans l'espace, ainsi que son fonctionnement.

Les actions hydriques jouent un rôle important : elles permettent aux éléments biotiques, et en particulier à la phytomasse, de se développer sur un substrat inerte. Et leur niveau de répartition est superficiel et souterrain.

Dans le cas particulier d'Essaouira, si deux des trois éléments abiotiques que forment l'aéromasse, l'hydromasse et la lithomasse constituent des fluides, le troisième s'en rapproche car il exprime une certaine fluidité à travers la roche meuble composée de sables dunaires et à travers sa capacité à subir un écoulement. Il ne constitue pas un fluide au sens physique du terme, mais sa répartition est contrôlée par la dynamique éolienne qui oriente ou « profile » l'espace dunaire.

1) Identification et organisation spatiale des formations superficielles

Les formations superficielles sont constituées d'un matériel détritique terrigène et elles s'organisent suivant deux séquences sédimentaires.

A) Un matériel détritique terrigène

Des échantillons prélevés sur le terrain sont analysés après avoir subi des mesures de diffraction des rayons X afin de déterminer leur composition minéralogique. Ces mesures ont été effectuées par Jacqueline Lappartient, Yves Noack et Daniel Boerschnek au CEREGE (Centre Européen de Recherche et d'Etude des Géosciences de l'Environnement), Unité Mixte de Recherche 6635 du C.N.R.S. à Aix en Provence.

La figure 20 (page suivante) indique la localisation schématique des sites d'échantillonnage. Le nombre total d'échantillons s'élève à 15 : SNE (Sommet Nord-Est) et SSO (Sommet Sud-Ouest) ont été prélevés sur les sommets des dunes ; VSO (Versant Sud-Ouest) et VNE (Versant Nord-Est) correspondent aux versants sous le vent et au vent. DEP est une colonne sédimentaire prélevée par carottage au centre d'une dépression interdunaire dont les coordonnées relevées par GPS sont : N 31° 30,5' et W 9° 45,1'. Sa longueur est de 55 cm (fig. 14) et elle a été découpée en 11 demi-disques de 5 cm d'épaisseur désignés par DEP55, DEP50...DEP5, du bas vers le haut. La dépression dans laquelle a été prélevée la carotte DEP est représentée par la figure 21.

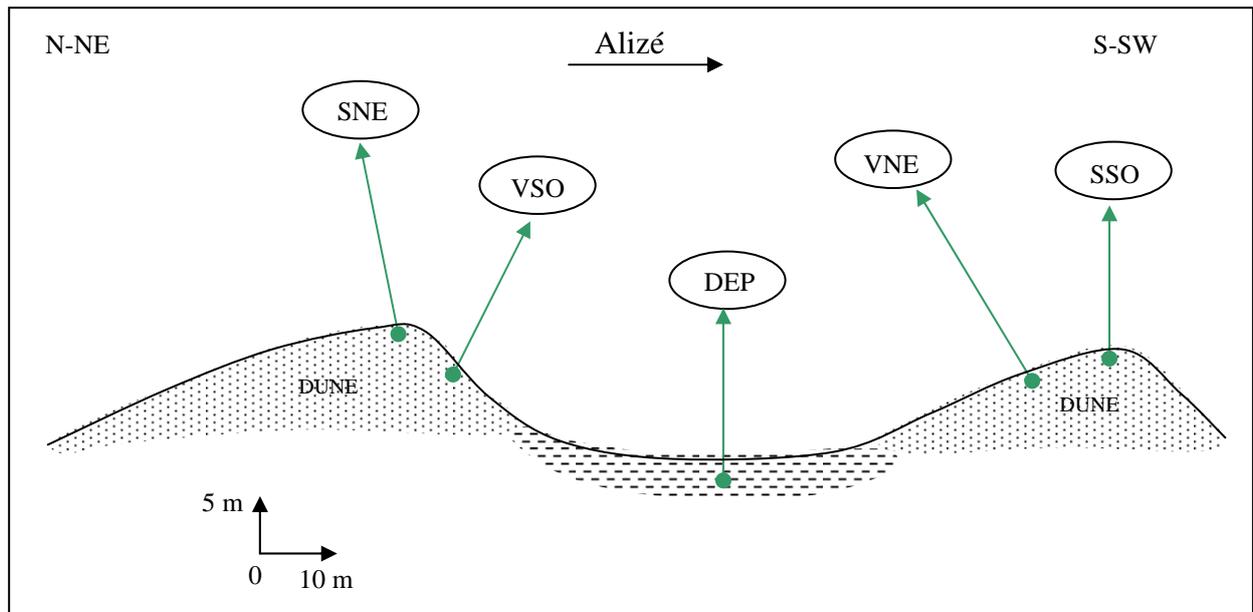


Fig. 20 : Localisation des sites d'échantillonnage en coupe.



Fig. 21 : Site d'extraction de la carotte sédimentaire DEP
Cliché : Claude SIMONE, le 5 VII 1996.

La lithologie illustrée par la figure 22 (p. 76) est représentée à la base de la carotte par des sédiments à granulométrie limono-argileuse. Le niveau 0 indique le fond de la cuvette interdunaire. Le long du profil, le matériel est assez uniforme, excepté une partie plus sableuse entre 15 et 8 cm (cf. fig. 14).

Plus haut dans les dunes, la granulométrie passe à des sables fins composés principalement de quartz et de fragments de tests de mollusques marins, constituant un faciès meuble représenté par les échantillons « versants » et « sommets ». Ces deux derniers correspondent respectivement à la moyenne de VSO et VNE et à celle de SNE et SSO.

L'analyse des différents diffractogrammes X permet de déterminer le cortège minéral de chacun des échantillons (fig. 22) qui ont subi les rayonnements sous diffractomètre Philips (tube au cobalt de longueur d'onde 1,79 Å à 40 kV et 40 mA).

Les phases minérales de chaque échantillon sont illustrées par les trois diagrammes en barres. Elles sont calculées suivant les rapports de surface de pics de diffraction avec le logiciel APD (Automatic Powder Diffraction) développé par Philips. Les unités adoptées correspondent donc à des pourcentages qui expriment les proportions de minéraux ; ce sont des données quantitatives alors que les degrés de cristallinité sont indiquées par la forme plus ou moins aiguës des pics sur les diffractogrammes et représentent des données qualitatives.

Les minéraux essentiels (pourcentage moyen supérieur à 10 %) sont le quartz (50 %), les phyllosilicates (15 %) dont l'illite, la chlorite et la kaolinite, les plagioclases (12 %), et la calcite (11 %). Ceux dont la moyenne est inférieure à 10 % sont la dolomite (6 %), l'halite (2 %), l'hématite (2 %), les feldspaths potassiques (1 %) et le gypse (1 %).

Les phases minérales constituant les échantillons bruts (fraction totale) montrent, par la prédominance des minéraux primaires (quartz, phyllosilicates, plagioclases et feldspaths potassiques) totalisant en moyenne 79 %, qu'il s'agit d'un matériel détritique terrigène.

Cependant, une nette influence biodétritique est représentée par la calcite issue des fragments de tests coquilliers, à hauteur de 25 % pour les sommets et les versants des dunes .

La calcite appartient au second groupe de minéraux dits secondaires, comprenant aussi la dolomite, l'halite et l'hématite. Ils sont issus, soit de recristallisations, soit de néoformations. Le terme de secondaire fait référence aux phases minérales se produisant par altération géochimique postérieure aux phénomènes magmatiques. Il s'applique notamment aux processus de surface, alors que les minéraux primaires, même s'ils se trouvent parfois en surface, sont formés lors de processus réalisés en profondeur.

Le gypse apparaît seulement dans la fraction inférieure à 2 µm (fig.22, 2^e graphique), mettant en valeur sa cristallisation très fine.

Dans la fraction inférieure à 2 µm, la calcite n'est pas prise en compte sur les échantillons dep5, dep20, dep30, dep40 et dep50. Les analyses ont été effectuées en deux séries et les diffractogrammes respectifs de cette dernière étant plus réduits ($0^\circ < 2\theta < 33^\circ$ contre $0^\circ < 2\theta < 35^\circ$ pour la deuxième série dep 10, 15, 25, 35, 45 et 55 ; θ correspondant à l'angle d'ouverture du diffractomètre) ne permettent pas d'évaluer les taux de calcite dont le pic est situé à 3,04 Å. Cependant, il apparaît que sa variation le long du profil (de 0 à 55 cm) est faible.

Aussi, le diagramme correspondant à la fraction inférieure à 2 µm ne restitue pas exactement la réalité des surfaces de diffraction d'origine (exceptés les échantillons des sommets et des versants) dans la mesure où la diffraction des rayons X a porté sur une poudre broyée et non pas sur un sédiment désagrégé. Ce diagramme est notamment intéressant pour la présence du gypse.

Sur le graphique représentant la fraction totale, les cortèges minéraux successifs indiquent une rupture entre le fond de la dépression (dep5) et les versants par la disparition de la dolomite et de la halite, d'une part, dont les valeurs respectives sont de 6 et 7 % ; et l'augmentation des feldspaths potassiques d'autre part, qui passent de 0 à 7 %.

Dans le même sens, une rupture d'une autre nature est observée sur le deuxième graphique (fraction < 2 µm) au même niveau. Le pic de la calcite marque une nette progression dans les

dunes enregistrant 38 %. La faible valeur de calcite à dep10 est observée sur tous les échantillons du profil.

Sur le troisième graphique (phases phyllosilicatées) une troisième rupture est notée au même niveau encore entre dep5 et les versants. Une forte diminution de la kaolinite qui se traduit par un passage de 32 à 4,2 %, puis sa disparition sur les sommets est observée. A l'inverse, l'illite et la chlorite augmentent nettement.

Le cortège des minéraux argileux lié à chaque échantillon est caractéristique d'un matériel hérité dans la mesure où toute néoformation y est exclue (PAQUET, 1970).

Le matériel analysé sur chaque échantillon pourrait provenir de la même source car, tant dans les dunes que dans la dépression, le détritisme terrigène est identifié par la présence majeure du quartz, des phyllosilicates et des plagioclases, totalisant à eux trois, en moyenne plus de 70 % ; même si des variations quantitatives sont notables, le cortège minéral est, pour l'essentiel, identique.

Cependant, le troisième graphique laisse apparaître une rupture qui appelle une discussion.

Si le matériel provient de la même source, la disparition de la kaolinite entre la dépression et les dunes ne peut s'expliquer que par un tri opéré lors des diverses phases détritiques qui se sont produites entre la source et la zone de dépôts actuelle.

Si la source des dépôts interdunaires est différente de celle des sables dunaires, alors la kaolinite marque l'origine d'une roche magmatique, un granite par exemple, ou l'origine d'une phase d'altération pédogénétique en milieu chaud et humide, de type intertropical.

Mais dans tous les cas le matériel dunaire provient de roches magmatiques ou métamorphiques.

Si une discontinuité du cortège minéral se produit au même niveau sur chacun des trois graphiques de la figure 22, il est malgré tout hasardeux de se risquer à toute hypothèse concernant la relation entre stratigraphie et dynamique sédimentaire.

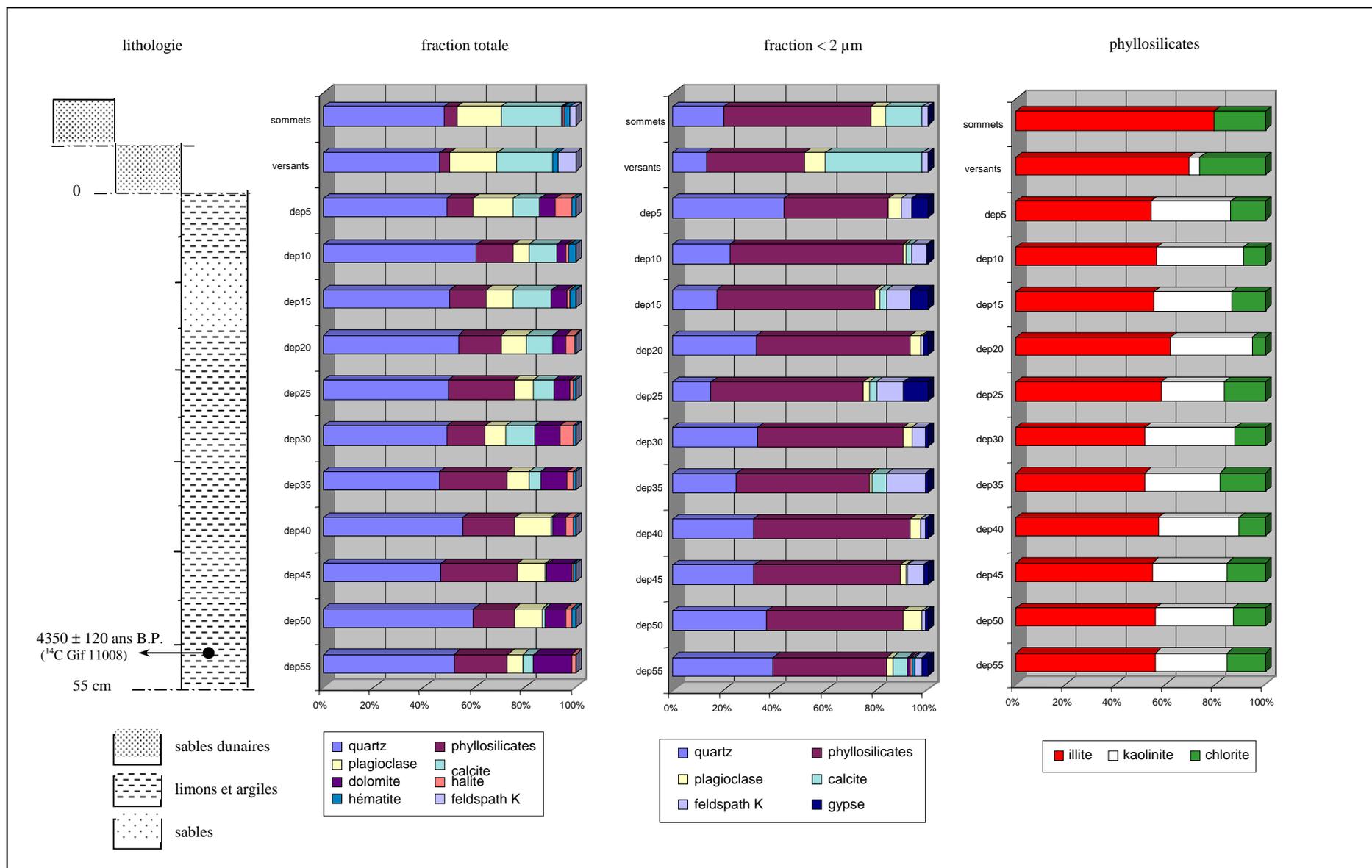


Fig. 22 : Distribution des phases minérales dunaires et interdunaires.

B) Deux séquences sédimentaires distinctes

Deux arguments complémentaires permettent non seulement d'identifier les séquences sédimentaires mais aussi de déterminer leur organisation spatiale et de préciser leur dynamique :

- un argument granulométrique
- un argument minéralogique.

a) L'argument granulométrique

Une granulométrie partielle est effectuée sur chacun des échantillons. Dans un premier temps, un tamisage humide permet de séparer la fraction supérieure à 2 mm de celle inférieure à cette valeur. Tous les échantillons sont exempts de particules supérieures à 2 mm.

Puis un second tamisage humide est réalisé à 50 µm, permettant de quantifier les proportions de sables.

Enfin, sur la fraction inférieure à 50 µm, une extraction d'argiles est effectuée par centrifugation.

La proportion de matière organique étant inférieure à 1 % dans chaque échantillon, sa dissolution n'est pas nécessaire.

Protocole d'analyses suivi :

- séchage des échantillons pendant 48 h à 105 ° C,
- pesée nette,
- tamisage humide à 2 mm,
- tamisage humide à 50 µm,
- séchage du refus pendant 48 h à 105 ° C,

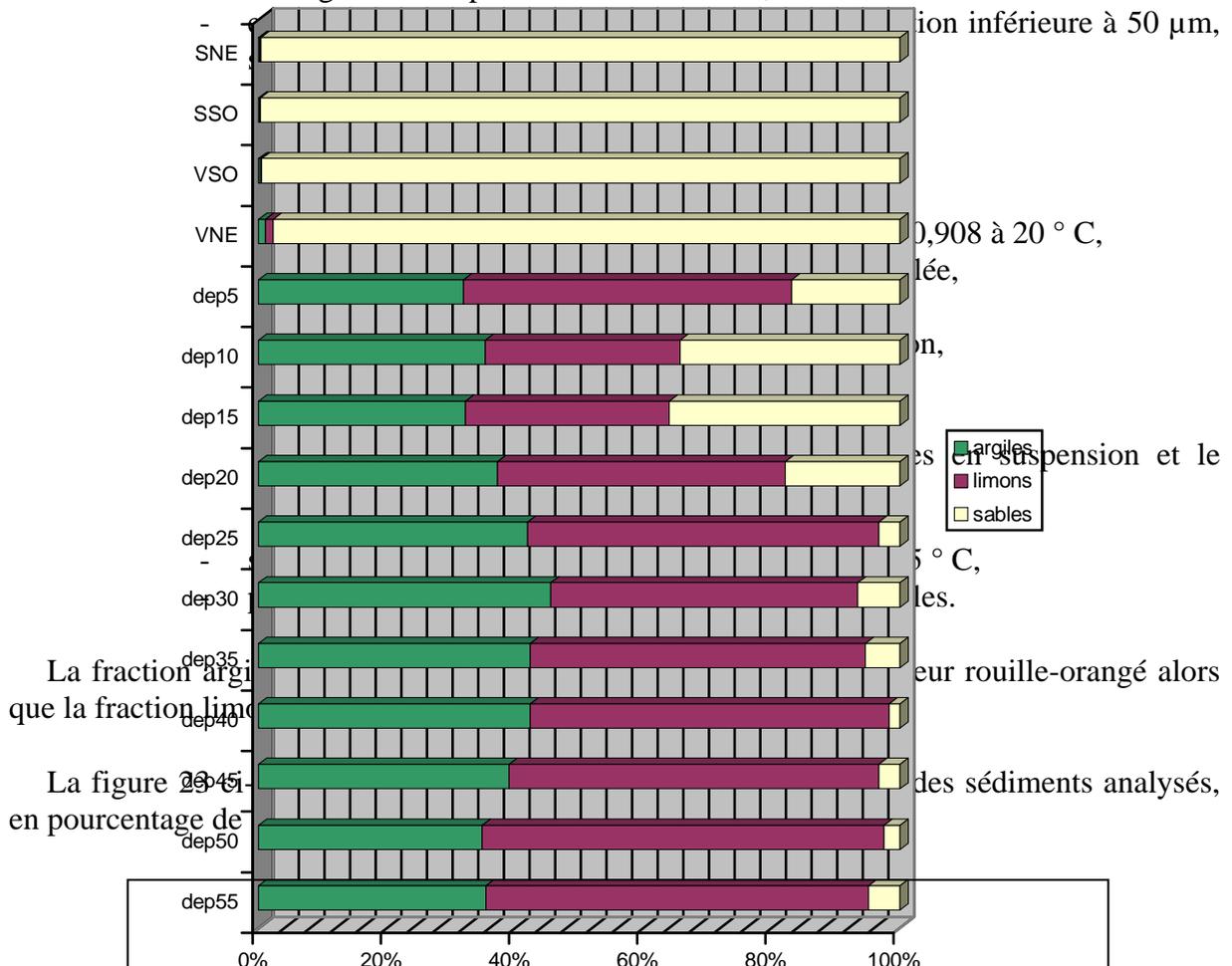


Fig. 23 : Granulométrie des dunes et du soubassement.

La rupture entre dep5 (le fond de la cuvette interdunaire) et les dunes (versants et sommets) est ici beaucoup plus marquée que sur la figure 22. Le contraste est évident et montre que les dépôts interdunaires sont caractérisés par une granulométrie nettement plus fine que celle des dépôts dunaires. De dep55 à dep5, les lutites (limons et argiles) représentent en moyenne 88 % de la masse du sédiment. Alors qu'ils constituent sur les dunes (VNE, VSO, SSO et SNE), en moyenne, à peine 1 %. Il y a bien deux formations sédimentaires différentes.

Deux hypothèses peuvent être alors envisagées :

1. Les dépôts de la dépression se sont accumulés soit par ruissellement, auquel cas ils sont issus du bassin-versant constitué par les dunes ; soit par illuviation, c'est à dire que les éléments colloïdaux migrent en profondeur. Dans ces deux cas la formation limono-argileuse serait postérieure à la formation sableuse. Nous aurions alors une forme d'emboîtement (fig. 24a).
2. Dans la deuxième hypothèse, les dépôts de la dépression sont préexistants lors de l'accumulation dunaire, auquel cas ils forment un sous-bassement, une sorte de « semelle » recouverte par les sables dunaires, mais affleurante par endroits. Ils seraient alors antérieurs à la formation dunaire. La stratigraphie serait alors différente de celle correspondant à la première hypothèse en formant un « étage » (fig. 24b).

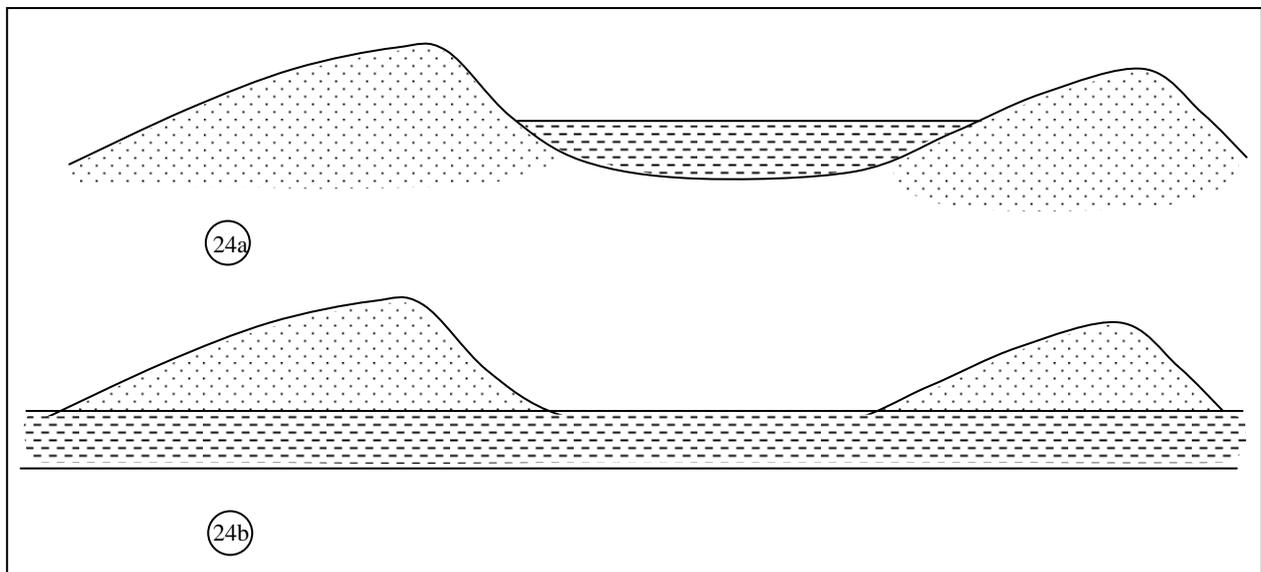


Fig. 24 : Relations stratigraphiques hypothétiques entre sédiments interdunaires et sédiments dunaires.

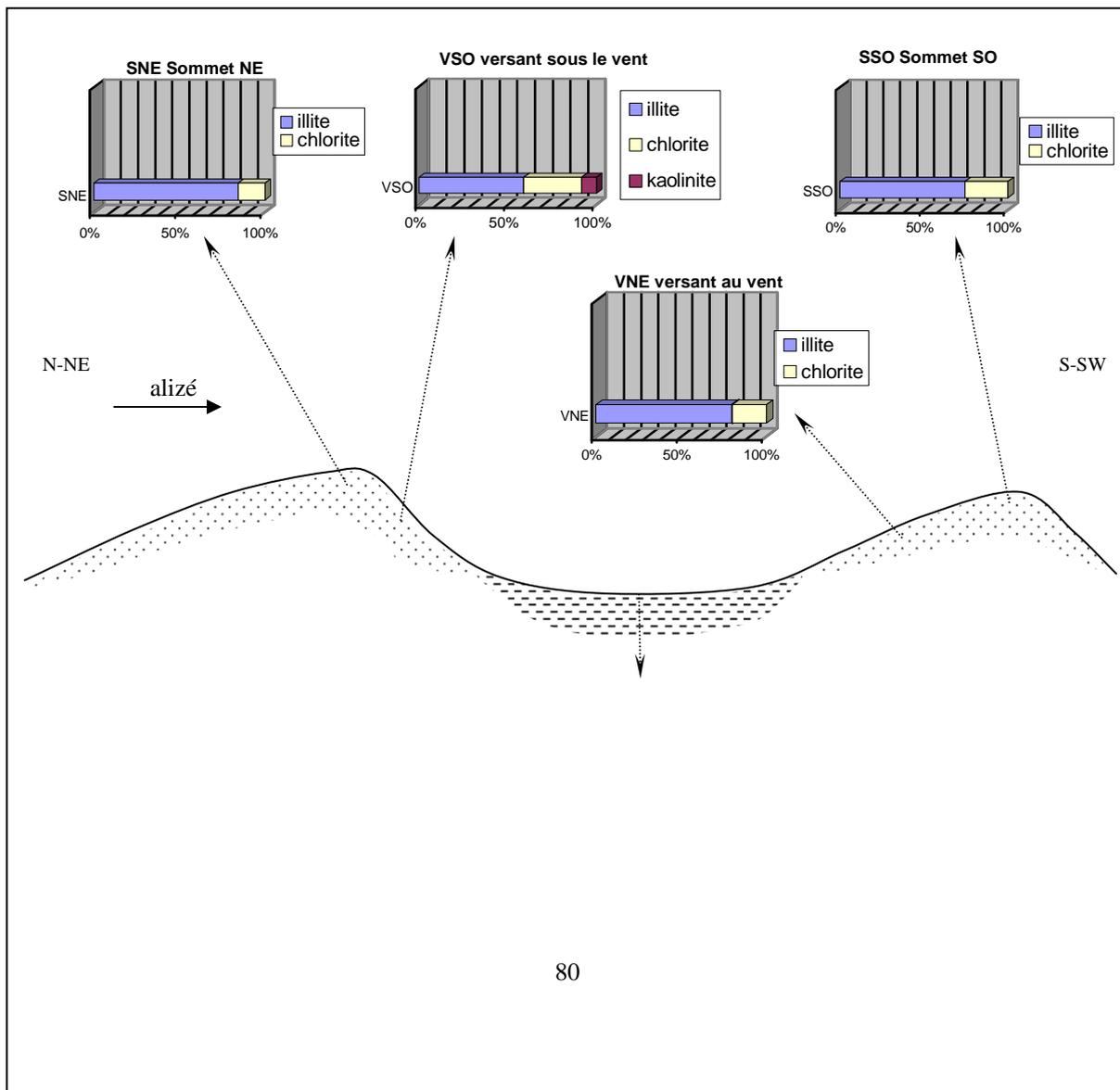
Dans les deux hypothèses la relation stratigraphique entre la formation sableuse et la formation limono-argileuse correspond à une discontinuité sédimentaire. En effet, la première hypothèse montre le relais entre une dynamique sédimentaire éolienne et une dynamique de ruissellement. Et la seconde hypothèse correspond au cas inverse ; ou plutôt, elle illustre le passage entre une dynamique sédimentaire que nous ignorons pour le moment, et une dynamique éolienne.

La première hypothèse est semblable à ce qu'a observé J.L. BALLAIS à Ksar Rhilane entre les barchanes du Grand Erg Oriental où « se sont déposés, vers 2380 +/- 155 B.P., des limons argileux, dans un milieu palustre » (BALLAIS, 1991, 1992, in BALLAIS, 1993).

Un exemple similaire de recherche de la disposition stratigraphique est illustré dans l'ouvrage de G. HUGOT (1977) sur un secteur paléolacustre du Sud-Est mauritanien : la dépression du Baten située entre les massifs dunaires de l'Aouker et du Majâbat Al Koubra étudiés par Théodore MONOD (1958 et 1961). La même question est posée mais à une échelle spatiale plus petite et une échelle chronologique plus grande, et avec des lithofaciès différents (formations lacustres à diatomites et sables dunaires).

b) L'argument minéralogique

Comme il est précisé plus haut, les échantillons « sommets » et « versants » de la figure 22 forment une moyenne de SNE et SSO, et de VSO et VNE. Les phases phyllosilicatées de ces quatre échantillons sont portées dans la figure 25 ci-dessous.



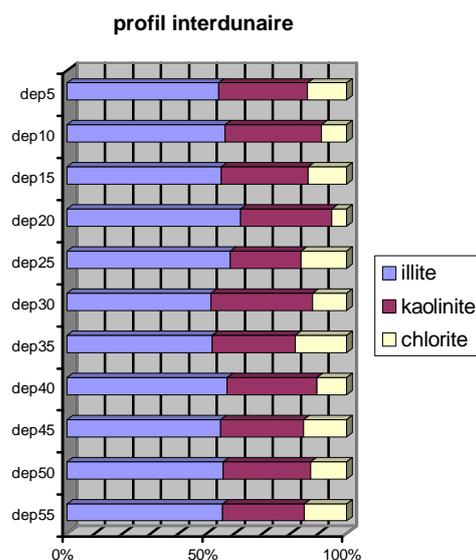


Fig. 25 : Phases phyllosilicatées suivant la direction de l'alizé.

Les ruptures décelées sur les trois graphiques de la figure 22 sont confirmées sur la figure ci-dessus par la minéralogie détaillée des phyllosilicates. Le cortège illite-kaolinite-chlorite présent tout au long du profil interdunaire n'existe plus sur les dunes ; excepté sur VSO où la kaolinite est présente avec seulement 8 %, faible valeur par rapport à la valeur moyenne de 31 % dans la dépression. Les trois autres échantillons dunaires ne contiennent pas de kaolinite.

Dans la première hypothèse, celle du ruissellement (fig. 24a), le cortège illite-kaolinite-chlorite aurait migré dans la dépression alors que les dunes contiendraient encore des particules résiduelles d'illite et de chlorite, mais pas de kaolinite.

Pour quelle raison, cette dernière aurait migré en totalité dans la dépression et pas les deux autres ? Aucune, semble-t-il.

Si l'on ne peut pour le moment, exclure totalement l'hypothèse du ruissellement et si on imagine que le couple illite-chlorite formant le cortège phyllosilicaté des dunes sédimente dans le fond de la dépression, comment expliquerait-on la présence de kaolinite à 31 % ?

La kaolinite ne pouvant se néoformer en domaine méditerranéen et à une courte échelle de temps (PAQUET, 1970), elle ne peut être ici qu'héritée d'une phase d'altération pédogénétique antérieure de type intertropical, tertiaire ou fini-tertiaire correspondant, par exemple, au Plio-Villafranchien.

A la lumière de ces analyses, la relation stratigraphique entre les deux formations sédimentaires correspond à celle indiquée en figure 24b. C'est à dire que les sables dunaires se sont accumulés sur un substrat préexistant donc antérieur, à granulométrie limono-argileuse, et dont les phyllosilicates majeurs sont l'illite et la kaolinite, la chlorite étant moins abondante.

Cette disposition étagée ne signifie pas obligatoirement que les sources sédimentaires sont différentes, comme on aurait pu l'exclure pour la première hypothèse (fig. 24a). En effet, si par exemple, le matériel limono-argileux de la séquence inférieure a subi un transport fluvial, il est issu d'un bassin-versant. L'oued délivrant aussi sa charge à l'océan fournirait alors un stock sédimentaire à ce dernier qui le remanierait et le déposerait en domaine supra-

littoral. Le matériel étant remanié par le vent, s'accumulerait sous forme de dunes recouvrant une séquence fluviatile dont la source est la même.

Dans l'espace, l'idée d'une même source sédimentaire n'est donc pas impossible, induisant dans le temps, une lacune, équivalant au temps de résidence des sables dans l'océan, et séparant le temps dynamique correspondant aux dépôts limono-argileux de celui correspondant aux sables dunaires.

Aussi, lorsqu'on observe la figure 22, les phases minérales (fraction totale) montrent qu'on passe d'une valeur nulle pour les feldspaths potassiques dans la dépression à des valeurs respectives de 7 % et de 3 % sur les versants et les sommets des dunes. On pourrait donc penser a priori que les sources des dépôts dunaires et limono-argileux sont différentes. Mais la faiblesse de ces valeurs nous incitent à la prudence car elles ne constituent pas un argument suffisamment solide pour affirmer que les sources sont différentes.

L'absence de smectite dans les phases phyllosilicatées accuse encore la faiblesse de la capacité d'échange cationique des sols salins en plus de l'apport très réduit en matière organique.

Les formations superficielles sont identifiées et leur organisation spatiale précisée. Dans l'ensemble, il s'agit de dépôts détritiques terrigènes à influence biodétritique au sommet de la coupe (dunes). Cette influence est signifiée par un taux de calcite conséquent (plus de 20 % en minéralogie totale et plus de 38 % dans la fraction < 2 μm sur les versants). La calcite traduit ici, un apport éolien en bioclastes marins.

Par ailleurs, la relation stratigraphique entre les deux séquences sédimentaires est précisée. La granulométrie indique une nette opposition entre les deux séquences permettant d'avancer que les sables dunaires, d'origine éolienne, se distinguent nettement des dépôts inférieurs dont la texture est limono-argileuse et qui pourraient s'être accumulés sous une dynamique hydrique (limons de décantation).

Les analyses portant sur la minéralogie des argiles montrent que les formations dunaires s'étendent et recouvrent en partie une « semelle » antérieure constituée par la formation limono-argileuse correspondant au substratum.

La colonne sédimentaire qui a été prélevée dans cette formation limono-argileuse (dépression interdunaire, fig. 21) fera l'objet d'une étude plus détaillée concernant les états successifs antérieurs du géosystème ou son archéologie, dans une troisième partie.

La relation entre dynamique sédimentaire et stratigraphie induit toute une série de relations postérieures dépendantes des deux autres éléments abiotiques : les dynamiques éolienne et hydriques.

2) Une forte emprise éolienne

La première partie du chapitre IV a été consacrée à l'analyse d'un élément abiotique : la lithomasse. L'aéromasse est représentée par l'élément climatique dominant du climat d'Essaouira : l'alizé qui souffle de Mars à Octobre de manière intense et continue (cf. chap. IIB. La déflation exercée sur le massif est le processus majeur mais pas unique. L'arrachement et le transport de particules n'est pas seulement restreint aux dunes ; ils se produisent aussi dans les dépressions interdunaires constituant alors des formes d'érosion. Les formes d'accumulation constituent un massif dunaire qui tend à se stabiliser.

A) Processus et impacts

Les résultats des analyses développées plus haut montrent que la kaolinite tient une part importante dans le soubassement (cf. fig. 22), alors qu'elle est presque inexistante dans les dunes (cf. fig. 25). Ce tri subi par la kaolinite a fait l'objet d'une discussion en 1A. Mais comment expliquer sa présence à 8 % sur l'échantillon VSO (versant sous le vent) alors que les autres échantillons dunaire en sont exempts (cf. fig. 25) ?

L'hypothèse la plus vraisemblable est celle d'un piégeage de particules éoliennes prélevées dans la dépression interdunaire par l'alizé et déposées à l'abri, sur le versant sous le vent. L'absence de kaolinite sur les sommets des dunes et le versant au vent n'est certainement pas totale, mais sa trop faible quantité ne peut être détectée par les rayons X.

En revanche, une accumulation suffisante sur le versant sous le vent est réalisée grâce à la prédominance de l'alizé NNE. Aussi, les composantes SO et S qui n'interviennent qu'en Décembre, Janvier et Mars en troisième et quatrième position de fréquence et d'intensité du vent (cf. tabl. IX et fig. 7), ne suffisent pas à emporter les particules de kaolinite en totalité expliquant la situation de piégeage.

Une fois le sommet des dunes atteint, les sédiments retombent sur le versant sous le vent et la petite taille des feuillets de kaolinite (7 Å) leur permet de rester piégés dans les dépôts du versant le plus abrupt. Cet élément de détermination minéralogique montre à quel point l'alizé N-NE exerce une forte influence, tant sur les dépôts dunaire, que sur ceux de la dépression.

La diffractométrie d'une couronne d'échantillons prélevés sur le pourtour de la dune permettrait de connaître plus précisément la répartition du piégeage de kaolinite et de cibler exactement les secteurs où l'efficacité du vent est la plus élevée pour exercer une corrosion puis une déflation dans les dépressions.

Ces résultats seraient intéressants dans la mesure où la compétence nécessaire pour exercer une déflation sur le substrat limono-argileux est plus forte que celle agissant sur les sables dunaire à volume égal de matière arrachée. En effet, la formation inférieure est moins meuble que la formation dunaire et la déflation produite sur le soubassement illustre à quel point la compétence de l'alizé est élevée.

La figure n° 26 donne une idée de l'ampleur de la déflation globale mesurée sur une souche d'eucalyptus dégagée mais dont les racines basales sont encore scellées. La photographie a été prise suivant une direction Sud-Nord. Les deux restes encore en place ont été plantés en 1950 (Boudy, 1958) et indiquent ainsi une ablation de plus d'un mètre cinquante de sédiments en 50 ans soit un taux moyen de **3 cm/an**, ce qui est considérable.

La dénivellation entre les deux souches indique la paléotopographie. Aucun surcreusement circulaire causé par des éventuels tourbillons du vent n'a été relevé.

A l'arrière-plan donc au Nord, figure une dune peu végétalisée, coiffée de quelques arbres et arbustes. Au cours de diverses observations de terrain, une recrudescence de l'alizé permet d'attester que les sables mobiles qui constituent cette dune située à l'amont-vent des souches comme ceux des autres dunes, sont transportés plus au Sud. La question qui se pose est de connaître avec précision l'impact du roulage, de la reptation éolienne (Y. VEYRET et al., 1998) et de la saltation des grains de quartz, en terme de corrasion de matériel limono-argileux par saison anémométrique ; de manière à évaluer le pouvoir corrasif des vents dominants efficaces et de bien mettre en valeur leur poids dans la dynamique éolienne.

Cette surface de contact entre le substratum et les dunes, matérialisée par le sommet de la formation limono-argileuse consolidée, subit dans un premier temps le processus de corrasion et dans un second temps, celui de déflation.

Le soubassement relativement compact lorsqu'il est sec, indique à quel point la conjonction alizé-particules de sables dunaires formant des vents chargés en abrasifs, est efficace. Cependant, un mètre cinquante de matériel emporté ne correspondent pas exclusivement à des sédiments limono-argileux puisque les deux eucalyptus ont été plantés dans les sables dunaires.



Fig. n° 26 : Ampleur de l'ablation de sédiments en 50 ans
Cliché : Claude SIMONE, le 5 VII 1996.

Les dépôts dunaires étant sollicités par l'alizé pour exercer une corrasion sur le substratum sont les premiers à subir la déflation. Dans un second temps, celle-ci affecte les particules limono-argileuses érodées par le « mitraillage » des particules dunaires.

Le nombre de végétaux implantés sur les dunes et dont les racines traçantes sont mises à nu par la déflation est relativement élevé. Les figures 27a, 27b et 27c illustrent ce phénomène pour des eucalyptus et acacias vivants. L'arrière-plan des photographies correspond respectivement à l'Est, au Sud et à l'Est. La première figure indique la mise à nu de racines sur un versant de dunes ; les deux suivantes, dans des couloirs de déflation.



Fig. n° 27 : Mise à nu de racines d'eucalyptus et d'acacias,
a) sur versants, b) et c) dans les couloirs de déflation ; Clichés : Claude SIMONE, le 5 VII 1996.

Les couloirs de déflation dunaires marquent souvent un tri sédimentaire opéré par le vent, se traduisant par des traînées de particules dont la taille est plus élevée que celle des particules moyennes ; c'est le vannage. En général ces dépôts correspondent à des débris de tests coquilliers qui tapissent le fond du couloir de déflation.

Par les processus de déflation et de corrasion l'aéromasse entraîne les particules sableuses et limono-argileuses. Elle érode le relief dunaire ainsi que son soubassement et accumule des sédiments à l'aval-vent. Ainsi, le taux élevé d'ablation sédimentaire de 3 cm/an, noté plus haut et calculé à partir des souches d'eucalyptus, est difficilement comparable avec les données relevées à Biskra en Algérie, et au Pérou par WILSON (1971) admettant un taux compris entre 0,5 mm et 2 mm/an sur 2 000 ans (in VEYRET et al., 1998), dans la mesure où le taux de 3 cm/an observé à Essaouira porte sur deux formations sédimentaires différentes et superposées (les sables vifs des dunes et les limons argileux du substratum) exigeant une compétence différente du vent pour chacune des formations. Les sables dunaires sont

emportés par déflation uniquement alors que les limons et argiles consolidés subissent corrasion et déflation. Il en va de même avec la fourchette de valeurs située entre 0,15 mm et 0,22 mm/an notée par LETTAU et LETTAU (1969) à propos de barkhanes (in VEYRET et al., 1998), ainsi qu'avec les valeurs de 6,6 mm/an de corrasion sur brique et de 0,07 mm/an sur gneiss mesurées par SHARP (1980), in VEYRET et al. (1998).

Il a été démontré que l'évaporation est un autre effet du vent sur le géosystème bien que l'alizé maritime soit fortement chargé en humidité (> 75 %, cf. fig. 6, chap. II Aa). Si le soubassement est érodé, il ne peut l'être quand les cuvettes interdunaires sont inondées. Ce mécanisme se réalise, de fait, à sec. Or, lors des diverses missions de terrain, le remplissage des cuvettes par les eaux météoriques s'est produit notamment lors des records de l'hiver 95/96 et, le réseau hydrographique étant endoréique (cf. chap. II 3B), le drainage ne s'est pas effectué ou très mal. Si des infiltrations très lentes à travers le substrat limono-argileux sont possibles, la baisse du niveau des mares interdunaires n'en est pas moins, en partie, une conséquence de l'évaporation induite par l'alizé. Et bien que le pouvoir siccatif du vent soit inversement proportionnel à son degré hygrométrique, l'alizé accélère l'évaporation des mares comme des sédiments.

Même si son pouvoir siccatif est relativement faible, il n'en a pas moins une incidence majeure sur les dépôts dunaires. En effet, les possibilités d'encroûtement de ces derniers sont extrêmement réduites, ce qui les rend très mobilisables. Cependant, n'oublions pas que la faiblesse des précipitations (280 mm/an), et surtout leur forte variabilité annuelle (cf. II Aa), sont des facteurs complémentaires.

La dynamique éolienne est expliquée à travers des exemples ponctuels (cuvettes de déflation, souches et racines d'arbres mises à nu). Les creux interdunaires, non seulement ne se comblent pas puisque la formation limono-argileuse du substratum affleure, mais sont soumis à la corrasion puis à la déflation sous l'emprise d'une dynamique éolienne prépondérante. L'érosion a donc tendance à accroître le creusement de ces dépressions. Les effets globaux de la dynamique éolienne sur le massif dunaire (morphologie, répartition des dunes et types de formes dunaires) ne peuvent être bien perçus que par la cartographie et l'analyse diachroniques.

B) Photo-interprétation diachronique et dynamique dunaire

Le jeu de l'activité éolienne est donné par l'alizé, aéromasse très dynamique et élément abiotique faisant partie intégrante du géosystème. Il en modifie sa morphologie, la répartition des dunes au sein de celui-ci et les formes dunaire qui le composent.

La photo-interprétation diachronique est réalisée à partir de clichés aériens IGN en noir et blanc, au 50 000^e, pris lors de la mission n° 17 du 10 Août 1953, entre 13 H 30 et 14 H, dans le domaine du visible ; l'altitude par rapport à la mer est de 6250 m et la focale de 125 mm ; et de clichés IFN en noir et blanc, au 20 000^e, enregistrés lors de la mission n° 852 de Décembre 1984, dans le domaine de l'infrarouge.

La cartographie du massif dunaire est effectuée sur le stéréoscope Stereozoom Transferscope Bosch et Lomb au STSI (Service commun du Traitement et des Sciences de l'Image) afin de représenter ses différents états de surface et de délimiter avec précision son contact avec la ville, sa morphologie et les formes dunaire qui le composent aux deux dates.

Les cartes n° 5 et 6 sont réalisées afin d'établir des comparaisons morphologiques entre 1953 et 1984 et notamment de la partie occidentale, la plus fragile car la plus exposée aux vents dominants efficaces et la moins boisée ; c'est le secteur qui jouxte la ville.

La première indique les états de surface, l'extension et les formes du massif dunaire au 10 Août 1953 et la seconde représente les mêmes variables en 1984, augmentées de l'extension du bâti et des lagunes et mares interdunaires.

Le premier document (carte n° 5) montre la délimitation très nette d'un secteur très dégarni du massif alors que tout autour, les couleurs plus sombres rendues par la photographie aérienne indiquent une végétation plus développée avec une densité plus élevée et des particules éoliennes moins présentes. En revanche, la photographie de 1984 ne montre pas une telle démarcation (cf. carte n° 6).

En 1953 le secteur le plus dégarni du massif dunaire s'étire sur 3,6 km de long suivant une direction NNE/SSW correspondant à celle de l'alizé et sa largeur maximale est de 1,2 km. Il jouxte la ville et son orientation générale est restée identique en 1984.

Les épandages sableux sont beaucoup plus marqués et beaucoup plus larges en 1953 qu'en 1984 où leur extension a fortement réduit. Ils forment une sorte de tapis sur lequel ondulent les dunes dont la répartition est plus lâche à l'amont vent qu'à l'aval vent. Ces disparités n'existent plus en 1984 et l'opposition Nord/Sud de la « trame dunaire » tendrait même à s'inverser comme si une sorte de « bouchon » dunaire se formait au Nord du massif et ralentissait la dynamique dunaire.

Sur l'ensemble de la surface dégarnie, le massif de 1953 est formé de dunes plus éparées et plus effilées que celles de 1984 illustrant la jeunesse du système.

Les formes d'accumulation dunaire très diverses ne peuvent faire l'objet d'une typologie caractérisée dans la mesure où ce ne sont pas des formes « libres », c'est à dire qu'elles sont coiffées par des touffes de végétation qui tendent à limiter leur mobilité et à modifier leur géométrie. Cependant, on reconnaît sur le massif de 1953 comme sur celui de 1984 des formes barkhaniques et barkhanoïdes (barkhanes isolées, associées, cordons barkhanoïdes) et des formes atypiques et plus complexes résultant de la fixation des dunes par les végétaux. Les formes dunaire de 84 sont caractérisées par une plus grande convexité et les dunes sont plus larges que celles de 53. Elles tendent à se joindre pour ne former plus qu'une dune unique et massive.

La figure 28 illustre deux types de formes barkhaniques entre lesquelles les cuvettes d'inondations s'intercalent. La première forme a été photographiée suivant une direction

Ouest/Est ; elle est basse et assez dénudée (la surface de sables apparents est supérieure à la surface couverte) et on devine au second plan à gauche une autre cuvette inondée ainsi que la coalescence d'autres barkhanes situées plus au Nord et dont les branches viennent en contact avec la barkhane d'aval-vent. Le sommet de la dune est couvert de végétation alors que les versants en sont dépourvus et s'étalent parfois vers l'aval-vent sous la forme de langue de sable indiquant le sens du vent efficace actuel (branches de la barkhane).

La seconde forme a été photographiée suivant une direction Sud-Ouest/Nord-Est ; elle est plus massive et plus boisée en acacias et eucalyptus. Le versant sous le vent est plus redressé que le précédent et la cuvette inondée, plus profonde. Au premier plan à gauche apparaît un buisson de *Salsola longifolia*.

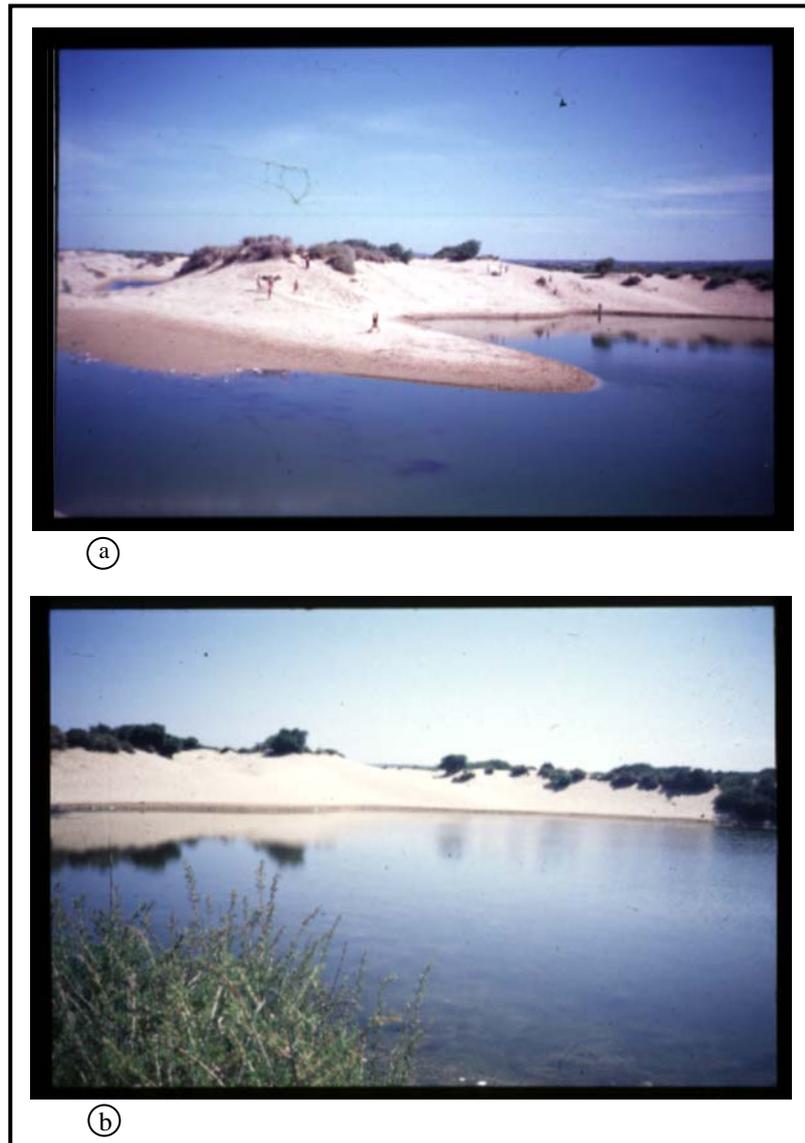


Fig. 28 : Versants sous le vent de barkhanes boisées ; Clichés : Claude SIMONE, le 5 VII 1996.

En une trentaine d'années, le massif dunaire a donc tendance à se « resserrer ». En effet, la végétation prend le pas en 84 sur les zones de sable nu beaucoup moins étendues qu'en 53 ; elle s'est développée et densifiée en même temps que la répartition des dunes au sein du massif est devenue plus dense. Selon la terminologie employée par COOKE et al. (1993) qui estiment que le terme « fixé » est ambigu, la cartographie embrassant la période 53-84 montre que le massif n'est composé de dunes ni ancrées ni stabilisées. En 53, le stade dunaire est

antérieur à celui d'un ancrage, celui-ci a pu se produire en fin de période (au début des années 80 par exemple) et une cartographie de la période actuelle (fin des années 90) à la même échelle serait nécessaire pour savoir si cet ancrage a réellement débuté autour de 84 et si les dunes ont atteint aujourd'hui le stade de stabilisation.

Cependant, le rapprochement des dunes et la croissance de leur superficie entre 1953 et 1984 (cf. cartes n° 5 et 6) indique, malgré tout une tendance à la stabilisation.

Pour la période étudiée, la mobilité des dunes est très importante et par conséquent la dynamique éolienne très active.

L'exemple d'Essaouira-Est, sans pour autant être comparable « au fleuve de sable » du Cap Juby (région de Tarfaya, Maroc) observé par CALLOT et OULERHI (1996), s'en rapproche beaucoup. Ayant étudié les relations entre aérologie et géomorphologie, ces auteurs ont pu montrer et expliquer les rapports entre la forme des massifs dunaires, la répartition des dunes au sein du système et les types de dunes d'une part, et le régime éolien d'autre part. Ils ont comparé deux régions du Nord-Ouest saharien : le piémont méridional des Monts des Ksour (Atlas saharien, Algérie) situé à la limite Nord du Grand Erg Occidental et le « fleuve de sable » du Cap Juby. Etant littoral, l'exemple d'Essaouira-Est est plus semblable à la seconde région étudiée par CALLOT et OULERHI (1996). En effet, les cartes n° 5 et 6 illustrent la zone d'alimentation du stock sableux (estran et cordon littoral) et la localisation du dépôt (massif dunaire). De la même manière la plage de Tarfaya située à l'Est du Cap Juby constitue la source de stock sableux qui alimente les « fleuves de sable », à l'exception près que cette plage est presque perpendiculaire à la direction des vents dominants efficaces alors que dans le cas d'Essaouira-Est elle est parallèle.

Les types de dunes observés et surtout leur orientation apportent des indications sur le régime éolien et notamment la direction du vent. Ainsi A. WEISROCK (1982) a mis en évidence deux directions dominantes des dunes vives de la région d'Essaouira et du Cap Sim, à partir du terrain et de photographies aériennes. Il s'agit de N 26° au niveau du quartier industriel à la sortie Nord d'Essaouira sur « des nebkas littorales édifiées immédiatement au bord de l'estran », et de N 14° sur « des barkhanes situées davantage à l'intérieur, au Cap Sim ». L'auteur souligne que « seule la première correspond à la résultante NNE/NE qui est celle des observations anémométriques d'Essaouira : c'est celle du vent de mer non dévié. La seconde est déjà influencée par la topographie sous-jacente ».

Par comparaison, au sein du massif dunaire d'Essaouira-Est deux directions principales sont aussi relevées : une direction N 15° et une seconde de N 349° pour le massif de 53 ; et une direction de N 15° également et une seconde de N 348° pour le massif de 84. La direction de N 15° coïncide avec celle de N 14° relevée par A. WEISROCK (1982) pour les barkhanes intérieures et dont l'explication est fondée sur l'orientation de la paléotopographie construite par les dunes fossiles. En revanche, la seconde direction de N 349° est nouvelle ; elle apparaît nettement sur la carte n° 5 (1953) sur la partie Sud-Ouest du massif jusqu'au cordon barkhanoïde environ, alors que la direction N 15° s'étend sur toute la partie Nord du massif et sur toute sa partie orientale. La direction N 349° correspondant à une composante NNW, semble être a priori, une anomalie vu la configuration anémométrique régionale. Cependant, elle correspond à une direction de l'alizé dévié par l'urbanisation du quartier industriel situé au Nord de la ville. Par rapport à la direction « du vent de mer non dévié » qui est de N 26° cette déviation équivaut donc à un angle de 37°. Il semble en effet, très peu probable que « la topographie sous-jacente » n'influence que très localement la direction des dépôts dunaires sur un secteur circonscrit situé à l'aval-vent du quartier industriel alors qu'elle est orientée partout à N 14° à une échelle régionale (A. WEISROCK, 1982).

Des changements de direction plus importants encore des vents dominants ont été observés par BATTISTINI (1964) au Sud de Madagascar à la différence qu'il sont causés par l'obliquité des secteurs littoraux par rapport au vent, et non par des obstacles. L'auteur considère que « l'exposition est le premier facteur des phénomènes dunaires » et remarque que l'alizé issu de l'anticyclone des Mascareignes est de secteur Est à Nord-Est sur la côte sud-orientale, qu'il suit l'orientation du littoral pour être de secteur Sud-Est à partir du cap Sainte Marie à l'extrême Sud de l'île, avant d'être de secteur Sud sur la côte sud-occidentale ; produisant un changement de direction de l'ordre de 110°.

Le massif dunaire d'Essaouira-Est représente la manifestation d'un processus d'accumulation relativement importante mais il constitue parallèlement une zone de transit des sables qui, remobilisés par l'alizé, vont s'accumuler au Sud d'Essaouira jusqu'au Cap Sim (GENTILE, 1997).

L'ensablement de la route principale n° 8a en direction d'Agadir au niveau du pont de l'oued Ksob situé au Sud du géosystème a été régulièrement vérifié au cours des missions scientifiques ; de même, les placages de sables éoliens les plus manifestes sont ceux qui recouvrent la rive gauche de la vallée du Ksob suivant une direction à peu près perpendiculaire à celle de l'alizé sur quelques kilomètres avant l'embouchure, en amont du pont de la route principale n° 8a.

Dans la région d'Essaouira l'aéromasse est caractérisée par un élément climatique majeur : l'alizé qui constitue le vent dominant efficace.

La dynamique éolienne dont il est à l'origine se traduit par des phénomènes d'érosion importants dont les processus de déflation et de corrasion sont le moteur.

Aussi, l'analyse diachronique du géosystème dunaire entre 1953 et 1984 par photo-interprétation montre que sa partie la plus instable et la plus fragile correspond au secteur occidental qui borde la ville ; son existence est directement liée à une zone d'alimentation qui le jouxte constituée par l'estran sableux et le cordon dunaire. Mais elle semble renforcée par la proximité de la concentration urbaine d'Essaouira. En trois décennies la forme du massif a considérablement changé puisque son individualisation très marquée en 53 l'est beaucoup moins en 84 et puisque les limites très nettes de 53 sont moins affirmées en 84. La croissance du couvert végétal joue ici un rôle majeur. La répartition des dunes a elle aussi été modifiée car la dichotomie Nord-Sud de 53 s'est complètement effacée voire presque inversée en 84. Le « maillage » dunaire s'est densifié témoignant d'une dynamique dunaire très active entre 53 et 84. Mais la superficie des dunes ayant nettement augmenté et leur forme s'étant élargies, le système aurait tendance à se stabiliser d'autant plus que l'amont vent est obstrué par des dunes massives en 84 (carte n° 6) alors qu'il était complètement libre en 53 (carte n° 5).

Une télé-analyse à partir d'images satellitales ou de photographies aériennes récentes permettrait de passer de l'analyse diachronique à l'analyse multitemporelle et de préciser si actuellement les dunes sont seulement ancrées ou véritablement stabilisées.

Malgré la faiblesse des précipitations à Essaouira les eaux météoriques exercent une influence notable sur le géosystème. Mais les actions hydriques semblent avoir une double origine.

3) L'hydrodynamisme superficiel et souterrain

Indispensable au développement de la vie donc d'éléments biotiques, l'eau n'a pas la même dynamique et par conséquent le même impact au sein du géosystème suivant qu'elle provient de l'atmosphère, du réservoir océanique ou du réservoir phréatique. Ce troisième élément abiotique ou hydromasse rassemble les trois origines dans toute étude géosystémique et ici en particulier.

Les eaux météoriques remplissent régulièrement les cuvettes interdunaires mais dans quelle mesure les eaux océaniques et/ou celles d'un aquifère alimentent les dépressions ?

A) Des eaux météoriques très variables

Comme il est décrit au chapitre II Aa, la variabilité des précipitations est triple : elle est saisonnière, annuelle et pluriannuelle. Fortement accusée durant l'année puisque les pluies d'été sont nulles, la variabilité est moins prononcée aux échelles annuelle et pluriannuelle mais elle peut être à l'origine d'inondations majeures, parfois catastrophiques, telles celles qui sont survenues pendant l'hiver 96, sur tout le littoral atlantique, causant des dégâts humains et matériels considérables.

Ces précipitations intenses ont renforcé en quelques jours, à la fois la variabilité saisonnière, annuelle et interannuelle. Elles ont permis de vérifier que le substrat limono-argileux constitue une strate quasiment étanche (cf. fig. 23) puisque depuis Janvier 96, même si le niveau a baissé, certaines dépressions étaient encore remplies en Juin 98 et d'autres formaient des bas-fonds humides.

Cependant, à défaut d'être saisonnier, le temps de résidence de ces nappes d'eau superficielles est, sinon annuel, pluriannuel mais assurément temporaire puisque l'ablation du fond de la dépression a été démontrée.

Si elles ne permettent pas de constater une périodicité pluriannuelle du temps de résidence des plans d'eau, les cartes n° 5 et 6 rendent compte de l'empreinte saisonnière ; la première correspondant à la photographie aérienne prise en milieu d'été (le 10 Août 1953) ne mentionne aucun point d'eau au sein du massif dunaire ; alors que la seconde relative au cliché pris en fin d'automne ou en début d'hiver (Décembre 84) laisse apparaître une multitude de plans d'eau.

Les dunes étant perméables filtrent les eaux précipitées qui s'accumulent à leurs bases et remplissent les dépressions. La diffractométrie des rayons X indique la présence de calcite dans les sables dunaires (cf. fig. 22) et les valeurs indiquées étant des rapports de surface de diffraction qui correspondent à des indices de cristallinité, le tableau n° XIV indique la valeur relative des teneurs en calcite. Elles ont été obtenues par dissolution à l'acide chlorhydrique dilué. La dissolution préalable de la matière organique, trop faible, n'a pas été nécessaire.

Protocole d'analyses suivi :

- séchage des échantillons en étuve à 105 ° C pendant 48 H,
- pesée nette à 20 g de matière par échantillon,
- mélange de 20 g d'échantillon avec 40 ml de HCl 1 N dans un tube à essai,
- passage au secoueur jusqu'à ce que la réaction tombe,
- ajout de quelques gouttes de CaCl pour les échantillons argileux,
- passage à la centrifugeuse à 3000 tours / mn pendant 15 mn,
- évacuation du surnageant,
- ajout de 40 ml de HCl 1 N,

- nouveau passage au secoueur,
- etc...jusqu'à ce que l'échantillon ne réagisse plus lors de son immersion dans le HCl,
- rinçage de l'échantillon à l'eau distillée,
- séchage à 105 ° C pendant 48 H,
- pesée nette des échantillons.

Tableau XIV : Taux de carbonates de calcium contenus dans les dunes et le substratum.

<i>Topogr.</i>	<i>Dunes</i>					<i>substratum</i>											
<i>Ech.</i>	Sne	Vso	Vne	Sso	Sd	dep 5	dep 10	dep 15	dep 20	dep 25	dep 30	dep 35	dep 40	dep 45	dep 50	dep 55	
<i>Taux de CaCO₃ en % de la masse</i>	41	42	40	43	38	20	26	32	21	19	17	17	14	12	13	12	

Les valeurs les plus élevées sont celles des dunes et de l'échantillon sd prélevé dans le sol d'une dépression intradunaire (cf. fig. 13, chapitre II3B) située quelques dizaines de mètres plus à l'Est de la dépression interdunaire où a été extraite la carotte sédimentaire (plus de 40 % en moyenne).

Les eaux de pluie s'infiltrent à travers les dunes et exercent une action de décalcification en surface à l'origine de la migration en profondeur des carbonates. Si aucun encroûtement n'est apparu à la base des dunes, sur leur pourtour, un début de cimentation a déjà pu se produire en leur centre.

La relative richesse en calcium issu des carbonates contenus dans les sables dunaires (cf. tabl. XIV) et la taille relativement gossière d'une proportion de particules (sables grossiers) semblent empêcher le phénomène de battance puisque qu'aucun début de croûte superficielle n'a été observé au cours des diverses missions de terrain.

Suivant le total pluviométrique annuel, les dépressions interdunaires restent inondées pendant une période plus ou moins longue durant laquelle elles tendent à se combler. Mais la minéralogie des argiles montre qu'en réalité ces périodes de comblement ne sont pas suffisamment longues pour être effectives et que l'alizé prend le pas sur les précipitations en creusant les dépressions qui constituent des formes d'érosion et non des formes d'accumulation.

Aussi, comme le montre la figure 10 (chapitre I2C), le massif dunaire est situé au pied de la falaise morte ouljienne. Il ne fait pas de doute qu'une action de ruissellement de direction Est-Ouest sur le talus de la falaise morte arrache et entraîne des sédiments dans la plaine littorale envahie par les dunes. Ces particules circulent avec l'eau et vont se déposer entre les dunes. A. WEISROCK (1980) a déterminé les cortèges de minéraux argileux des croûtes dunaires relatives aux dunes accumulées sur les terrasses marines respectives. Il relève :

- sur le Moghrébien des croûtes à smectite,
- sur le Maarifien des croûtes à attapulgate,
- et sur l'Ouljien et le post-Ouljien, des croûtes à illite-chlorite.

Ainsi, ces données sont compatibles et corroborent nos analyses et nos observations sur la surface de contact formation limono-argileuse/sables dunaires ; une discussion sur la construction du soubassement peut alors s'engager.

Une autre conséquence du remplissage interdunaire par les précipitations est l'asphyxie d'une végétation « hydrofuge » telle les acacias et les eucalyptus au contact dunes/mars. Leur système racinaire se retrouve complètement immergé suffisamment longtemps pour être asphyxié par manque d'oxygène lors des processus de photorespiration. La figure n° 29a, b et c illustre ce phénomène. Sur la première, apparaît au premier plan un organisme mort après une inondation prolongée ; au second plan, la mare vient border la dune qui porte une végétation arborée tant sur son sommet qu'à la base du versant où quelques arbustes ont également succombé ; l'arrière-plan de la photographie est orienté vers l'Est.

A la surface du plan d'eau se développent un nombre important d'organismes algaires, résultat non seulement d'un endoréisme marqué mais aussi d'une stagnation d'eaux mortes qui entraîne ce développement. Souvent une odeur nauséabonde causée par le phénomène d'eutrophisation envahit ces milieux.



Fig. n° 29 : Arbres et arbustes asphyxiés à la suite d'inondations prolongées

Clichés : Claude SIMONE, le 5 VII 1996.

La figure n° 29b et c montre des secteurs inondés dont le couvert végétal est relativement épais. La conjonction eaux-végétation morte forme un fond marécageux riches en matières organiques. Les arrière-plans respectifs correspondent également à l'Est.

Un autre apport d'eaux météoriques beaucoup moins visible que celui des eaux de pluie est favorisé par l'alizé qui est un vent maritime donc chargé d'humidité comme il est précisé plus haut mais aussi par les brumes côtières périodiques totalisant à eux deux, un régime hygrométrique moyen annuel supérieur à 80 % (cf. fig. n° 6, chap. I1Aa).

Cette quantité de vapeur d'eau, à défaut de permettre un encroûtement des dunes en profondeur, réduit sensiblement la mobilité des grains de sable alors que celle-ci serait plus élevée si les masses d'air étaient plus sèches, comme en domaine saharien et aride.

Elle ralentit aussi le processus d'évapotranspiration de la flore et favorise ainsi sa photosynthèse donc son développement ; augmentant son efficacité à stabiliser les dunes.

Les dépressions interdunaires connaissent un temps de résidence d'eau météorique dont les cycles annuels ou pluriannuels sont irréguliers. Ainsi, les cuvettes peuvent rester une année, voire plusieurs années à sec puisque l'érosion du fond a été démontrée par la présence de kaolinite sur le versant sous le vent des dunes.

Si les eaux météoriques forment des nappes superficielles temporaires, elles sont aussi, avec l'océan, à l'origine d'un apport hydrique souterrain matérialisé par les aquifères et le biseau salé qui alimentent le géosystème.

B) Le rôle de l'océan et des aquifères

La proximité de l'océan Atlantique est telle qu'on ne peut occulter l'hypothèse de sa contribution à l'hydrodynamisme local. Mais cette contribution si elle existe, représente-t-elle un apport hydrique interne ou externe ? Est-ce que les eaux océaniques alimentent les dépressions interdunaires par le biseau salé ou par le contact océan / massif dunaire ?

Le lien entre les eaux océaniques et les eaux douces qu'elles soient phréatiques ou superficielles s'il existe, peut être démontré à travers l'halite contenue dans la formation limono-argileuse du soubassement (cf. fig. 22).

Mais quelle est donc son origine ? Est-elle liée à une évaporation intense, à un apport marin ou à un apport éolien ? La figure 22 nous montre qu'une origine éolienne est exclue car d'une part les dunes ne contiennent pas d'halite et d'autre part, le soubassement limono-argileux ne peut être d'origine éolienne vu la trop forte proportion d'argiles granulométriques (plus d'un tiers en moyenne) face à une trop faible proportion de sables (12 % en moyenne, cf. fig. 23). La distribution granulométrique de la figure 23 correspond plus nettement à une dynamique hydrique (hypothèse de décantation).

Sur la figure 22, le gypse suit le même schéma que l'halite, c'est à dire qu'il est exclusivement contenu dans le soubassement mais dans la fraction inférieure à 2 μm .

Aussi, il est faiblement représenté et à granulométrie fine d'autant plus que la fraction inférieure à 2 μm est issue d'une poudre broyée avant analyse, alors que l'halite apparaît sur le diagramme fraction totale. Si un phénomène d'évaporation intense à l'origine de la cristallisation d'halite avait lieu le gypse devrait être représenté beaucoup plus largement étant moins soluble que l'halite. Or il n'en est rien. L'halite ne provenant pas non plus de l'évaporation, il ne reste que l'apport marin pour valider sa présence.

Cet apport marin se fait-il par l'extérieur (contact océan/massif dunaire) ou par l'intérieur (biseau salé) ? Sur la carte n° 6, on peut observer que par le phénomène de marées, le contact

océan/massif dunaire peut être régulièrement ouvert même si un platier rocheux les sépare. L'envahissement des cuvettes interdunaires par les eaux marines semble fort possible et on devine la jonction des dépressions par le tracé des plans d'eau lors des marées de plus haut coefficient même si à l'Est, certains se sont asséchés (carte n° 6). Si ce phénomène a pu fonctionner il a pu aussi s'arrêter ou être ralenti en raison d'un colmatage dunaire construit à l'extrémité de l'estran rocheux durant des périodes très arides.

Le remplissage des dépressions par les eaux marines étant parfaitement concevable, l'hypothèse d'une avancée simultanée du biseau salé ou d'une alimentation unique par le biseau salé est tout aussi envisageable dans la mesure où le massif dunaire longe le trait de côte et ne s'en éloigne que très peu (1 km environ).

Mais une avancée du biseau salé très au-delà de la ligne de rivage peut se produire sans pour autant être en contact avec la formation limono-argileuse. En effet, il peut s'intercaler entre la surface supérieure du biseau salé et la base de la formation limono-argileuse une nappe d'eau douce provenant d'un aquifère. Cette dernière étant moins dense recouvrirait l'eau salée. Mais si les deux sont en contact, un mélange même incomplet, a de fortes chances de se produire.

AMBROGGI et THUILLE (1952) sont les premiers auteurs à avoir mené une étude hydrogéologique intégrant des analyses hydrochimiques sur le Haut-Atlas occidental et le synclinal de Mogador. Ils notent que les eaux des aquifères régionaux sont très chargées en sels et que leur pH varie de 7,1 pour la nappe phréatique Bir Rocca-SE Mogador, à 8,3 pour celle du Cénomano-Turonien, captage de l'oued Ksob (30 l/s).

Au sujet des dunes récentes, COCHET et COMBE (1975) signalent que trois puits (77/51, 78/51 et 79/51) situés en moyenne à 2,5 km du trait de côte ont été creusés en 1955 à l'Est d'Essaouira dans les dunes quaternaires pour l'alimentation en eau de la ville. Les deux premiers ont traversé le Quaternaire, le Pliocène et atteint le Crétacé, alors que le troisième était arrêté dans le Pliocène. Ils remarquent que : « la tranche aquifère était peu épaisse et l'on n'a obtenu qu'un faible débit. Le niveau piézométrique étant voisin du niveau de la mer, un pompage prolongé aurait donné lieu à un appel d'eau salée ; les puits ont par la suite été abandonnés ».

Les mêmes auteurs mentionnent que les eaux très douces bicarbonatées calciques du Quaternaire de la zone côtière d'Essaouira « sont rares (dunes d'Essaouira : 0,2 à 0,3 g / l) et le faciès chloruré sodique prédomine largement ».

Dans le même secteur, MOUSANNIF (1976) identifie deux nappes phréatiques : la nappe libre des grès dunaires (contenue dans le Plio-Quaternaire) et la nappe profonde du Cénomano-Turonien. En ce qui concerne la première, l'auteur précise qu'entre le Djebel Hadid situé au Nord du géosystème dunaire étudié et l'oued Ksob formant sa limite méridionale et sur une distance parallèle au trait de côte de 16 km environ, « l'écoulement se fait de l'Est vers l'Ouest avec un gradient moyen de 1 %. Par contre au Sud du Ksob, les conditions géologiques le long du littoral empêchent pratiquement toute fuite à la mer ». Sur la même portion de littoral, il a observé des résurgences dans les niveaux calcaires crétacés constituant essentiellement des petits filets d'eau (région du marabout de Moulay Bouzerktoun et au Sud d'Essaouira) visibles uniquement à marée basse et ne totalisant guère plus qu'une vingtaine de litres par seconde (MOUSANNIF, 1976).

Lors de périodes pluri-annuelles arides où l'on peut penser que ces faibles résurgences totalisent un débit quasiment nul, le mélange entre eaux marines et eaux douces phréatiques peut donc se réaliser facilement puisqu'une ouverture entre les deux est confirmée (MOUSANNIF, 1976). Qu'elle se situe sur la frange littorale, au niveau du massif dunaire ou

quelques kilomètres plus à l'Est, la position de la ligne de mélange des eaux indique que des remontées salines par capillarité peuvent aisément se produire lors de phases climatiques arides au sein du géosystème. Alors, l'explication de la présence d'halite par l'apport océanique devient évidente mais sa cristallisation n'a pu se réaliser qu'au cours de phases évaporatoires aiguës.

Aussi, MOUSANNIF (1976) indique sur « la carte piézométrique et la carte des salures » une courbe d'isosalure à 1,5 g/l de résidu sec à 180 ° C. Le géosystème dunaire est entièrement inclus dans la superficie cartographiée qui s'étend du littoral à plus de 11 km à l'intérieur. Concernant les eaux superficielles qui remplissent les dépressions et si l'océan alimente en partie ces creux interdunaires, on peut se poser la question de l'existence d'un gradient de salinité décroissante à partir du trait de côte et suivant une direction qui lui est perpendiculaire.

Des analyses ont été réalisées sur le terrain pour tenter de déceler un gradient suivant un transect parallèle au littoral c'est à dire NE/SW et un transect NW/SE qui lui est perpendiculaire. Les mesures effectuées à la fin du mois de Mai 1998 portent sur la température de l'eau, son pH et sa conductivité, tous trois relevés avec un thermomètre, un pHmètre et un conductimètre électroniques pré-étalonnés. La figure 30 indique la position des plans d'eau sur les transects et le tableau XV les mesures obtenues.

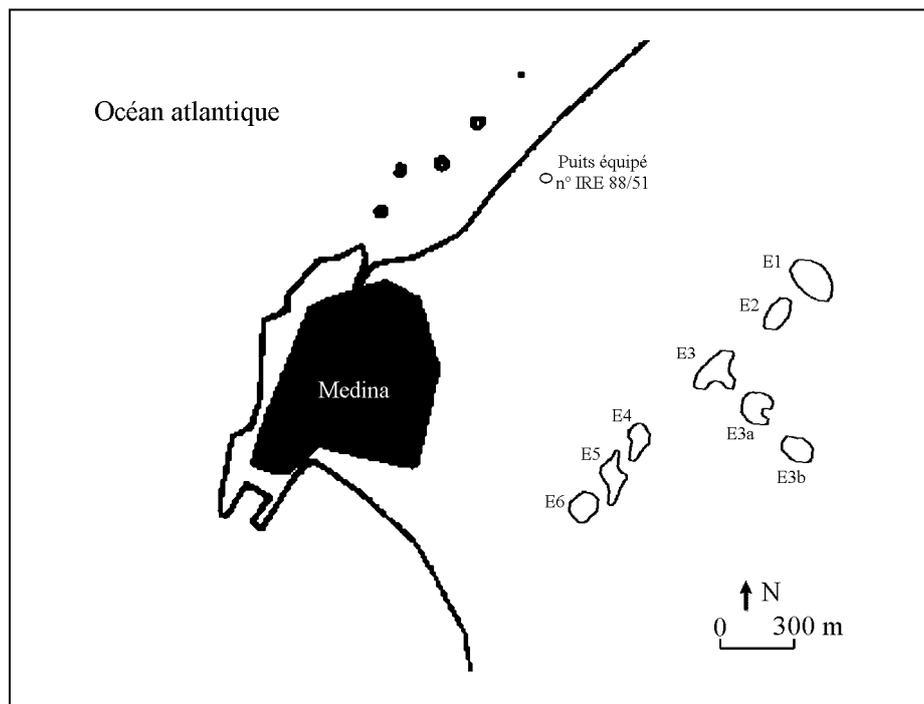


Fig. n° 30 : Transects NE/SW (E1-E6) et NW/SE (E3-E3b) établis pour les mesures de température, pH et conductivité des eaux lagunaires.

Tabl. XV : Température, pH et conductivité des eaux lagunaires.

Transect NW/SE			
<i>Plans d'eau</i>	<i>Température en ° C</i>	<i>pH</i>	<i>Conductivité en mS/m</i>
E3	29,3	9,8	710
E3a	30,1	9,8	830
E3b	28,4	8,9	400
Transect NE/SW			
<i>Plans d'eau</i>	<i>Température en ° C</i>	<i>pH</i>	<i>Conductivité en mS/m</i>
E1	29,9	9,4	1080
E2	32,9	10,2	360
E3	29,3	9,8	710
E4	32,9	9,6	520
E5	24,8	9,1	350
E6	34,9	8,8	380

Le tableau XV indique des valeurs de conductivité relativement faibles dans l'ensemble, donc des teneurs en sels dissous également faibles.

Le premier problème rencontré par ces mesures est que les températures ne sont pas toutes nivelées à 25 ° C en raison de la variété des sites d'échantillonnage (plus ou moins d'ombre, épaisseur variable de la tranche d'eau) ; cependant, les écarts sont modestes notamment pour le premier transect permettant d'établir une comparaison.

Une nette diminution de la conductivité qui passe de 710 à 400 mS/m entre E3 et E3b est observée. Les valeurs réduisant de moitié entre E3 et E3b indiquent une chute de salinité très sévère.

Pour le second transect, la décroissance de conductivité entre E1 et E6 est encore plus marquée puisqu'elle passe de 1080 à 380 mS/m. Ce transect d'orientation NE/SW est bien plus long que le premier et par conséquent plus fiable même si les quantités de sels en solution sont faibles et les écarts de température de l'ordre de 10 ° C. Sachant que l'augmentation de cette dernière provoque une croissance de la conductivité, la différence de conductivité entre E1 et E6 devrait être encore plus accusée à température égale. Donc le gradient E1-E6 qui se traduit par le passage d'une conductivité de 1080 mS/m à 360 mS/m est, en réalité, encore plus creusé.

Puisqu'un gradient de salinité décroissante existe en s'éloignant du littoral, alors l'influence océanique peut être confirmée. Ces résultats s'accorderaient avec ceux de CHAHBOUN (1988) et GENTILE (1997) qui ont montré que la houle d'une énergie assez élevée dans cette région est de direction NW/SE induisant une dérive littorale NE/SW. Ainsi lorsque les niveaux des nappes sont au plus bas l'énergie de la houle peut aider à une pénétration plus profonde des eaux marines suivant une direction perpendiculaire au trait de côte.

Le transect NE/SW marque un gradient de salinité décroissante plus accusé, ce qui pourrait signifier que la dérive littorale a plus d'influence sur la pénétration des eaux marines que la houle de secteur NW. Mais, considérant la dérive littorale et la houle comme deux éléments différents, la complexité d'éventuels phénomènes synergiques et la difficulté à les quantifier séparément nous poussent à la prudence en l'absence d'analyses plus complètes.

Cependant, MOUSANNIF (1976) qui a réalisé une série de mesures hydrochimiques dans le synclinal d'Essaouira-Chichaoua sur des puits équipés, des forages de reconnaissance, des sources et des stations de jaugeage, relève, entre le 20 Mars et le 30 Mai 1974, une

conductivité de 2331 $\mu\text{mhos/cm}$ ou $\mu\text{S/cm}$ sur le puits équipé n° 88/51 situé à la limite du quartier industriel au Nord de la ville à 200 m environ du trait de côte (cf. fig. 30).

Par comparaison avec nos valeurs, 2331 $\mu\text{S/cm}$ équivalent à 233,1 mS/m ce qui est inférieur à chacune de nos valeurs. Aussi, sur le diagramme de Schoeller et Berkaloff, l'auteur porte Cl^- en valeur maximale pour le même puits et $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ en seconde position avec une valeur légèrement inférieure par rapport à Ca^{++} , Mg^{++} et SO_4^- , ce qui est très compatible avec la proximité de l'océan.

Cependant, une conductivité de 233 mS/m semble aberrante au regard de nos relevés dont la plus petite valeur est 350 mS/m puisque le puits n° 88/51 est plus proche de l'océan et que l'eau qu'il contient devrait avoir une concentration en sels bien supérieure à celle des dépressions interdunaires. Mais les dates de relevés effectués par MOUSANNIF (1976) sont comprises entre le 20 Mars et le 30 Mai 1974 et le puits n° 88/51 a pu être mesuré fin Mars. Or, en cette période les pluies sont encore relativement abondantes (cf. fig. 5) permettant à l'inféoflux d'abaisser la salinité.

De plus, MOUSANNIF (1976) démontre par des mesures réalisées le long de deux transects perpendiculaires au trait de côte que la conductivité chute nettement en s'en éloignant dans un cas, alors que dans l'autre la diminution est plus modérée. Le premier cas est fondé sur trois mesures en partant du puits n° 88/51 jusqu'au point de mesure n° 58/51 situé à 11 km du trait de côte et en passant par le point de mesure n° 41/51 (cf. tabl. XVI).

Tabl. XVI :

Mesures hydrochimiques le long d'un deuxième transect perpendiculaire au trait de côte, d'après Mousannif (1976), modifié.

Sites	Puits équipé n° 88/51 (trait de côte)	Point de mesure n° 41/51 (8 km du trait de côte)	Point de mesure n° 58/51 (11 km du trait de côte)
Conductivité en $\mu\text{S/cm}$	2331	731	603
Rés. Sec à 180° C en mg/l	1450	385	365

Le tableau ci-dessus indique une chute de la conductivité et du résidu sec qui sont quatre fois moins élevés à 11 km du trait de côte. L'influence de l'océan Atlantique devient ici évidente. Il est donc question d'eaux lagunaires dans les dépressions interdunaires puisque un lien avec l'océan est identifié.

Le second cas est un transect constitué de quatre mesures qui suit l'oued Ksob en s'éloignant aussi du trait de côte. La première est réalisée sur une source située à trois kilomètres de l'estran ; la deuxième est effectuée sur une source également ; la troisième sur « un point de mesure » et la quatrième sur un puits équipé distant du trait de côte de 15 km (cf. tabl. XVII). Pour le transect réalisé, l'oued Ksob s'écoule également suivant une direction perpendiculaire au trait de côte. MOUSANNIF (1976) constate aussi que « la chimie des eaux superficielles est analogue à celle des eaux souterraines captées ».

Tabl. XVII : Mesures hydrochimiques le long d'un troisième transect perpendiculaire au trait de côte, (basse vallée l'oued Ksob), d'après Mousannif (1976), modifié.

Sites	Source n° 6/51 (3 km du trait de côte)	Source n° 62/51 (3,5 km du trait de côte)	Point de mesure n° 100/51 (12 km du trait de côte)	Puits équipé n° 34/51 (15 km du trait de côte)
Conductivité en $\mu\text{S/cm}$	1801	2012	1894	1300
Rés. Sec à 180° C en mg/l	1400	1275	1530	926

Le tableau XVII indique une baisse de la conductivité et du résidu sec beaucoup plus modérée que dans le cas précédent et les valeurs bien plus élevées sont de l'ordre du double et du triple. Conductivité et résidu sec stagnent et même augmentent légèrement jusqu'à 12 km du trait de côte pour enfin baisser considérablement au puits n° 34/51. Un apport en sels autre que celui de l'océan est donc à rechercher.

Cet apport ne peut provenir que des nappes du Cénomano-Turonien et du Plio-Quaternaire qui alimentent l'écoulement du Ksob respectivement en amont et en aval bien que celui-ci soit pérenne sur les dix derniers kilomètres. En effet, le bassin versant de l'oued Ksob dont la superficie totale est de 1480 km² se compose de trois sous-bassins principaux :

- bassin versant de l'oued Igrounzar (superficie de 863 km²),
- bassin versant de l'oued Zeltène (superficie de 423 km²) et
- bassin versant de l'oued Ksob au sens strict (superficie de 194 km², MOUSANNIF, 1976).

Les oueds Zeltène et Igrounzar drainent les eaux qui prennent naissance dans le Jurassique et le Crétacé du piémont Nord du Haut Atlas occidental à 80 km environ de l'embouchure. Ces deux cours d'eau confluent au niveau du diapir de Taïtoust pour former le Ksob qui draine alors la zone diapirique constituée d'argiles rouges salifères et gypsifères du Permo-Trias (cf. chap. I2Ba) sur 15 km. Ce secteur constituant une partie du bassin versant du Ksob permet aux eaux tant superficielles que souterraines de se charger en sels, expliquant ainsi les valeurs mesurées par MOUSANNIF (1976) sur le transect de l'oued Ksob plus élevées que celles du transect 88/51-58/51 qui passe dans la partie Nord du géosystème dunaire. Ce dernier, situé entre les deux, bénéficierait donc à la fois de la proximité de l'océan et de l'inféoflux lorsque son niveau le permet ; le phénomène de salinisation des bas-fonds interdunaires étant mis en exergue par l'évaporation relativement importante mais cependant insuffisante pour aboutir à un stade de sebkhas telles qu'on peut les rencontrer au Sud de l'Anti-Atlas sur le littoral du Sahara occidental. Peut-être ce géofaciès est-il en train d'évoluer vers un système de sebkha ? Sur la « zone côtière de Mogador », AMBROGGI et THUILLE (1952) évaluent l'évaporation à 1500 mm/an à l'évaporomètre Piche, moyenne établie sur 20 ans d'observations. Alors que COCHET et COMBE (1975) notent suivant la même méthode 780 mm d'évaporation moyenne entre 1952 et 1961, soulignant ainsi la forte variabilité pluri-annuelle des éléments climatiques à Essaouira. Enfin, MOUSANNIF (1976) relève selon la méthode de Thornthwaite une ETP moyenne de 790 mm/an entre 1925 et 1949 et une ETR moyenne de 287 mm/an pour la même période, donnant un bilan climatique dont la déficience de 503 mm/an est relativement importante.

L'origine du gypse indiqué sur la figure 22 pourrait alors s'expliquer par le drainage des affleurements permo-triasiques qui libèreraient des sels s'évacuant en solution dans les eaux phréatiques et recristalliseraient sous l'effet de l'évaporation.

La figure 31 synthétise les données issues du géosystème dunaire et celles relevées par MOUSANNIF (1976) soulignant les écarts de salinité entre les eaux superficielles des lagunes et celle des nappes. D'une part les transects « interdunaires » enregistrent une conductivité trois fois plus élevée que ceux des nappes phréatiques mettant en valeur la concentration en sels dans les lagunes. Et d'autre part, que trois courbes indiquent une conductivité décroissante lorsqu'on s'éloigne de l'océan alors que la quatrième (E1-E6) observe la même tendance suivant une direction NE/SW parallèle au littoral. Aussi, la différence de conductivité entre le premier point et le dernier est plus accusée sur les transects E1-E6 et E3-E3b (eaux superficielles) que sur les transects 88-58 et 6-34 (eaux souterraines) signifiant, peut-être, un rôle « d'effet tampon » joué par les eaux douces phréatiques qui réduisent la chute de salinité.

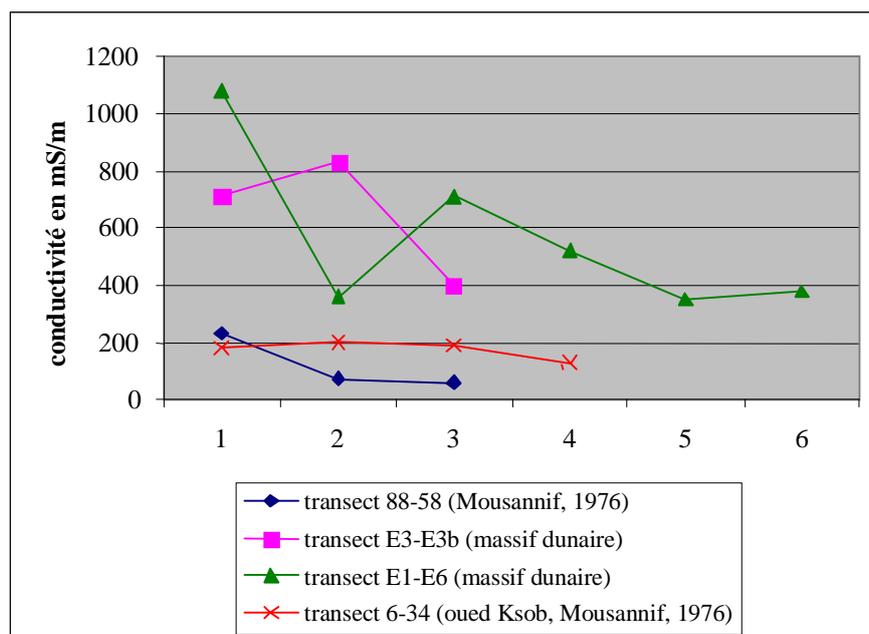


Fig. n° 31 : Comparaison de la conductivité entre transects.

Aussi et surtout, le niveau élevé des valeurs relatives aux eaux lagunaires (transects E3-E3b et E1-E6) peut s'expliquer par un apport abondant en carbonates issus des sables dunaires assez chargés (plus de 40 % en moyenne, cf. tabl. XIV) par infiltration des eaux de pluies entraînant une migration en profondeur des ions.

De plus, JALAL et al. (1996) montrent à partir « d'un ensemble de sources essentiellement céno-mano-turonniennes » à l'origine de la naissance de l'oued Igrounzar donc avant son entrée dans les terrains triasiques du diapir de Tidzi-Taïtoust, que sa caractérisation hydrochimique et isotopique permet de dégager un hydrofaciès bicarbonaté calcique en amont qui devient bicarbonaté magnésien en aval et un taux de sulfates qui augmente de l'amont vers l'aval. Alors qu'à l'échelle plus large du bassin synclinal d'Essaouira, MENNANI et al. (1996) distinguent un hydrofaciès chloruro-sodique vers la partie amont qui a une tendance calcique à carbonatée dans la zone centrale et redevient chloruro-sodique vers la partie aval pour l'aquifère plio-quadernaire « constitué essentiellement de grès » ; et un hydrofaciès chloruro-carbonaté caractérisant l'aquifère turonien « calcaro-dolomitique fracturé ».

Le front d'intrusion du biseau salé pourrait donc s'avancer au moins jusqu'à la limite orientale des couches plio-quadernaires (amont), c'est à dire jusqu'à une vingtaine de kilomètres du littoral au droit d'Essaouira puisqu'un faciès chloruro-sodique y est détecté. Mais ce faciès peut être influencé par le diapir de Tidzi-Taïtoust situé en amont de ce secteur et inclus dans l'aquifère céno-mano-turonien.

Les relations océan-aquifères qui constituent l'hydrodynamisme souterrain sont difficiles à définir et leurs liens avec les eaux superficielles pour le moins complexes. La communication entre les deux est difficile à démontrer en l'absence d'analyses plus poussées car la formation limono-argileuse du substratum peut constituer une séquence imperméable. Le rôle de l'océan est donc double : d'une part celui-ci entretient une humidité variable dans les bas-fonds après des périodes plus ou moins longues d'assèchement des lagunes dont le remplissage est principalement assuré par les eaux précipitées ; et d'autre part il apporte une quantité d'halite importante qui cristallise lors de maxima arides prolongés. Cette halite provient aussi, dans une moindre mesure, des terrains salifères du Permo-Trias (diapir de Tidzi-Taïtoust) drainés

par la nappe céno-mano-turonienne qui transporte également du gypse en plus faible teneur.

Au total, Les éléments abiotiques du géosystème dunaire d'Essaouira-Est, lithomasse, aéromasse et hydromasse ont la particularité d'exprimer une certaine fluidité qui donne au paysage un caractère instable. Le réseau d'interactions entre ces éléments est complexe. Les liaisons internes et interdépendances sont soulignées par les processus d'accumulation, de déflation et de corrasion, d'infiltration, de ruissellement, de remplissage et d'intrusion hydrique, enfin d'évaporation et de cristallisation.

La stratigraphie indique que le massif dunaire s'est formé sur une substratum préexistant constituée d'une formation limono-argileuse. Les sables qui l'alimentent sont issus du cordon dunaire et de l'estran situés en amont-vent.

Le vent remanie ces dépôts et exerce une corrasion importante sur le matériel du soubassement indiquant une forte dynamique éolienne. De fait, l'évolution de la forme du massif et la répartition des types de dunes entre 1953 et 1984 montrent une grande mobilité sur la partie occidentale notamment malgré une tendance à la stabilisation ; l'urbanisation modifie l'orientation de la dynamique dunaire.

Dans la partie paralique du géosystème l'hydrodynamisme a deux niveaux d'action : il est superficiel et souterrain. S'agissant de la surface, les eaux météoriques d'une part, remplissent les dépressions interdunaires et d'autre part, transportent les particules les plus fines par ruissellement à partir des plateaux intérieurs vers la plaine côtière pour les déposer sur le substratum limono-argileux entre les dunes. Lors du remplissage des dépressions, les ions calcium issus des carbonates par hydrolyse sont entraînés en profondeur par infiltration. L'océan et les nappes phréatiques contrôlent les réserves souterraines et apportent des sels dissous (halite et gypse, au moins) qui ont pu cristalliser lors de phases d'évaporation prolongées au sein de la formation limono-argileuse.

L'humidité saline des bas-fonds a permis l'installation d'un tapis de salicornes et autres espèces halophiles (cf. chap. III2). Mais l'halite comme les sables vifs soulignent un équilibre précaire que la population souirrie se doit de maintenir.

Les phytolithes forment un élément abiotique tenant une place particulière car ils sont intimement liés à certains éléments biotiques (les végétaux) et constituent des traceurs de leur dynamique.

CHAPITRE V

LES PHYTOLITHES : TRACEURS GEOSYSTEMIQUES DES INTERACTIONS SOL-PLANTE-CLIMAT

« Nous savons couvrir de roses
les tristes murs des cités
et si l'hiver est morose
nous en faisons un été »

extrait d'un poème berbère : traduction du poète souiri Brahim Boufous

Les relations qu'entretiennent les éléments biotiques avec les éléments abiotiques correspondent à des cycles caractérisés par des flux de matière et d'énergie comme la photosynthèse par exemple. Les phytolithes forment le produit des cycles de la silice et du calcium. Et, s'ils symbolisent un des liens entre éléments biotiques et abiotiques ils constituent aussi un outil capable d'évaluer l'aridité édaphique et climatique et de retracer l'histoire des impacts climatiques et anthropiques sur les géosystèmes.

Le choix d'utiliser la méthode pollinique dans un premier temps puis la méthode phytolithique dans un second temps a été orienté dans l'objectif de déterminer l'archéologie du géosystème dunaire ou ses paléoenvironnements.

L'assemblage phytolithique moderne permet de quantifier l'aridité édaphique et climatique par le calcul d'indices.

Il convient, dans un premier temps de définir les phytolithes et d'indiquer les méthodes de recherche et les zones correspondantes. Enfin, dans un deuxième temps, l'analyse phytolithique de la région d'Essaouira est développée.

1) Définition, méthodes et zones de recherche

Les phytolithes sont des particules minérales qui précipitent dans les cellules des tissus végétaux vivants et entre celles-ci ; ils se présentent sous la forme de cristaux d'oxalate de calcium ou de silice amorphe [opale-A ($\text{SiO}_2 \cdot n(\text{H}_2\text{O})$)]. Notre intérêt portera uniquement sur le second groupe.

Dès le début du siècle, les botanistes décrivant l'anatomie des tissus végétaux, identifient les phytolithes, notamment ceux produits par les *Poaceae* (*Gramineae*), (PRAT, 1932).

Aussi, les premières études intégrant pleinement le rôle de la végétation dans le cycle biogéochimique du silicium, et la production de phytolithes comme indicateurs du même cycle, apparaissent à la fin des années 50 (LOVERING, 1959 ; RIQUIER, 1960). Ces recherches ont continué jusqu'à aujourd'hui (WILDING et DREES, 1971 et 1974 ; BARTOLI, 1981 et 1983 ; ALEXANDRE, 1996, ALEXANDRE et al., 1997b).

Mais la prise de conscience de l'intérêt paléobotanique et plus globalement de l'intérêt paléoenvironnemental des phytolithes en tant que marqueurs ainsi que leur utilisation sont plus récentes. Elle ont permis d'ouvrir des axes de recherche novateurs (TWISS, 1969 et 1992 ; ROVNER, 1971 ; PALMER, 1976 ; PIPERNO, 1988 ; FREDLUND et TIESZEN, 1994, 1997a et 1997b ; PIPERNO et BECKER, 1996 ; ALEXANDRE et al., 1997a et 1999 ; SANGSTER et HODSON, 1998).

Les phytolithes sont utilisés dans diverses disciplines et la variété de leur intérêt démontre la richesse scientifique qu'ils représentent.

Ils forment des marqueurs paléobotaniques qui une fois extraits des échantillons pédologiques et sédimentaires, identifiés, comptés, et analysés par assemblages, permettent de rechercher les formations végétales du passé et de les comparer aux formations actuelles. Leur intérêt paléoclimatique est évident et il se conjugue avec celui de l'histoire des impacts anthropiques. Ils représentent également des marqueurs des incendies et paléoincendies détectés par microspectroscopie infrarouge et Raman. Outre le rôle de tels phénomènes qui peuvent être anthropiques et naturels, ce type d'analyse contribue ainsi à la recherche de nouvelles méthodologies et au développement de la taphonomie et de la taxonomie des morphotypes. Les phytolithes forment des traceurs des relations sol-plantes-climat par l'analyse du cycle biogéochimique du silicium dans le but de quantifier le rôle de la végétation dans la pédogénèse, les processus de météorisation et d'érosion biochimique. Enfin, ils permettent d'approfondir la connaissance de structures archéologiques préhistoriques, protohistoriques et historiques, de comportements culturels et cultureux du passé, à travers l'alimentation des populations anciennes et leurs pratiques culturelles.

L'analyse phytolithique requiert le prélèvement d'échantillons issus de sols actuels pour les assemblages actuels, et de paléosols, coupes stratigraphiques, carottages ou sondages pour les assemblages fossiles.

Les assemblages actuels doivent être calibrés sur le spectre végétal représentatif des formations végétales en place et comparés aux assemblages fossiles.

Dans un premier temps, il s'agit d'identifier le type de couvert végétal actuel (densité et aridité climatique et édaphique). Parmi les monocotylédones, l'analyse porte plus particulièrement sur la famille des *Poaceae* hautes et basses dont la délimitation a été fixée à 80 cm de hauteur par la nomenclature de Yangambi (C.S.A., 1956, in ALEXANDRE et al., 1997a). Les travaux de TWISS (1992) ont permis de distinguer les morphotypes de phytolithes produits par les cinq sous-familles de *Poaceae* (*Festucoideae*, *Chloridoideae*, *Panicoideae*, *Arundinoideae* et *Bambusoideae*) et de jeter les bases d'une classification (tableau n° XVIII) en identifiant trois des cinq sous-familles.

Tabl. XVIII : Classification et répartition des morphotypes de phytolithes produits par les *Poaceae*, d'après TWISS (1992).

Morphotypes	Sous-familles de <i>Poaceae</i>	Répartition
Circulaire, rectangulaire et oblong	<i>Festucoideae</i>	Zones froides tempérées ou domaines d'altitude
En selle	<i>Chloridoideae</i>	Zones chaudes et sèches (<i>Poaceae</i> basses < 80 cm)
En haltère et en croix	<i>Panicoideae</i>	Zones chaudes et humides (<i>Poaceae</i> hautes > 80 cm)
Allongé lisse, allongé sinueux, en éventail et en pointe	Produits par les cinq sous-familles de <i>Poaceae</i>	Domaines très variés

Les *Festucoideae* sont des *Poaceae* à cycle photosynthétique en C3 ; les *Chloridoideae* à cycle photosynthétique en C4 et les *Panicoideae* à cycle photosynthétique en C4 pour la majorité

d'entre elles. Les *Arundinoideae* sont en C3 pour la plupart et les *Bambusoideae* en C3 (WATSON et al., 1985).

Les autres monocotylédones qui produisent des phytolithes répertoriés sont les *Palmae* (morphotype circulaire crénelé), les *Cyperaceae* (morphotype en cône) et les *Marantaceae* (morphotype à côtés irrégulièrement anguleux et plissés, PIPERNO, 1988, in ALEXANDRE, 1996).

L'étude de l'assemblage phytolithique actuel ou de référence est aussi fondée sur le couvert arboré. Le morphotype des dicotylédones ligneuses a été identifié à partir des feuilles et des tiges mais aussi à partir du parenchyme du bois (morphotype circulaire rugueux, GEIS, 1973, in ALEXANDRE, 1996).

Dans un deuxième temps, la connaissance du type de couvert végétal contemporain des échantillons fossiles s'acquiert par la réalisation d'assemblages fossiles. Le même objectif est visé et la même démarche suivie.

La comparaison des assemblages actuels et fossiles indique l'évolution du manteau végétal entre les âges relatifs aux échantillons respectifs. La discussion est centrée sur les questions suivantes : y a-t-il eu rupture(s) de faciès végétal marquant une intervention anthropique forte, ou transition(s) progressive(s) indiquant une fluctuation climatique à l'origine de changement(s) des formations végétales ? Ou encore, peut-on percevoir une coïncidence des deux processus ? Aucune étude de ce type n'a été réalisée sur un milieu dunaire stricto sensu.

L'intérêt suscité par ce géosystème nous amène à nous interroger sur son histoire et notamment sur l'origine de sa formation. Connaître la transition géosystémique produite, à supposer qu'il y en ait une nous semble essentiel pour une meilleure compréhension des relations homme / milieu. Pour quelle(s) raison(s) et à quelle date a débuté le développement des dunes ? Quel type de couvert végétal dominait avant la formation du massif ? Répondre à ces questions nécessite une recherche paléoenvironnementale du site.

Dans un premier temps, la palynologie avait été envisagée mais elle n'a donné aucune issue comme il a été précisé en introduction. Il s'est avéré que les pollens fossilisés montrent une dégradation avancée due à l'oxydation du milieu. C'est la conséquence de plusieurs phases arides suffisamment longues pour les détruire partiellement et les rendre indéterminables.

Notre choix s'est alors porté sur un autre traceur paléobotanique : les phytolithes qui se conservent mieux que les pollens en milieu oxydant puisqu'ils sont inorganiques. C'est une caractéristique de leur intérêt archéologique et paléoenvironnemental. Si les pollens se conservent très bien dans les dépressions des zones humides, les phytolithes ont l'avantage d'étendre le champ d'investigation aux zones semi-arides, arides voire sahariennes. A notre connaissance, c'est la première étude de ce type au Maroc et peu d'entre elles ont porté sur une région semi-aride ou aride. Dans le cadre d'une recherche paléoenvironnementale, ALEXANDRE et al. (1997a) ont analysé les phytolithes de la zone soudanienne du Sénégal (lac Guiers) ; MADELLA (1998) ceux de Kilise Tepe, dans la province de Mut en Turquie méridionale et VRYDAGHS et al. (1998a et 1998b) ont porté leur attention sur les sites archéologiques de Lahun en Jordanie et du temple d'Ed-Dur à Umm al-Qaiwain, un des émirats de la Fédération des Emirats Arabes Unis, à travers des recherches sur la morphologie des phytolithes de *Palmae*.

De plus, concernant la fiabilité à refléter la formation phytogéographique locale, les phytolithes semblent montrer une meilleure traçabilité que les pollens en fonction d'agents de transport comme le vent et les incendies par exemple, pour deux raisons : d'une part, les pollens formés

dans la canopée, sont directement livrés aux courants aériens ascendants posant ainsi les problèmes de distribution spatiale et d'identité phytogéographique ; d'autre part, la litière contenant les phytolithes est directement accumulée au sol et protégée par la formation végétale qui l'alimente. Sa fossilisation dans le sol permet d'enregistrer la formation végétale qui y est implantée de manière beaucoup moins aléatoire que les pollens. La traçabilité est donc mieux définie avec les phytolithes qu'avec les pollens. Au delà du choix méthodologique, il convient donc de préciser qu'il s'agit d'une orientation obligée vers les phytolithes en raison de l'oxydation des pollens fossilisés dans le substratum du géosystème dunaire.

2) L'analyse phytolithique de la région d'Essaouira

Après échantillonnage sur le terrain, il s'agit d'extraire les phytolithes en laboratoire, de réaliser leur assemblage par identification, comptage et analyse de la végétation qu'ils représentent. Une discussion en est issue.

A) L'extraction des phytolithes

Cinq échantillons sédimentaires échelonnés le long d'une carotte prélevée dans le substratum (creux interdunaire DEP, N31°31', W9°45'), présenté au chapitre précédent, ont été traités pour la partie fossile. Il s'agit de Dep55, Dep45, Dep35, Dep 25 et Dep5.

De la même façon quatre échantillons de sols actuels (HD, WA, DA, AZ) décrits dans le tableau XIX plus bas (en 2B) ont été collectés et analysés après traitement.

HD, WA, DA, et AZ représentent des échantillons de surface dont la litière est décomposée (horizons A₀ et A₁). DA a été collecté dans plusieurs bassins intradunaires proches de la ville (partie occidentale du géosystème) et les autres échantillons appartiennent à chacun des ensembles phytogéographiques homogènes périphériques au premier. Afin de collecter les échantillons sans être sélectif, la méthode d'échantillonnage préconise une vingtaine de prélèvements au moins. Il a donc été nécessaire d'échantillonner plusieurs fois sur des espaces diversifiés et distants de plusieurs décamètres à l'intérieur de chaque ensemble phytogéographique. Les aires d'échantillonnage représentent la surface d'un terrain de rugby c'est à dire qu'elles forment un rectangle d'environ 100 m sur 60 m et le prélèvement est aléatoire au sein de chacune d'elles. Leur localisation est indiquée par la figure ci-dessous.

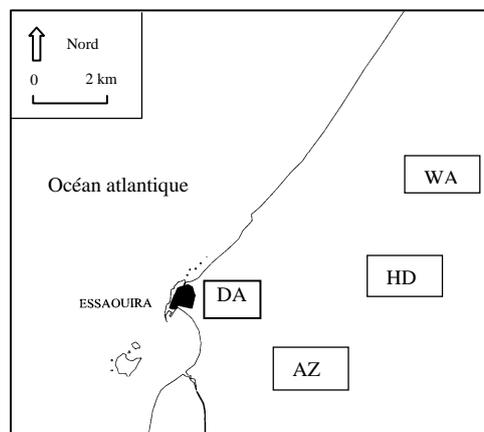


Fig. 32 : Localisation des aires d'échantillonnage pour l'extraction des phytolithes.

D'une manière générale, des problèmes d'apports allochtones se produisent et peuvent perturber et/ou fausser les résultats. Ils ont été discutés par TWISS (1983), CLARK (1988), FREDLUND et TIESZEN (1994) mais doivent être reconsidérés dans chaque cas d'étude. Quatre facteurs potentiels de dispersion des phytolithes sont susceptibles d'intervenir : (1) les incendies de forêts (2) les herbivores (3) le transport éolien (4) les transits alluvial et colluvial. L'échelle de dispersion s'étend sur trois distances : locale, extra-locale et régionale (PIPERNO, 1988).

Le premier facteur n'est pas intégré à la présente recherche car la périodicité des incendies et la quantité de phytolithes transportés ne sont pas connues.

L'action des herbivores est considérée ici comme insignifiante. En effet, le pâturage exercé n'est pas transhumant et il reste local. Les *Gramineae* sont dans tous les cas dispersées dans la litière et dans l'horizon humique.

Le transport éolien est le vecteur le mieux connu. D'après TWISS (1983), les dépôts de phytolithes éoliens dans les Grandes Plaines états-uniennesses sont compris entre 0,5 et 2 g/m² par an. Dans le cas présent, les vents dominants et efficaces sont maritimes. Ils sont issus de l'anticyclone des Açores et orientés NNE / SSW. Aucun vent continental n'atteint Essaouira en raison des barrières montagneuses. Les influences sahariennes y sont nulles contrairement au reste de l'Atlas atlantique (Agadir et vallée du Souss notamment avec le chergui). Par conséquent, on peut considérer les sources potentielles éoliennes, extérieures au site d'échantillonnage comme négligeables.

Les apports alluviaux sont inexistantes vu l'endoréisme marqué qui caractérise notamment le massif dunaire et des apports colluviaux peuvent se produire sur le site AZ uniquement ; mais dans tous les cas ils restent internes à l'espace phytogéographique échantillonné (SIMONE et al., 1999)..

Le traitement des échantillons a été réalisé au CEREGE suivant le protocole d'extraction de KELLY (1990). Il comprend les opérations suivantes :

- a) Tamisage à sec à 200 µm, la partie tamisée étant séchée à 110° C durant 48 h, 10 g d'échantillon par site ont été retenus ;
- b) décarbonatation à l'acide chlorhydrique (1N) ;
- c) dissolution de la matière organique au peroxyde d'hydrogène (30 %) dans un bain de sable à 100° C ;
- d) défloculation à l'hexamétaphosphate de sodium (5 %) sur secoueur ;
- e) tamisage humide à 50 µm ;
- f) extraction de la fraction argileuse par cycles de sédimentation et
- g) extraction des phytolithes par densimétrie dans une liqueur dense de bromure de zinc et d'acide chlorhydrique de densité 2,35.

Après séchage, les phytolithes ont été pesés et montés deux fois sur lame, au baume du Canada (montage définitif) et au glycérol (observation) afin d'être examinés plus précisément sous tous les angles (mobilité conférée par le film de glycérol dans lequel ils baignent).

Les assemblages actuels permettent de jeter les bases d'une recherche paléoenvironnementale dans la localité d'Essaouira en les comparant à la végétation actuelle (calibration de la méthode).

B) Les assemblages actuels

Avant de réaliser les assemblages actuels et afin de les comparer systématiquement à la végétation en place il est nécessaire d'aller plus loin dans la description de celle-ci. Les tableaux XIX et XX ci-dessous indiquent respectivement les formations végétales associées aux échantillons de sols prélevés et les principaux genres de monocotylédones (*Poaceae* et *Palmae*) et dicotylédones appartenant à la végétation actuelle.

Tableau XIX : Description des ensembles phytogéographiques échantillonnés, d'après Simone *et al.* (1999) modifié.

Echantillons	Types de sols	Formations végétales	* Recouvrement en %		
			strate arbor.	strate arbust.	strate herb.
HD N31°32', W9°42'	Régosols sablo-limoneux brun foncé	formation arborée claire à <i>Juniperus phoenicea</i>	< 5	55	40
WA N31°33', W9°41'	calcsols caillouteux brun noir	formation arborée claire à <i>Juniperus phoenicea</i> , <i>Tetraclinis articulata</i> et <i>Argania spinosa</i>	35	45	20
DA N31°31', W9°45'	arénosols brun clair à brun foncé	Formation arborée claire à <i>Acacia cyanophylla</i>, <i>Eucalyptus gomphocephala</i> et <i>Tamarix canariensis</i>	10	50	20
AZ N31°30', W9°44'	Régosols sablo-limoneux brun clair	formation arborée claire à <i>Juniperus phoenicea</i> , <i>Salsola longifolia</i> et <i>Periploca laevigata</i>	10	60	30
Moyenne			15	55	30

* (d'après M. BAL, 1993)

Tableau XX : genres dominants de la végétation actuelle.

Monocotylédones				Dicotylédones
<i>Poaceae</i>			<i>Palmae</i>	
Sous-famille <i>Festucoideae</i>	Sous-famille <i>Chloridoideae</i>	Sous-famille <i>Panicoideae</i>	Sous-famille <i>Arundinoideae</i>	<i>Chamaerops</i> <i>Tamarix</i> , <i>Lycium</i> , <i>Salsola</i> , <i>Retama</i> , <i>Argania</i> , <i>Pistacia</i> , <i>Phillyrea</i> , <i>Helianthemum</i> .
<i>Ammophila</i> (C3) <i>Avena</i> (C3)	<i>Aeluropus</i> (C4)	<i>Hyparrhenia</i> (C4) <i>Cenchrus</i> (C4)	<i>Lygeum</i> (C3) <i>Oryzopsis</i> (C3)	

Toutes les *Poaceae* recensées ici occupent les aires échantillonnées, cependant *Ammophila* affectionne particulièrement les sables dunaires, *Aeluropus* les terrains salés alors que *lygeum* est très répandu sur les sols limoneux ou argileux.

Après extraction et montage sous lames, les phytolithes ont été déterminés selon la classification taxonomique de TWISS (1992) mentionnée dans le tableau XVIII et comptés sous microscope optique Olympus SZH-ILLK (X 600). Les comptages sont représentés dans le tableau XXI ci-dessous. Les données ont été intégrées et traitées sous le logiciel Gpal3. La famille des *Poaceae* produit les morphotypes compris entre le rectangulaire et l'allongé sinueux inclus (fig. 34 et 35). Le rôle taxonomique des phytolithes est essentiel pour les recherches paléoenvironnementales et, notamment, ceux formés par les *Poaceae*. Trois des cinq sous-familles (*Festucoideae*, *Chloridoideae* et *Panicoideae*) sont adaptées à un environnement particulier (Tabl. XVIII).

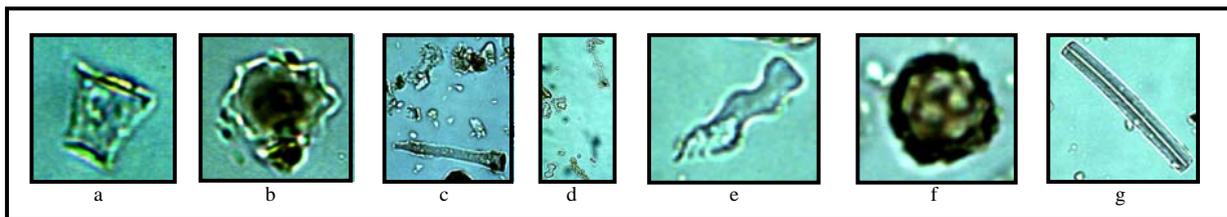
Tabl. XXI : Détermination et comptage détaillé des morphotypes de phytolithes actuels.

Morphotypes	Echantillons de surface			
	HD	WA	DA	AZ
Phytolithes de <i>Poaceae</i> formes courtes				
Rectangulaire	38	7	20	5
Circulaire	0	2	13	2
Oblong	10	5	0	0
En selle	85	28	71	50
En haltère	6	4	5	6
<u>Total formes courtes</u>	<u>139</u>	<u>46</u>	<u>109</u>	<u>63</u>
Phytolithes de <i>Poaceae</i> formes longues				
Allongé lisse	63	34	45	32
Allongé sinueux	13	38	25	47
En éventail	5	8	0	0
En pointe	10	8	0	0
<u>Total formes longues</u>	<u>91</u>	<u>88</u>	<u>70</u>	<u>79</u>
<u>Total <i>Poaceae</i></u>	<u>230</u>	<u>134</u>	<u>179</u>	<u>142</u>
Dicotylédones ligneuses				
Circulaire rugueux	116	65	63	70
Circulaire crénelé	0	69	67	70
<u>Total hors <i>Poaceae</i></u>	<u>116</u>	<u>134</u>	<u>130</u>	<u>140</u>
<i>Palmae</i>				
Non classés	84	48	24	13
Total compté	430	316	333	295

Pour les *Panicoideae*, seul le morphotype en haltère est apparu ; le morphotype en croix n'a été identifié dans aucun échantillon.

Le morphotype circulaire rugueux produit par les dicotylédones fournit des informations sur le taux de boisement et la densité du couvert arboré (ALEXANDRE et al, 1997a).

Le morphotype circulaire crénelé issu de la famille des *Palmae* est indicateur de milieux chauds. Quelques exemples de morphotypes de phytolithes extraits des sols de la région d'Essaouira sont illustrés ci-dessous par la figure 33. Un nouveau morphotype en « entonnoir » (Fig. 33c et d) est apparu à l'observation des lames avec une relative abondance. Non encore répertorié, il a été compté parmi les non classés. Aussi la présence notable de spicules d'éponges, en grande partie, bien conservés (fig. 33g) a été relevée et confirme la forte influence océanique.



a : morphotype en selle ; b : morphotype circulaire crénelé ; c : morphotype(s) en haltère, en haut à gauche et en « entonnoir » en bas ; d : morphotype(s) en haltère, en bas à gauche et en « (double) entonnoir », en haut à droite ; e : morphotype allongé sinueux ; f : morphotype circulaire rugueux ; g : spicule d'éponge ;

Fig. n° 33 : Morphotypes de particules de silice biogène les plus représentées dans les sols actuels. Phytolithes sauf g, grossissement 600. Clichés : Y. C. Simone, novembre 1998.

Les photographies c et e montrent des phytolithes brisés. Lorsqu'il est conservé, le morphotype en « entonnoir » est symétrique (fig. 33d en haut à droite), c'est à dire que les deux extrémités sont plus larges que la partie médiane et portent chacune une ponctuation sombre.

Fig. 34 : Les assemblages de phytolithes pour la période actuelle, d'après Simone *et al.*, 1999, modifié.

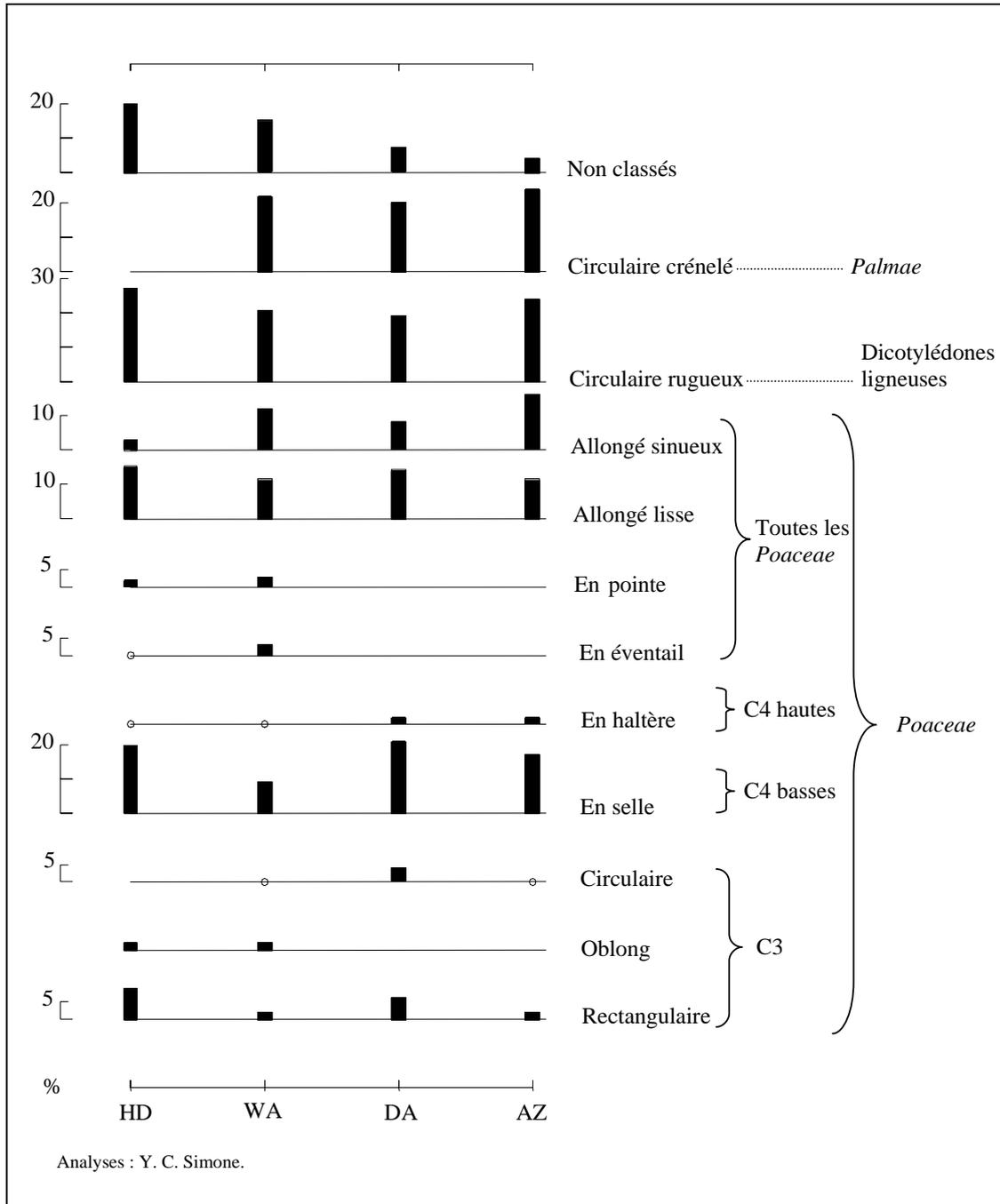
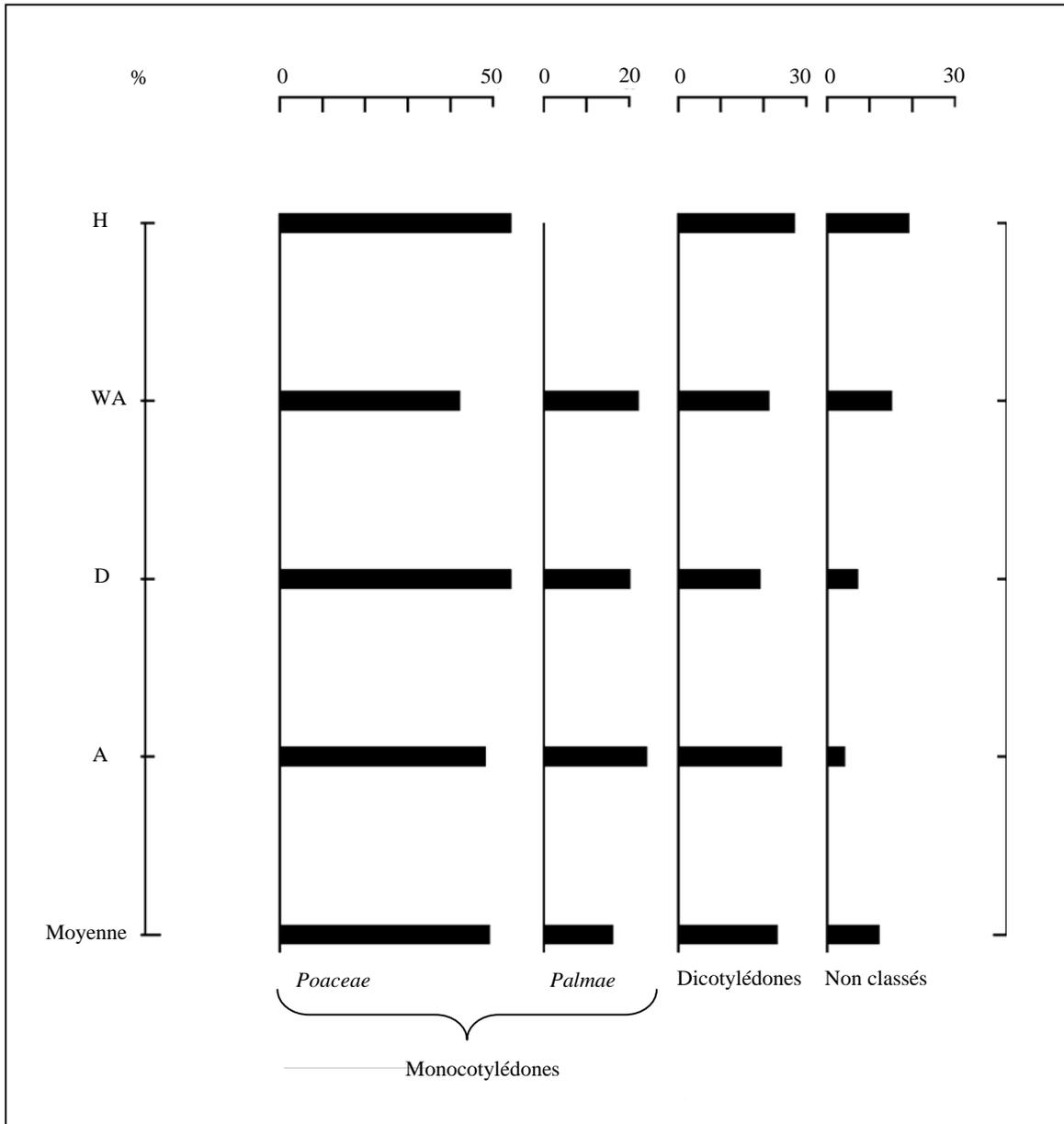


Fig. 5 : Distribution taxonomique des phytolithes dans les sols actuels,
d'après Simone *et al.*, 1999.



C) Discussion

La proportion moyenne de phytolithes contenus dans la partie superficielle des sols est de 0,96 % du poids total à sec de la fraction < 200 µm. ALEXANDRE et al. (1999) obtiennent une concentration comparable à Lagoa Campestre près de Salitre (Ouest du Minas Gerais), sur un sol situé au contact de la forêt semi-caducifoliée et du Cerrado sur le Plateau central brésilien.

Les assemblages actuels ou de référence (fig. 34) indiquent la distribution des morphotypes de phytolithes contenus dans les sols décrits plus haut.

Parmi les phytolithes de *Poaceae*, seuls les cinq premiers morphotypes (rectangulaire, oblong, circulaire, en selle et en haltère, cf. fig. 34) constituent les marqueurs très fiables dans la mesure où ils sont produits par les *Festucoideae*, les *Chloridoideae* et les *Panicoideae*, trois sous-familles identifiées et adaptées chacune à un milieu défini. C'est donc leurs proportions qui nous permettent de préciser les caractéristiques climatiques d'un géosystème concernant les températures et l'humidité.

La calibration des assemblages actuels sur la végétation en place se fait en recherchant les correspondances entre l'aspect physionomique, la composition floristique des aires phytogéographiques actuelles et les assemblages.

Pour cela, trois index phytolithiques ont été définis dans le but de caractériser et d'interpréter les assemblages portant sur les *Poaceae* des prairies des Grandes Plaines états-uniennes (TWISS, 1992) et sur les régions d'Afrique de l'Ouest (DIESTER-HAAS et al., 1973 et ALEXANDRE et al., 1997a). Ces index sont appliqués pour quantifier les rapports entre végétation locale et production phytolithique selon les conditions climatiques et/ou édaphiques qui dominent dans la localité d'Essaouira. Ils sont illustrés par la figure 36, notés dans le tableau XXII et indiquent les tendances du type de formation végétale et de sa densité (oscillation steppe-forêt), de l'aridité édaphique (oscillation humide-aride) et du caractère thermique du climat (oscillation chaud-froid).

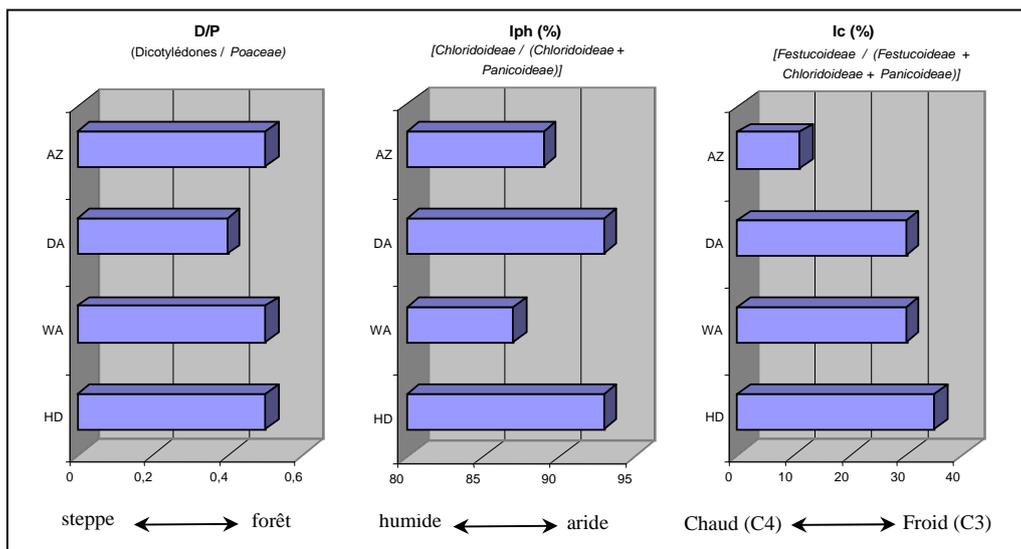


Fig. 36 : Les phytolithes, traceurs biogéographiques de la période actuelle à partir des trois index calculés.

Le premier d'entre eux défini par le rapport D/P est l'index de densité du couvert arboré (ALEXANDRE et al., 1997a). C'est le rapport Dicotylédones/*Poaceae* (nombre de phytolithes circulaires rugueux sur nombre total de phytolithes de *Poaceae*). Il a été utilisé pour évaluer la densité du couvert arboré dans les savanes et steppes d'Afrique de l'Ouest (ALEXANDRE et al., 1997a).

Sur des échantillons actuels de la forêt semi-caducifoliée congolaise les auteurs ont trouvé une valeur de 7. Ils ont aussi trouvé des valeurs inférieures à 1 caractérisant les savanes du Sénégal intérieur où la couverture herbacée est abondante.

A l'inverse des valeurs supérieures à 100 allant jusqu'à 159 ont été trouvées dans des sédiments fossiles du lac Sinnda au Congo en association avec des proportions élevées de pollens arboréens signifiant la présence d'une forêt ombrophile à l'Holocène supérieur.

Dans la moyenne vallée de l'Awash en Ethiopie, BARBONI et al. (1999) ont trouvé des valeurs inférieures à 1 indiquant couvert arboré peu abondant caractéristique d'une formation steppique.

Dans le cas d'Essaouira, les rapports D/P sont tous inférieurs à 1, la valeur minimale étant celle de DA, correspondant au massif dunaire. Ces résultats ne concordent pas très bien avec la physionomie de la végétation locale. En effet, l'aspect steppique de certains secteurs est dissimulé par des taux de recouvrement arboré et arbustif relativement élevés (70 % somme des moyennes, cf. tabl. XIX, BAL, 1993) et le rapport D/P perd sa signification par la présence considérable de gymnospermes car il n'exprime plus alors le couvert végétal réel. La valeur la plus haute de recouvrement de la strate arborée est 35 % pour WA ; cette valeur est due aux gymnospermes relativement abondants dans la région et non producteurs du morphotypes circulaire rugueux. En effet, *Juniperus phoenicea* et *Tetraclinis articulata* représentent deux des trois principales espèces arborées régionales. De plus, une part importante de jeunes semis naturels (reconquête végétale vigoureuse du genévrier, notamment) chez ces conifères marquent le stade arbustif tant dans les dunes qui bordent la ville que sur celles plus intérieures.

Cependant, le rapport D/P le plus bas (0,4) montre bien sa représentativité de la végétation locale pour DA dans la mesure où les Dicotylédones sont moins présentes au contact géosystème/espace urbain que sur la bordure orientale du géosystème (fig. 36 et tabl. XXII). En effet, la formation à acacias et eucalyptus (tabl. XIX) est une formation claire, de reboisement donc jeune et son implantation dans les dunes vives est fragilisée par la dynamique éolienne très active et soulignée au chapitre IV2A.

Les index de densité du couvert arboré D/P appliqués à Essaouira ne reflètent bien les observations de terrain que pour DA et en ce sens, ils s'accordent bien avec les résultats obtenus tant en Afrique occidentale qu'en Afrique orientale par les auteurs cités plus haut. Pour les autres échantillons le rapport D/P ne permet pas de quantifier d'une manière fiable le taux de recouvrement réel dans la mesure où les gymnospermes abondants ici ne sont pas pris en compte dans ce rapport.

Tabl. XXII : Valeurs des index phytolithiques calculés pour la période actuelle.

Echantillons	D/P	Iph (%)*	Ic (%)
HD	0,5	93,4	34,5
WA	0,5	87,5	30,4
DA	0,4	93,4	30,3
AZ	0,5	89,3	11,1
Moyenne	0,48	90,9	26,6

* d'après Simone et al. 1999.

Le deuxième index phytolithique est l'index d'aridité (Iph) défini par le rapport (*Chloridoideae* / *Chloridoideae* + *Panicoideae*), c'est à dire : (nombre de phytolithes en selle / nombre de phytolithes en selle + nombre de phytolithes en haltère et en croix). Il exprime donc le pourcentage de *Chloridoideae* parmi les *Poaceae* en C4.

Il a été utilisé pour la première fois par DIESTER-HASS et al. (1973) sur des carottes marines prélevées au Nord-Ouest de l'Afrique (23 ° 30' de latitude Nord, au Sud des Canaries) afin de retracer les fluctuations climatiques humide/aride.

Une valeur élevée d'Iph signifie une steppe graminéenne dominée par les *Chloridoideae* donc xérophytique et synonyme de l'adaptation à des conditions arides. A l'inverse, une faible valeur d'Iph signifie une prairie dominée par les *Panicoideae* traduisant des conditions climatiques et/ou édaphiques humides.

En Afrique de l'Ouest intertropicale, ALEXANDRE et al. (1997a) ont appliqué cet index et montré qu'une valeur limite de 30 % marque le seuil entre savane hygrophile de la zone humide soudannienne (herbes en C4 hautes) et savane xérophyte de la zone aride sahelienne (herbes en C4 basses).

Dans la zone tempérée les recherches ont porté sur les Grandes Plaines états-uniennes (KURMANN, 1985 ; FREDLUND et TIESZEN, 1994 et 1997a). La limite discriminant ces prairies en deux classes, celles adaptées à des conditions humides et celles développées en milieu aride s'élève à 45 % (ALEXANDRE et al., 1997a).

A Essaouira, les valeurs d'Iph calculées pour HD, WA, DA et AZ sont respectivement 93,4 ; 87,5 ; 93,4 et 89,3 (tabl. XXII). Elles se rapprochent toutes de 100, la moyenne approchant 91. Les formes en haltère caractéristiques des *Panicoideae* (C4 hautes) sont très peu représentées à l'inverse des formes en selles produites par les *Chloridoideae* (C4 basses), (tabl. XXI et fig. 34). Or, la végétation locale (strate herbacée) comprend deux genres de *Panicoideae* (*Hyparrhenia* et *Cenchrus*) alors que les *Chloridoideae* ne sont représentées que par un seul genre (*Aeluropus*), (tabl. XX).

Si ce dernier est présent sur tous les terrains échantillonnés c'est sur les dunes (DA) qu'il enregistre le maximum de production avec plus de 21 % du total de phytolithes comptés (fig. 34).

Cette donnée s'accorde bien avec les conditions locales du terrain dans la mesure où *Aeluropus* affectionne les milieux salés. De plus les *Poaceae* hautes (> 80 cm) sont très rares dans toute la région confirmant la prédominance d'*Aeluropus* seul sur *Hyparrhenia* et *Cenchrus* réunis.

Les Iph élevés indiquent donc une aridité édaphique et/ou climatique conséquente traçant avec fidélité les conditions locales. En effet, DA (dunes) et HD enregistrent les Iph maxima avec 93,4 % chacun (tabl. XXII et fig. 36). DA est l'échantillon représentant les sols les moins évolués, les plus perméables et en fait, les plus xériques. Les bassins intradunaires dans lesquels il a été recueilli sont les plus proches d'Essaouira, situés sur la frange occidentale du géosystème (cf. fig. 32) correspondant aux sols les plus instables et les plus précaires. De même HD, s'il n'est pas situé sur des dunes actuelles, correspond à un régosol sableux d'apports éoliens lui conférant aussi une faible capacité de rétention favorisant sa xéricité.

A l'inverse et malgré une valeur élevée, WA détient le plus faible Iph avec 87,5 % (fig. 36 et tabl. XXII). Or, les taux de recouvrement notés dans le tabl. XIX indiquent une valeur maximale du couvert arboré pour WA avec 35 % permettant de maintenir plus d'humidité dans les sols et donc un tapis herbacé plus haut. Cette donnée peut mettre ainsi en évidence la potentialité d'Iph de tracer en plus de l'aridité climatique régionale (hautes valeurs d'ensemble, tabl. XXII), les

nuances de l'aridité édaphique actuelle au sein du géosystème (fig. 36) et plus largement de la région.

Les index de xéricité Iph appliqués à Essaouira montrent qu'ils concordent avec les données portant sur la végétation locale. Les C4 basses dominent par rapport aux C4 hautes malgré la présence respective d'un seul genre contre deux. Ces résultats concordent aussi avec ceux obtenus en Afrique de l'Ouest et dans les Grandes Plaines états-uniennes par ALEXANDRE et al. (1997a), KURMANN (1985) et FREDLUND et TIESZEN (1994 et 1997a). Iph est donc un index phytolithique pertinent pour quantifier l'aridité édaphique en Afrique tempérée.

Le troisième index phytolithique est l'index climatique (Ic) défini par TWISS (1987 et 1992) dans ses recherches portant sur les Grandes Plaines états-uniennes. C'est le rapport exprimé en pour-cent *Festucoideae* / (*Festucoideae* + *Chloridoideae* + *Panicoideae*), c'est à dire (nombre de phytolithes rectangulaires, circulaires et oblongs) / (total formes courtes), (tabl. XXI). Il permet de quantifier la proportion de *Poaceae* en C3 ; ainsi une valeur élevée se rapprochant de 100 indique la prépondérance de celles-ci par rapport aux *Poaceae* en C4. Elle souligne donc l'influence d'un climat froid tempéré ou d'altitude (TWISS, 1992), (tabl. XVIII).

Les assemblages de phytolithe actuels des Grandes Plaines états-uniennes réalisés le long de transects Est-Ouest et Nord-Sud (limites Nord et Sud des Etats-Unis) marquant des gradients accusés d'humidité et de température mettent en évidence des valeurs élevées d'Ic supérieures à 80 % au Nord alors que 2 200 km plus au Sud (à 30° de latitude N.) elles tombent à 33 % (FREDLUND et TIESZEN, 1994). Les assemblages qui suivent le transect Nord-Sud montrent clairement que le gradient climatique se lit à travers une forte proportion de phytolithes produits par les *Festucoideae* (genre dominant *Agropyron*) dans le Dakota du Nord, près de la frontière canadienne ; cette proportion diminue progressivement en allant vers le Sud jusque sur les bords du golfe du Mexique (Sud du Texas) pour être remplacée par une proportion élevée de phytolithes issus des *Panicoideae* (genres *Andropogon*, *Panicum* et *Sorghastrum*) en passant par une forte proportion de phytolithes produits par les *Chloridoideae* (genres *Bouteloua* et *Buchloë*) sur la partie centrale du transect. Les assemblages actuels sont ainsi parfaitement calibrés sur la végétation en place. La progression du gradient est mise en évidence par des transitions nuancées entre les trois sous-familles comme le montrent les noms de genre en caractères gras sur la figure 37, ci-dessous.

Nord (48 ° N)		
SITES D'ECHANTILLONNAGE	GENRES DOMINANTS (<i>POACEAE</i>)	Ic (%)
SA	<i>Agropyron-Stipa-Danthonia</i>	81,3
BM	<i>Agropyron-Andropogon</i>	75
DN	<i>Agropyron-Stipa-Andropogon</i>	66,7
OP	<i>Agropyron-Stipa-Andropogon</i>	61,7
CR	<i>Agropyron-Stipa-Andropogon</i>	52,9
BL	<i>Bouteloua-Agropyron</i>	40,6
CS	<i>Bouteloua-Buchloë</i>	20,2
LT	<i>Bouteloua-Buchloë</i>	25,2
FO	<i>Bouteloua-Andropogon</i>	30,3
HK	<i>Bouteloua-Andropogon</i>	29,4
WO	<i>Andropogon-Bouteloua</i>	34
KP	<i>Andropogon-Panicum-Sorghastrum</i>	41,2
RP	<i>Andropogon-Panicum-Sorghastrum</i>	63
DP	<i>Andropogon-Panicum-Sorghastrum</i>	57,8
AT	<i>Andropogon-Spartina</i>	33,5
Sud (30 ° N)		

Fig. 37 : Index climatiques fondés sur les phytolithes à travers les Grandes Plaines états-uniennes, d'après Fredlund et Tieszen (1994)

A Essaouira, les index climatiques dépassent à peine 30 % pour trois échantillons sur quatre alors qu'AZ obtient la valeur la plus basse avec 11,1 % (Tabl. XXII et fig. 36).

Dans l'ensemble, les valeurs sont basses indiquant un climat chaud où les *Festucoideae* sont proportionnellement peu présentes (fig. 34). En effet, *Ammophila* et *Avena* sont peu répandues sur le terrain ; la première a été introduite pour fixer les sables du cordon littoral et si elle a pu s'étendre sur les espaces intérieurs, son implantation est mineure car elle reste cantonnée sur le front de mer ; la seconde est plus présente sur les plateaux intérieurs mais son étendue reste limitée. Comme il a été développé en première partie (chap. I1Ab et I13) le climat d'Essaouira est caractérisé par des températures douces tout au long de l'année avec une moyenne annuelle de 17,2 ° C et une amplitude thermique annuelle de seulement 5,5 ° C (Tabl. IV). Il n'y a quasiment pas d'hiver puisque la moyenne des minima des mois d'hiver ne descend pas en dessous de 9,5 ° C (tabl. VI). Et l'indice bioclimatique d'Emberger classe Essaouira dans le domaine semi-aride à hiver chaud. Sous ce type de climat les *Festucoideae* trouvent très peu de conditions favorables à leur développement.

AZ dont la valeur d'Ic est la plus basse avec 11,1 % pourrait s'expliquer par l'effet d'un microclimat plus chaud que sur les autres aires échantillonnées. Mais en l'absence d'éléments plus précis cette hypothèse doit être avancée avec prudence dans la mesure où AZ n'est pas très éloigné des autres sites d'échantillonnage.

Les index climatiques appliqués à la localité d'Essaouira correspondent bien à la végétation actuelle et au climat local montrant qu'Ic est un bon indicateur. En effet, sur le terrain, les *Poaceae* en C4 dominent par rapport aux *Poaceae* en C3. De plus, ces résultats concordent avec ceux établis dans d'autres régions et continents (FREDLUND et TIESZEN, 1994 ; BARBONI et al., 1999). Ils mettent en évidence l'influence subtropicale actuelle qui marque le domaine méditerranéen méridional.

Dans le même sens, la proportion relativement forte de formes circulaires crénelées avec 21,9 % de moyenne sur trois échantillons (fig. 34) indique une forte représentation des *Palmae*. Sur le terrain seuls *Chamaerops humilis* et *Phoenix dactylifera* sont présents. Le premier est bien plus abondant que le second mais il reste relativement peu étendu. Cependant, leur présence confirme les résultats précédents (index d'aridité (Iph) élevés et index climatiques (Ic) bas) à savoir que le milieu étudié est conditionné par un climat chaud et aride. En effet, les *Palmae* peuplent naturellement la zone intertropicale pouvant s'étendre à des domaines subtropicaux, voire aux régions méditerranéennes par extension d'origine anthropique et ainsi s'adapter. En particulier *Chamaerops humilis* (le palmier nain) occupe des sols très secs rocailleux ou sablonneux et n'étant pas un phréatophyte, son système racinaire s'adapte à la recherche d'humidité en profondeur. Une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) a permis de définir trois axes factoriels et *Chamaerops humilis* apparaît en coordonnées positives sur le deuxième axe avec *Asphodelus microcarpus* (BAL, 1993). L'auteur attribue ces deux espèces à une dégradation du milieu. Ingrid et Peter SCHÖNFELDER (1989) définissent comme habitat pour le palmier nain et l'asphodèle la garrigue qui est l'état dégradé des forêts méditerranéennes.

D) Les assemblages fossiles

L'examen des lames fossiles a révélé une forte dissolution des phytolithes. Ces derniers ne sont pas identifiables ou trop peu d'entre eux le sont (10 à 15 %), ce qui ne pourrait valider les assemblages. En effet, comme il a été mentionné en IV3B, le substratum est périodiquement immergé par des eaux salines dont le pH élevé varie de 8,8 à 10,2 (cf. tabl XV). Or, ce degré de basicité rend l'opale facilement soluble ; ayant été mesuré en eau de surface et vu les taux de halite cristallisée dans le substratum (cf. fig. 22), il est fort probable que le pH soit encore plus élevé en profondeur. Le même phénomène est observé pour les spicules d'éponges alors qu'ils restent très bien conservés dans les sols actuels (fig. 33g).

Si la recherche des paléoenvironnements ne peut être réalisée dans le cadre de la thèse, les phytolithes gardent un avantage sur les pollens qui ne sont conservés ni en milieu oxydant ni en milieu basique ou ultra-basique. Ainsi il conviendra de rechercher d'autres sites d'échantillonnage pour effectuer les assemblages fossiles.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus pour la localité d'Essaouira montrent que les phytolithes sont des traceurs potentiels du paysage végétal et de l'aridité édaphique.

Les assemblages actuels sont bien calibrés sur la végétation en place. En effet, deux des trois index phytolithiques (Iph et Ic) reflètent étroitement le couvert végétal en tout point (aridité édaphique importante avec la prédominance des C4 basses et présence d'espèces adaptées à un climat chaud, influencé par une tendance tempérée permettant le développement des C3). Seul D/P ne reflète pas la couverture végétale actuelle excepté pour DA (faible densité du couvert arboré et arbustif alors que le couvert le plus bas inférieur à 60 % est relativement élevé, tabl. XIX). Cette donnée devra être prise en compte pour les assemblages fossiles.

Pour les trois index les valeurs entre les aires échantillonnées ne varient que très peu. Cela est surtout vrai pour D/P et Iph (fig. 36) et peut être imputé à la faible superficie du terrain pris en compte pour les assemblages actuels (100 km² environ). Cette faible variation des valeurs pour toute la localité d'Essaouira montre la forte cohérence interne des résultats obtenus mais aussi la difficulté à saisir et interpréter les variations nuancées des index sur de courtes distances ainsi qu'à rechercher une capacité de discrimination toujours plus fine de milieux très proches sur le plan phytogéographique comme sur le plan climatique. La cohérence externe se reflète dans la concordance des résultats obtenus à Essaouira avec ceux acquis dans des zones et régions très différentes par d'autres chercheurs cités plus haut.

Aussi il convient d'approfondir l'expression d'Iph (index phytolithique d'aridité édaphique et climatique). Dans quelle mesure celui-ci indique-t-il une aridité édaphique exclusivement anthropique, exclusivement climatique ou climato-anthropique ? Comment quantifier ce qui incombe aux activités humaines d'une part et au climat d'autre part ?

Telles qu'elles sont posées, ces questions ne peuvent pour le moment trouver de réponses si ce n'est que par une approche systémique. Il convient donc d'étudier la pression anthropique qui pèse sur l'équilibre du géosystème dunaire.

CHAPITRE VI

L'EQUILIBRE DU GEOSYSTEME ET LE FACTEUR ANTHROPIQUE

« Nous n'héritons pas de la terre de nos ancêtres, nous empruntons celle de nos enfants. »
Antoine de Saint Exupéry

Parmi les sciences dites environnementales, l'anthropisation est devenue aujourd'hui un thème de recherche qu'on ne peut occulter. L'ère postmoderniste que nous vivons nous le rappelle trop souvent à travers les catastrophes écologiques et naturelles. Mais la définition d'un impact anthropique au sein d'un géosystème doit se limiter à une action humaine ayant un effet sur ce géosystème, qu'il soit négatif ou positif. La vision écologiste tant au sens épistémologique qu'au sens politique du terme ne doit absolument pas porter d'a priori négatif sur le terme « impact anthropique » ; c'est pourquoi il est préférable de considérer comme un impact anthropique une plantation d'arbres pour ornement, par exemple ou afin de ralentir l'érosion des sols après un incendie ou en vue d'abriter les cultures soumises à des vents puissants car elle bouleverse le fonctionnement du géosystème ou de son unité spatiale inférieure (le géofaciès, le géotope ou l'écotope). La vision catastrophiste de l'anthropisation nuit généralement à la réflexion et au discernement.

Pour la région d'Essaouira, l'oued Ksob constitue une limite entre pays Haha au Sud et Chiadma au Nord. Le premier abrite une communauté berbère formant un groupe ethnique appartenant au peuple Chleuh et le second correspond à un espace où vit une population arabophone (DRESCH, 1941). Les deux groupes cohabitent à Essaouira et ses proches environs pour peupler ce qu'il est commun d'appeler, l'espace Haha-Chiadma.

Après avoir analysé les éléments abiotiques et leurs relations, la méthode géosystémique pour être complète suggère l'analyse des éléments biotiques et anthropiques ; mais dans le cas présent c'est la phytocénose qui entretient les liens les plus étroits avec les dunes. De plus, ayant été en grande partie introduite, celle-ci est étroitement liée à l'élément anthropique et pour cette raison, insérée au présent chapitre. Si, comme tous les éléments elle régule l'équilibre des géosystèmes, ici plus qu'ailleurs, elle tient une place majeure dans la dynamique dunaire.

Qu'il représente un phénomène naturel consécutif à une évolution climatique ou la manifestation d'un impact anthropique, le géosystème dunaire d'Essaouira-Est bénéficie d'un couvert végétal permettant des activités sylvicoles antagoniques à un pastoralisme oppressif. Et cette pression rurale associée à une pression urbaine croissante s'exprime sous diverses formes.

1) La vocation sylvo-pastorale du géosystème actuel

Si la végétation arborée est relativement bien développée à la fois en densité et en hauteur, c'est en raison d'une initiative dynamique et d'un esprit volontariste que l'administration forestière locale a été contrainte de poursuivre face à l'ampleur du phénomène dunaire et à ses effets néfastes.

Mais à cette action de fixation des sables s'oppose une activité dévastatrice, le pastoralisme, vouant le géosystème dunaire à une fonction de terre de parcours.

A) La continuité d'une politique de boisement

Trop souvent, la littérature traitant de la question dunaire à Essaouira s'appuie sur le terme de reboisement en évoquant une junipéraie disparue (BOUDY, 1948 ; MOUNIR, 1988 ; HOUMIMYD et ALLAM, 1990 ; BAL, 1993). En l'absence de carottage et d'analyse paléoenvironnementale préalable aux présentes recherches il serait préférable d'utiliser le terme de boisement.

Les problèmes posés par le développement dunaire, l'ensablement des liaisons routières et aux portes de la ville ont conduit les pouvoirs publics à établir un plan de fixation des dunes par la plantation d'espèces allochtones telles qu'*Acacia cyanophylla*, *Acacia Cyclops* et *Eucalyptus Gomphocephala*, pour les principales (cf. chap. III2). Cette initiative prise à l'issue du premier conflit mondial s'est poursuivie jusqu'à nos jours où l'activité sylvicole s'est peu à peu transformée en suivi et maintenance du périmètre boisé (carte n° 7). Mais les plantations continuent dans certains secteurs. Elle fut la première opération de ce genre entreprise au Maroc (METRO, 1953 ; in BAL, 1993).

La fixation des dunes s'effectue en deux étapes majeures (DEFCS, 1993) :

- 1. une fixation mécanique
- 2. une fixation biologique

La première consiste en deux opérations complémentaires :

- l'installation d'un cordon littoral (cordon longitudinal) par des perches et du branchage de genêt blanc (*Retama monosperma*) visant à réduire les invasions de sable venant de l'estran ; puis d'un cordon transversal au niveau d'Azelf (cf. carte n° 4) pour stopper la progression des sables dunaire intérieurs.
- La couverture intégrale de la surface dunaire est constituée par du branchage provenant d'espèces ligneuses arborées et arbustives endémiques comme le genêt blanc et le genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea*) à raison de 10 à 35 tonnes par hectare et fixée par des pelletées de sable (HOUMIMYD et ALLAM, 1990).

La fixation biologique est réalisée par la plantation régulière des trois espèces allochtones citées plus haut à savoir l'eucalyptus et les deux acacias. Le géotope ou l'écotope de ces trois espèces à croissance rapide étant différent, une prise en compte des vents dominants et de la topographie est indispensable. Ainsi, l'eucalyptus est planté dans les bas-fonds et sur les expositions SW ; *Acacia cyclops* est utilisé en bordure de littoral constituant une barrière, et sur les crêtes ventées ; *Acacia cyanophylla* est planté en mélange avec les deux précédentes sur les versants des dunes plus abrités.

BOUDY (1958) note que dès 1930 déjà on pouvait considérer comme fixée la plus grande partie du secteur Nord.

Cependant, l'évolution de la fixation des dunes est marquée par deux phases (MOUNIR, 1988) : une phase de succès et une phase de régression. La phase de succès serait expliquée, d'après l'auteur, par au moins quatre facteurs :

- 1. la mise à profit du cadre législatif : le Dahir du 10 Octobre 1917,
 - permettant « la création de périmètres de reboisement...pour la fixation des dunes » (art. 30),
 - autorisant l'administration à s'opposer au défrichement des bois reconnus nécessaires à la défense contre l'érosion éolienne et l'envahissement des sables (art. 25),
 - sanctionnant « toute contravention ou enlèvement non autorisé de matériaux, broussailles et produits quelconques de la forêt » (art. 32),
 - habilitant les préposés des Eaux et Forêts « à saisir les bestiaux...en délit et instruments, voitures, attelages et bêtes de somme des délinquants et à les mettre sous séquestre » (art. 61) ;
- 2. la continuité de la fixation de 1918 à 1964 ;
- 3. l'organisation de la fixation suivant le sens du vent, donc en commençant par le Nord et en allant vers le Sud de manière à abriter les nouvelles plantations pour éviter leur ensevelissement ;
- 4. un élément climatique favorable : le bilan hydrique de 1918 à 1964 malgré la sécheresse des années trente.

De même, malgré les bons résultats obtenus par la fixation des dunes, « de nombreuses contraintes continuent à s'opposer aux objectifs assignés à cette action » (HOUMIMYD et ALLAM, 1990).

En revanche, les dunes fixées « constituent actuellement...un boisement à haut rendement financier » (BAL, 1993) ; l'auteur considère qu'elles représentent « une réserve naturelle à grand intérêt scientifique » et il pense aussi qu'elles forment un espace où « l'expansion urbaine s'effectue sans crainte ».

Consciente du fragile équilibre existant entre les dunes et le couvert végétal, la Direction Provinciale de l'Agriculture d'Essaouira note ses axes prioritaires en matière de développement du secteur forestier par ordre d'importance pour l'année 1995 (Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole, 1994) :

« 1 – La lutte contre l'ensablement par la réhabilitation et la mise en valeur des 12 000 ha fixés sur les dunes avoisinantes de la ville d'Essaouira.

2 – La reconstitution du domaine forestier dégradé par le reboisement et la production de plants forestiers.

3 – L'aménagement des forêts...

4 – La conduite des peuplements par des actions sylvicoles...

9 – Les études du marché et de la filière du bois d'œuvre (thuya) et de feu pour mieux connaître l'interdépendance entre la forêt et son milieu environnant ».

La lutte contre l'ensablement mentionnée en premier objectif est directement vouée au géosystème dunaire. Il constitue en effet, le stock de sables vifs le plus proche de la ville et sa partie occidentale qui cerne Essaouira est le secteur où les dunes sont les moins stables (cf. cartes n° 5, 6 et 7).

Aussi, les moyens matériels et humains mis en œuvre sont considérables ; les crédits demandés par la Direction Provinciale de l'Agriculture d'Essaouira au ministère proportionnels à ses projets dont une partie est indiquée dans le tableau n° XXIII (page suivante).

Tableau n° XXIII :
Programme d'action de la Direction Provinciale de l'Agriculture d'Essaouira pour l'année 1995,
d'après le M.A.M.V.A. (1994), modifié.

<i>Intitulé du projet</i>	<i>Objet du projet</i>	<i>Commune rurale</i>	<i>Localisation précise</i>	<i>Consistance</i>	<i>Crédit demandé en FF</i>	<i>Source de financement</i>
Lutte contre l'ensablement	Fixer les dunes actives	Municipalité d'Essaouira	Dunes Nord et Sud	100 ha 10 km de cordon	466 700	Etat
Production de plants forestiers (y compris récolte de Graines)	Produire des plants pour les reboisements, la fixation des dunes et l'agroforesterie	Municipalité d'Essaouira	Pépinière forestière d'Essaouira	800 000 plants	842 700	Etat

La volonté de poursuivre les efforts engagés en matière d'aménagements forestiers est réelle.

L'analyse diachronique réalisée à partir des photographies aériennes de 1953 et 1984 (cartes n° 5 et 6) semble indiquer pour cette période, une tendance à la stabilisation des dunes et par conséquent un réel bénéfice issu des travaux effectués jusqu'alors, ces derniers ayant porté leurs fruits. Les formations dunaires sont recouvertes d'une végétation beaucoup plus dense en 1984 qu'en 1953 tendant à réduire la mobilité des sables donc à freiner leur transit. Mais malgré l'optimisme évoqué plus haut (BAL, 1993), une mise en garde contre l'action anthropique et notamment le pastoralisme est portée en conclusion d'un mémoire d'étude (BAL, 1993).

B) Le pastoralisme : une résistance rurale aux portes de la ville

Dans les régions sahariennes arides et semi-arides le déterminisme climatique limite le développement de l'agriculture à des rendements souvent insuffisants pour nourrir la population correctement ; malnutrition et sous-alimentation peuvent alors coïncider. Le recours à l'élevage extensif est un moyen de subsistance alors très répandu mais dans ces domaines bioclimatiques, l'écoulement d'un cours d'eau pérenne peut aider à la mise en valeur agricole de la plaine alluviale et permettre de subvenir largement aux besoins de la population (cas de la plaine du Souss ou de la Chaouia). Dans ce cas, les hauts rendements agricoles atteints ne diminuent pas la pratique de l'élevage qui reste une source de revenus, malgré la précarité de sa valeur ; le cas de l'arganeraie d'Admine dans la basse vallée du Souss en est le plus « bel » exemple ponctuel (EL YOUSFI, 1988 ; EL YOUSFI et BENCHEKROUN, 1992) et à une échelle plus large, du Sud-Ouest marocain (AOUAD, 1989). La pression pastorale y est très élevée et les troupeaux de chèvres notamment détruisent la végétation en l'amenuisant et en l'empêchant de repousser. En effet, un important peuplement de caprins correspond sensiblement au domaine de l'arganier et toute une série de traditions économiques et sociales détaillées plus bas sont entretenues autour de cet arbre « providentiel » (JOLY, 1954).

Il n'existe malheureusement pas d'étude statistique précise sur la répartition des têtes, les structures de propriétés et les secteurs de parcours à Essaouira proprement dit. Le mémoire très fourni et très intéressant de RAFIK (1989) rassemble les données précieuses concernant principalement les structures sociales (poids de l'islam, rôle des confréries, relations avec le Makhzen) et le poids historique du commerce (rôle de la communauté juive, activités portuaires) en ouvrant quelques perspectives sur un développement durable.

A une échelle globale, la FAO a classé les terrains du monde de la manière suivante :

- Terre non productive 15 %,
- Terre forestière 30 %,
- Terre agricole 10 % et
- Terre de parcours 40 % (FERCHICHI et al., 1994).

Les terres de parcours représentant la plus grande surface sont en général, formées d'espaces marginaux dont l'utilisation peut être diverse rendant délicate et ambiguë leur définition au sein de cette classification. C'est le cas du géosystème dunaire d'Essaouira-Est dont la particularité tient en partie, à la possibilité de le ranger dans trois des classes proposées par la FAO : terre non productive, terre forestière et terre de parcours.

La vocation pastorale de l'espace dunaire est un fait et cet espace livré non seulement aux sables éoliens mais aussi au pâturage ne peut s'étudier sans définir un terme fondamental : la charge animale ; « La charge d'un pâturage est « la quantité » de bétail qu'il est susceptible de supporter par unité de surface » (FERCHICHI et al., 1994). Mais en raison des aléas climatiques, on ne peut jamais affirmer que 10 ha d'un pacage défini assurent en permanence une quantité de fourrage constante. Les variations de la productivité de phytomasse engendrent une incertitude qui est d'autant plus accusée qu'on se trouve en zones semi-aride ou aride. On exprime théoriquement la charge en nombre d'hectares par unité animale ou en UF/ha (Unité Fourragère/ha) en admettant que :

- 1 U. ovine = 400 UF/an, (1 U. ovine = 1 brebis + 1 agneau jusqu'à l'âge de trois mois),
- 1 U. caprine = 300 UF/an,
- 1 U. cameline = 2000 UF/an.

La production pastorale des diverses formations végétales est ainsi exprimée en UF/ha/an. Aussi, il convient de distinguer la charge réelle qui est la charge effective imposée au parcours ou le rapport pondéré du nombre de têtes à la surface du parcours, de la charge d'équilibre ou charge optimale qui est la charge maximale que peut supporter en moyenne un pâturage sans que sa flore fourragère ne se dégrade grâce à une production toujours égale à la consommation.

En plus du problème quantitatif posé par le surpâturage (réduction du couvert végétal des espèces vivaces), un problème qualitatif entraîné par la raréfaction des espèces appréciées qui sont sélectivement éliminées est constaté (FERCHICHI et al., 1994). La phytodiversité se détériorant entraîne avec elle un appauvrissement de la biodiversité.

Ainsi, dans le Sud Tunisien (secteur de Tataouine), la détermination et la cartographie de deux géotopes qui forment un géofaciès steppique (la steppe à *Rhantherium suaveolens* et la steppe à *Artemisia herba-alba* et *Arthrophytum scoparium*) a permis de montrer que la modification quantitative du manteau végétal sous l'effet du surpâturage entraîne une modification qualitative avec le développement abondant de nouvelles espèces non appréciées par le cheptel (ABICHO, 1987). C'est le cas d'*Astragalus armatus* et d'*Atractylis serratuloïdes* qui atteignent avec *Rhantherium suaveolens* plus de 95 % du total des espèces relevées (WAECHTER, 1972, in ABICHO, 1987) ; alors que *Rhantherium suaveolens* représente à lui seul 15 à 30 % du régime alimentaire des ovins et 15 à 40 % de celui des caprins. Aussi, *Astragalus armatus* (espèce calcimorphe) prend la place de *Rhantherium suaveolens* sur les bordures des terrasses où les encroûtements calcaires dominent (ABICHO, 1987).

Le concept de charge et sa quantification sont donc essentiels à la compréhension du processus de surpâturage et des phénomènes qu'il entraîne. Par exemple en Tunisie aride où $P < 200$ mm/an, la charge réelle s'évalue à 1 U. ovine/6,5 ha, valeur correspondant à une surcharge de 35 % (LE HOUEROU 1969, in FERCHICHI et al., 1994). Celle-ci varie avec les zones et les régions ; elle atteint 45 % dans les steppes littorales de Tunisie et régresse à 25 % environ en zone saharienne. Ce qui souligne la fragilité des littoraux arides et semi-arides. En Tunisie centrale où P varie entre 200 et 350 mm/an, la densité du cheptel atteint une tête ovine/1 à 2 ha représentant des densités au moins trois fois supérieures à celles considérées comme souhaitables dans des régions à bioclimatologie comparable d'Australie, d'Afrique du Sud et du Sud des Etats-Unis (FERCHICHI et al., 1994). En Tunisie septentrionale la charge d'équilibre est quantifiée à une Unité de Petit Bétail (UPB)/ha/an contre une charge réelle de 5 UPB/ha/an (AKRIMI et NEFFATI, 1994), soit une surcharge cinq fois plus élevée que la charge optimale.

Au Maroc, la production de l'espace pastoral de la forêt de la Mamora compte 250 UF/ha/an alors que la charge réelle y est de 5,5 UPB/ha/an (AKRIMI et NEFFATI, 1994). Si l'on considère qu'une UPB équivaut à la moyenne entre une unité ovine et une unité caprine, c'est à dire à 350 UF, on obtient une charge réelle de $350 \text{ UF} \times 5,5 \text{ UPB/ha/an} = 1925 \text{ UF/ha/an}$ correspondant à une valeur presque huit fois supérieure à la charge d'équilibre. Dans la région du Plateau central, la production oscille entre 200 et 350 UF/ha/an dans les forêts de chênes verts et de chênes lièges (pouvant atteindre 1000 UF/ha/an en jachère), contre une charge réelle moyenne de 6 UPB/ha/an (AKRIMI et NEFFATI, 1994). Ces conditions créent une surcharge de $350 \text{ UF} \times 6 \text{ UPB/ha/an} = 2100 \text{ UF/ha/an}$, presque huit fois supérieure aussi à la charge d'équilibre.

Le processus de surpâturage est intimement lié à l'idée de charge et de surcharge. Il y a surpâturage lorsqu'il y a prélèvement sur une végétation donnée d'une quantité de fourrage supérieure à la production annuelle. L'intensité du surpâturage est donc proportionnelle à la différence entre la quantité de matière végétale prélevée et l'accroissement annuel de phytomasse fourragère. Cette différence s'annule lorsqu'on atteint la charge d'équilibre. Généralement, lorsque des conditions climatiques favorables durent, les effectifs du cheptel s'accroissent rapidement ; lorsqu'elles se dégradent les troupeaux sont en surnombre et les pasteurs éprouvent beaucoup de difficultés à s'en séparer dans l'espoir d'une amélioration (l'animal constituant « la banque » du pasteur sédentaire et plus encore, nomade). Les plantes vivaces sont alors fonction de deux facteurs qui jouent défavorablement et conjointement : les aléas climatiques et le surpâturage qui coïncident et agissent en synergie. Elles sont alors pâturées jusqu'à la racine et disparaissent progressivement. Entre 1947 et 1948, 60 à 75 % du cheptel de la Tunisie steppique périrent de faim (FERCHICHI et al., 1994). En Afrique du Nord, la sous-nutrition du cheptel en raison de la maigreur des pâturages, résultat des aléas climatiques et du surpâturage est courante et généralisée (Tabl. XXIV, page suivante). Les pastoralistes ont développé un coefficient de surpâturage défini par le rapport de la charge d'équilibre (C_e) à la charge réelle (C_r) et exprimé en pour cent de la charge d'équilibre.

$$S = (1 - C_e) 100 / C_r$$

Cette relation a permis de mettre en évidence certaines constatations à l'échelle zonale : les pâturages de la zone aride (100-200 mm) sont nettement plus dégradés que ceux de la zone saharienne (moins de 100 mm). En effet, S atteint 45 % en zone aride alors qu'il dépasse à peine 25 % en zone saharienne (MAIGNAN, 1973 in FERCHICHI et al., 1994).

Aussi, la formule met en relief une autre observation : le surpâturage est un phénomène général au Maghreb. Les effectifs dépassent actuellement la charge d'équilibre d'environ 30 % expliquant en grande partie la dégradation des parcours et la désertification du Sud.

Tableau n° XXIV : Superficies et productions des parcours en Afrique du Nord

(M.S. pour Matière Sèche), d'après AKRIMI et NEFFATI (1994), modifié.

	SUPERFICIE EN KM ² ET EN %				PRODUCTION TOTALE		
	Parcours en forêts et maquis		Parcours steppiques et sahariens		Superficie totale	En milliers de tonnes de M. S.	En % des besoins du cheptel
Maroc	41 160	15	229 600	85	270 760	12 625	55
Algérie	29 690	9	285 000	91	314 690	8 404	61
Tunisie	6 955	22	24 025	78	30 980	2 840	43
Libye	2 090	1	198 187	99	200 277	1 671	35
Total	79 895	10	736 812	90	816 707	25 540	Moy. 48,5

On pourrait penser, a priori, que la difficulté des pays d'Afrique du Nord à subvenir aux besoins du cheptel est directement liée à la prédominance des parcours steppiques et sahariens (tabl. XXIV). Ceci est vérifié à l'échelle des quatre pays (90 % de la superficie totale contre 10 % seulement de parcours en forêts et maquis) et particulièrement pour la Libye qui a la plus grande étendue de parcours sahariens (99 %) et qui produit la plus faible quantité de fourrage (seulement 35 % des besoins du cheptel). Mais une autre observation s'impose : l'Algérie est le pays où le cheptel souffre le moins du déficit alimentaire malgré un manque à gagner de 39 % (la production totale équivaut à 61 % des besoins du cheptel) et malgré la plus grande superficie de parcours steppiques et sahariens (285 000 km²) contre une étendue de parcours en forêts et maquis bien inférieure à celle du Maroc (29 690 km² contre 41 160 km²). Ce qui corrobore les observations faites à partir du coefficient de surpâturage à savoir une dégradation du manteau végétal plus importante en zone aride qu'en zone saharienne. L'explication en est que la rareté des points d'eau sur les parcours steppiques et sahariens engendre une charge réelle très inférieure à celle sévissant sur les parcours en forêts et maquis et par conséquent, une pression animale moins importante. La désertification ne pouvant s'étendre qu'à des zones non désertiques, la même comparaison peut s'élargir à la zone semi-aride où la désertification liée au surpâturage est également effective.

Ce phénomène peut être très ancien et ne se limite pas à l'Afrique du Nord ; des pratiques menant au surpâturage ont accru la désertification en Asie Centrale et dans l'Arizona qui souffrent aussi de « l'influence très considérable d'un pâturage excessif. » (KACHKAROV et KOROVINE, 1942). Les auteurs notent que « Des espaces énormes auparavant couverts de Graminées et constituant des pâturages magnifiques ont été transformés en fourrés de Cactus, d'Agave et d'autres plantes épineuses immangeables, qui ont pris la place des anciens pâturages quand un broutage exagéré a provoqué la disparition de la couverture herbacée primitive, actuellement incapable d'éliminer la végétation épineuse non comestible qui l'a remplacée. » La même remarque est faite à propos des terres du Nouveau Mexique (ELHAÏ, 1968).

Dans la province d'Essaouira le taux de population rurale s'élève à 89 % selon le recensement de 1982 constituant la valeur la plus élevée à l'échelle nationale (RAFIK, 1989). D'après l'auteur, cela explique la primauté du secteur agricole dans l'espace économique Haha-Chiadma malgré la pêche et les activités situées en aval (conserveries), et l'artisanat (marquetterie et joaillerie). Mais ce taux très élevé de population rurale s'explique aussi et

surtout par le petit nombre de communes urbaines par rapport aux communes rurales (5 contre 52, MINISTÈRE de l'INTERIEUR et de l'INFORMATION, 1989).

L'élevage ne diffère guère de celui de la province d'Agadir. Il se compose majoritairement de caprins associés à l'arganier, d'ovins, puis dans une proportion très inférieure, de bovins, d'équidés et de camelins. Le mode de conduite du cheptel par la population locale demeure exclusivement traditionnel (RAFIK, 1989).

Il est très courant de rencontrer aux abords de la ville un troupeau de chèvres, de moutons ou quelques dromadaires qui paissent la maigre végétation des dunes et des environs. A partir des plateaux intérieurs, le berger et son bétail n'hésitent pas à s'infiltrer et à parcourir les terres du géosystème dunaire limitant le fragile développement d'une phytomasse dont l'enracinement est instable en raison de la dynamique dunaire (cf. fig. 27) par broutement et piétinement des strates herbacées et arbustives notamment. Si bien que les jeunes repousses et les rejets ne peuvent renforcer le couvert végétal existant et aider à la stabilisation des sables. Par voie de conséquence, ce facteur limitant ralentit la production de matière organique au sol et les actions pédogéniques (cf. fig. 11 à 17).

De plus, sur ce secteur particulièrement sensible à l'érosion éolienne la déflation est accentuée à chaque pas d'une personne ou d'un animal qui soulève des particules et les offre au transport éolien. La figure n° 38 ci-dessous, illustre le pacage pratiqué sur les terres du géosystème dunaire à 200 m seulement des derniers bâtiments qui bordent la ville.



Figure n° 38 : Chèvres paissant sur les dunes ; Cliché : Claude SIMONE, le 8 X 1997.

La voracité des chèvres est bien connue et les dégâts qu'elles causent sur les plateaux intérieurs peuplés principalement d'arganiers (BENCHEKROUN, 1989a et 1989b) sont également perpétrés sur la végétation dunaire. Cette « suprématie » des chèvres par rapport aux autres animaux de parcours et notamment aux moutons se reflète dans les notes de JOLY (1954) : « ...les moutons ne trouvent guère à leur convenance que les rejets du tronc et l'herbe qui pousse à l'ombre des légères frondaisons. » Ainsi, le surpâturage caprin est renforcé par celui des ovins.

Suite aux problèmes de régression de la forêt d'arganiers dans l'arrière pays (disparition du sous-bois composé très majoritairement de *Rhus pentaphylla*, le sumac à cinq feuilles, développement d'un système agro-pastoral fragile avec les cultures d'orge sous arganeraie qui ont remplacé le sous-bois et la pâture suspendue constituée par les feuilles d'arganiers) les pasteurs sont contraints peu à peu de quitter cet espace pour la forêt artificielle des dunes périphériques à la ville, aujourd'hui plus fournie que celle des plateaux intérieurs. La précarité

des ressources issues du cheptel y est si accusée qu'un exode rural se produit vers Essaouira pour tenter de subvenir aux besoins familiaux en ayant une double activité, rurale et urbaine : « L'exode rural commence à prendre dans la région des proportions alarmantes. » (RAFIK, 1989). L'auteur note qu'en raison de la destruction de la végétation et de l'érosion des sols les populations de l'intérieur sont obligées de « s'exiler provoquant ainsi un exode redoutable ». Elles constituent alors « un trop plein démographique pour une ville où les chances d'emploi sont quasi-inexistantes ». Alors les éleveurs ayant quitté les campagnes de l'arrière pays pour venir à Essaouira y restent par commodité constituant ainsi une charge pastorale nouvelle créant une surcharge.

Les plaines intérieures sont en général, moins riches sur le plan agricole que les plaines littorales et la tradition pastorale y est plus vivace. Mais l'élevage ovin et caprin sur la bande littorale au Sud de Safi est semblable à celui de l'intérieur car les terres y sont pauvres à l'inverse de la partie située au Nord de Safi où le contraste littoral / intérieur est plus marqué (JOLY, 1954). Evoquant la région littorale au Sud du Tensift dont l'embouchure se trouve à une soixantaine de kilomètres au Nord d'Essaouira, l'auteur précise : « Là persistent les rares terres incultes qui peuvent recevoir les animaux évincés des champs de l'intérieur. La concentration en gros troupeaux est de ce fait plus accusée que dans le Nord. » Le déséquilibre entre élevage et agriculture dans l'espace littoral Haha-Chiadma est encore souligné par TROIN (1968) qui n'hésite pas à qualifier cette région de « vide céréalière » et de « monde à part aux limites assez floues mais à l'économie agricole infiniment plus pauvre. » De même « Terrains de parcours sur les étendues pierreuses et arganeraie restreignent la superficie cultivée...avec l'arganeraie, une agriculture de sous-bois disperse des champs à l'ombre des arbres. »

A 150 km plus au Sud, dans la partie orientale de la plaine des Chtouka située entre l'Anti-Atlas et le littoral, des remaniements éoliens « circonscrits » formant des dunes vives sont imputés en partie au surpâturage (WEISROCK et al., 1998). Plus au Sud encore, au Sahel burkinabé (Oudalan), un pâturage extensif pratiqué pendant la longue saison sèche par les populations de pasteurs bellas, peulhs et touaregs sur les cordons dunaires qui entourent les mares d'Oursi et de Kissi renforce la dynamique éolienne (BALLOUCHE, 1998). Fondant son analyse sur un diagramme pollinique, l'auteur note l'ouverture de la couverture graminéenne sur les dunes fossiles à partir de 3000 ans B.P., qu'il met en relation avec les activités agro-pastorales émergentes. A propos du façonnement actuel des paysages végétaux par les sociétés humaines dans cette région, il précise que « la pratique générale d'un pastoralisme plus ou moins prégnant est aujourd'hui l'agent principal de ce processus ».

Comme il a été mentionné plus haut, la fixation des dunes a connu une phase de succès et une phase de régression (MOUNIR, 1988) que l'auteur attribue à plusieurs facteurs dont le premier est « la fréquence des délits de pâturage et de piétinement dans les zones de fixation ».

RAFIK (1989) pour qui l'économie forestière représente « le poumon de l'espace rural Haha-Chiadma » montre que le cheptel total enregistre une réduction considérable de plus de 22 % suite à la sécheresse qui a sévi durant les années 84-85 (tableau XXV, page suivante).

Tableau n° XXV : Recensement du cheptel de la Province d'Essaouira

(source D.P.A., in RAFIK, 1989, complété).

<i>Catégorie de cheptel</i>	<i>Nombre de têtes avant la sécheresse (1980)</i>	<i>Nombre de têtes après la sécheresse (1988)</i>	<i>Perte en %</i>
Caprins	494 014	398 226	19
Ovins	459 588	343 742	25
Bovins	74 904	53 964	28
Equidés	60 231	50 835	16
Camélidés	8 857	8 311	6
Total	1 097 594	855 078	22

Généralement le cheptel ovin est plus fragile que le cheptel caprin face aux aléas climatiques et à la carence en pâture (JOLY, 1954). Cela est confirmé par le tableau XXV indiquant la primauté des caprins. En effet, les plus touchés par la calamité climatique des années 80 sont respectivement les bovins (28 %) et les ovins (25 %) alors que les camélidés sont les plus résistants en raison de leur physiologie (seulement 6 % de perte). Avec 19 % de perte les caprins résistent relativement moyennement.

Malgré la chute importante du nombre de têtes dans le cheptel régional entre 80 et 88, les caprins sont principalement à l'origine des dégâts perpétrés sur la végétation à cause de la surcharge qu'ils entraînent (JOLY, 1954). Mais les ovins, s'ils sont moins « ravageurs », participent aussi très activement au broutement et au piétinement.

La forêt constitue à Essaouira « principalement un espace pastoral où paissent tous les animaux de la Jemaâ » (RAFIK, 1989). La Jemaâ se traduit par « l'assemblée » correspondant à un collège de notables qui orientent les grandes décisions sociales, économiques et politiques du groupe ethnique qu'ils contrôlent. Ces personnalités appartiennent à des zaouias (confréries religieuses) qui imposent à la communauté par leur autorité, un ordre social régi par des règles islamiques.

Les dunes d'Essaouira-Est sont parcourues par un cheptel essentiellement caprin et ovin qui exerce une surcharge pastorale s'expliquant par l'intensification du pacage et cela malgré une forte diminution du nombre de têtes. Cette intensification a pour origine principale la désertification de l'arrière pays qui induit à la fois une extension et une confluence des parcours vers le chef-lieu de province créant un exode rural, en dépit de l'interdiction de pâturage sur le massif dunaire.

La vocation sylvo-pastorale du géosystème actuel génère un conflit d'usages : l'aménagement forestier s'oppose à la destruction du couvert végétal et si l'équilibre entre les deux pouvait être à peu près réalisé, la pression démographique et l'impact urbain jouent en faveur du second.

2) La forte pression démographique et l'impact urbain

Essaouira représente la plus grande concentration de population de la province dont la densité est de l'ordre de 66,5 h/km² selon le recensement de 1989 représentant la plus haute valeur de tout le pays (Rafik, 1989). Aussi, le chef-lieu de province a vu sa population passer de 30 000 habitants en 1957 à 60 000 habitants en 1982 (fig. 39) dont plus de 50 % ont moins de vingt ans (MOUNIR, 1988) donnant un taux moyen de croissance urbaine de 4 % par an.

La pression démographique se traduit par une augmentation de population dont les structures d'accueil limitées imposent une extension urbaine. De plus, l'usage forestier de l'espace dunaire pose problème face aux aménagements réalisés.

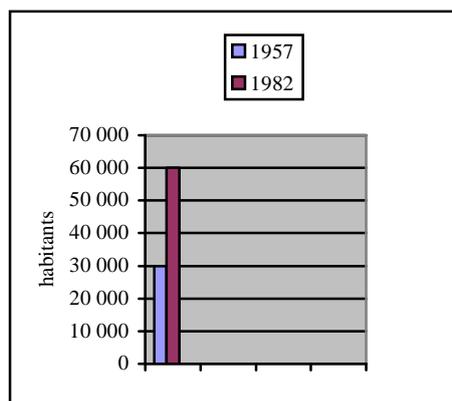


Fig. 39 : Croissance de la population d'Essaouira, d'après Mounir (1988)

A) Le développement de l'urbanisation et l'exploitation des ressources minérales

L'analyse diachronique du contact massif dunaire / urbanisation par photo-interprétation a montré l'évolution des états de surface, de la morphologie, de la répartition des dunes qui le constituent et des types de formes dunaires. Mais la comparaison entre les cartes n° 5 et 6 a aussi l'avantage de montrer l'extension du bâti qui a progressé vers l'Est entre 1953 et 1984, transgressant les dunes occidentales du géosystème. Cette avancée s'est donc réalisée au détriment des sables vifs et partant, des aménagements effectués pour tenter de les stabiliser.

La morphologie de la partie occidentale du géosystème a considérablement changé en trente et un ans et notamment sa frange occidentale qui a reculé de 280 m en moyenne (cf. cartes n° 5 et 6) correspondant à la pénétration de la surface bâtie (cf. fig. n° 40, n° 41a, b, c et n° 42) ; si bien que certains édifices situés à moins de 60 m des premières dunes se retrouvent envahis par des accumulations de sables qui obturent leur entrée ou recouvrent leur façades (cf. fig. n° 41a, b et c). A l'arrière-plan à gauche de la figure 41a, se distinguent les sommets des premières dunes coiffées de végétation illustrant la progression de l'urbanisation vers le géosystème.



Fig. n° 40 : Nouveaux ensembles urbains au contact du massif dunaire
Cliché : Claude SIMONE, le 8 X 1997.

Le fond des photographies correspondant aux figures 40, 41 et 42 est respectivement orienté vers l'Ouest, l'Est (41a et b), le Sud (41c) et le Nord-Ouest.

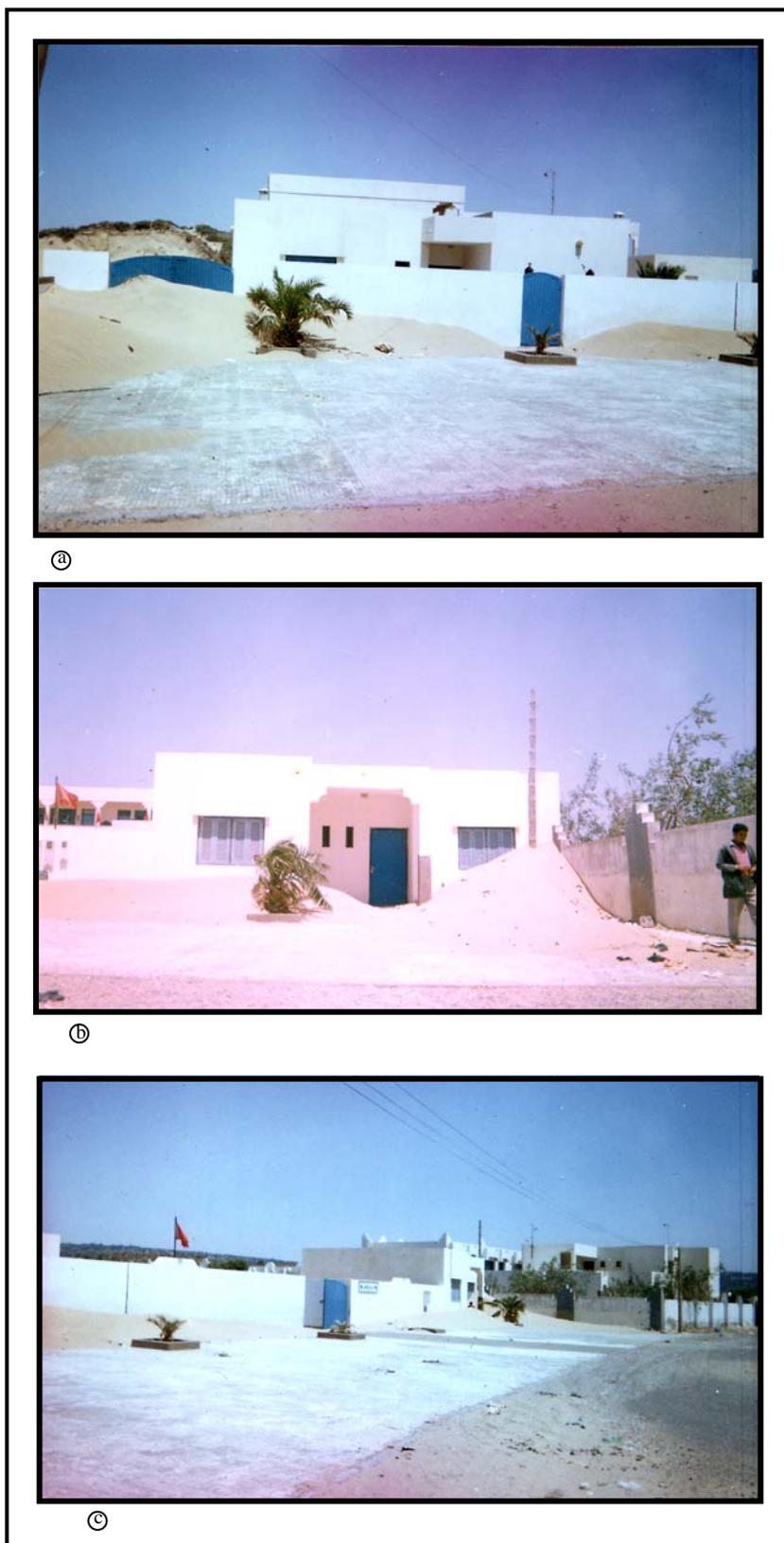


Fig. n° 41 : Amas dunaires bloquant l'entrée des habitations
qui bordent le couloir de déflation principal ; Clichés : Claude SIMONE, le 5 VII 1996.

La comparaison des cartes n° 5 et 6 montre aussi que la pénétration des ensembles urbains est effective et considérable tant au Nord qu'au Sud du géosystème puisqu'elle s'évalue à 200 m au Sud et à 300 m au niveau intermédiaire et au Nord.

Si les développements urbain et forestier ont fait l'objet d'une planification, l'observation de la figure 41 laisse penser que cette planification est à remettre en cause puisque l'expansion urbaine tend à transgresser le couloir de déflation qu'elle a créé en progressant vers l'Est.

La figure 40 illustre l'extension urbaine actuelle qui se poursuit dans la même direction, c'est à dire perpendiculairement à celle de l'alizé ; de même, la figure 42 montre à l'arrière-plan les nouveaux ensembles urbains ou le nouveau quartier résidentiel photographié dans son ensemble. Au premier plan, le couloir de déflation montre un pavage peu abondant (points blancs) fonctionnant comme un reg, alors qu'au second plan des accumulations sableuses de petite taille (10 à 60 cm) se forment telles des nebkas en suivant la rugosité du terrain et les canalisations.



Fig. 42 : Couloir de déflation principal situé entre le nouveau quartier résidentiel et le massif dunaire ;
Cliché : Claude SIMONE, le 5 VII 1996.

L'expansion urbaine et sa pénétration au sein du massif dunaire constitue un impact anthropique majeur dans la mesure où son fonctionnement tout entier en est bouleversé. En effet, le bâti peut avoir une influence notable sur la direction des vents dominants efficaces et en conséquence, sur l'orientation des dunes (cf. chap. IV2B). Les flux aériens sont donc perturbés par ces nouveaux bâtiments qui modifient la dynamique dunaire sur toute la partie occidentale du massif et créent un déséquilibre Est-Ouest au sein de celui-ci que l'on peut constater sur les cartes n° 5 et 6.

Un exemple en est donné par le surcreusement du substratum qui s'est produit le long du nouveau quartier résidentiel orienté grossièrement suivant la direction de l'alizé (cf. carte 6). Ce surcreusement est réalisé par corrasion de la formation limono-argileuse, comme le montre la figure 26 et permet la formation et la stagnation de lagunes (cf. carte 6). L'alignement des lagunes les plus occidentales constitue l'axe d'un couloir de déflation créé entre le bâti et le massif dunaire actuel. Par effet Venturi, une accélération du flux d'air médian se produit ayant pour conséquence d'accroître son efficacité à la corrasion et à la déflation et de surcreuser le substratum. La figure 26 illustrant les souches d'eucalyptus encore scellées mais dégagées par la déflation sur un mètre cinquante, est une photographie prise dans ce couloir en bordure des lagunes.

La figure 40 souligne un autre effet de l'action anthropique urbaine, celui de l'extraction des ressources minérales in situ pour la construction des bâtiments. La demande en sable exigée pour la fabrication du béton et mortier est élevée et les ouvriers n'hésitent pas à se servir sur place puisque le sable abonde. Ces quantités de sable extrait ou de béton fabriqué ne sont pas chiffrées mais la figure 43 illustre également les prélèvements de sable pour les besoins du bâtiment et dans cet exemple, l'impact anthropique déstabilisateur est évident : la dune est tranchée dans toute sa masse, son versant est complètement déséquilibré offrant à

l'alizé des sables facilement mobilisables qui s'écoulent à la base de la dune. Les arbres qui la coiffent sont appelés à s'effondrer et à succomber avec la progression de l'entaille et le premier d'entre eux est sur le point de s'écrouler avec le sable. Le découpage de la dune est grossièrement parallèle à l'alignement du bâti, c'est à dire qu'il suit la direction de l'alizé. La partie supérieure de la dune montre un début d'encroûtement superficiel sur une cinquantaine de centimètres qui a nécessité plusieurs décennies d'efforts grâce aux boisements réalisés et qui aurait pu aboutir à la stabilisation définitive des dunes à plus long terme si les sables n'étaient pas soumis à une redynamisation ponctuelle et répétée. En effet, l'exemple de la figure 43 n'est pas unique ; il se retrouve tout au long de la limite orientale d'Essaouira et l'extension du bâti jusqu'en 1984 réalisée sur près d'un kilomètre et demi de long (cf. carte 6) a dû nécessiter l'entaille des dunes sur tout le flanc occidental du massif aidant ainsi à créer le couloir de déflation où s'est formée la lagune.



Fig. 43 : Entame des dunes pour l'approvisionnement en sable utilisé dans la construction urbaine ;
Cliché : Claude SIMONE, le 5 VII 1996.

La figure 41 indiquant la proximité des édifices urbains et des dunes montre aussi les conséquences des réactivations locales de la dynamique éolienne sous l'effet de l'anthropisation (croissance urbaine et exploitation du sable comme matériau de construction) à travers l'amoncellement de sable contre les façades des maisons et devant leur entrée. Les principaux facteurs agissant sur le mouvement des particules sont la vitesse et la fréquence du vent, l'humidité des sols, l'humidité relative, les paramètres du manteau végétal (rugosité de hauteur définie par la distribution spatiale de la hauteur et de la densité des plantes, épaisseur de la litière), l'évaporation, la rugosité de surface, la présence plus ou moins importante de sels et le développement de croûtes. Cependant les plantes isolées jouent un rôle majeur dans le transport de sable : les mesures effectuées en laboratoire et sur le terrain montrent que lorsque le taux de couvert végétal augmente de 10 à 25 %, le transport chute brusquement et qu'au dessus de 30 % il s'affaiblit nettement (VEYRET et al., 1998). L'extrême complexité de ces facteurs et des relations qu'ils entretiennent en contrôlant les mouvements de particules sous l'effet du vent a fait l'objet de multiples recherches dont les principales ont été menées suivant un ordre chronologique par BAGNOLD (1941), CHEPIL (1945 et 1950), CHEPIL et WOODRUFF (1954 et 1963), CHEPIL et al. (1962), GILLETTE (1977 et 1979), MAINGUET et al. (1980), PYE (1980), TALBOT (1984), MAINGUET (1986), WASSON et NANNINGA (1986), LANCASTER (1985, 1987 et 1988), in COOKE et al. (1993) ; et par BAGNOLD (1951), CAPOT-REY (1963), LETTAU et LETTAU (1969), CLOS-ARCEDUC (1969), GLENNIE (1970), TSOAR (1974), FRYBERGER (1979), LANCASTER (1982), CALLOT (1987), in CALLOT et OULEHRI (1996).

Aussi, des indices de mobilité des sables ont été établis et le plus utilisé d'entre eux est celui de CHEPIL et al. (1962) :

$$C = U_{ma}^3 / (P-E)^2,$$

où C est un facteur d'érosion du vent, U_{ma} est la vitesse moyenne annuelle du vent en mph, (P-E) est l'indice climatique d'humidité selon Thornthwaite (précipitations moins évapotranspiration actuelles). Se basant sur cet indice appliqué au Sahel, TALBOT (1984, in COOKE et al., 1993) estime que la valeur limite d'érosion éolienne est $C = 10$ tandis que les nebkhas et les dunes actives isolées se forment lorsque $5 < C < 10$.

LANCASTER (1987 et 1988, in COOKE et al., 1993) a mis au point deux indices de mobilité des sables dont le second est exprimé par la formule :

$$M = W / (P/PE),$$

où W est le pourcentage de temps pendant lequel le vent souffle à une vitesse supérieure à celle du seuil d'arrachement des particules admise à 4,5 m/s (seuil de vitesse), P est la moyenne annuelle des précipitations en mm et PE la moyenne annuelle de l'évapotranspiration potentielle en mm également. En Afrique australe, dans le Sud-Ouest du désert Kalahari, LANCASTER établit à partir de cet indice de mobilité que les dunes sont totalement actives lorsque $M > 200$; que les bas de versants et les lettres sont stabilisés pour $100 < M < 200$; que seulement les sommets des dunes sont actifs pour $50 < M < 100$ et qu'elles sont complètement stabilisées lorsque $M < 50$.

En appliquant cette formule à Essaouira, on trouve $M = 160$ avec $W = 58\%$ évalué sur la base d'une vitesse seuil d'arrachement de 4,5 m/s à partir de laquelle les sables fins compris entre 100 et 250 μm sont mobilisés (PETROV, 1976, in GENTILE, 1997). Or le diamètre moyen de sept classes d'échantillons prélevés le long d'un transect perpendiculaire au littoral et situé sur la bordure Nord du massif étudié, est compris entre 186 et 222 μm (CHAHBOUN, 1988). De plus, l'indice de classement de ces sables indique un bon tri avec un écart-type de -1,06 σ (CHAHBOUN, 1988). Sachant que le diamètre moyen diminue et que le tri s'améliore en allant vers le Sud comme l'ont montré CHAHBOUN (1988) et GENTILE (1997), la vitesse seuil d'arrachement des particules choisie (4,5 m/s) est en complète adéquation avec la taille des grains. Si l'on se réfère à la classification de LANCASTER (1987, in COOKE et al., 1993), la valeur $M = 160$ [$M = 58 / (287 / 790)$] signifie donc que les versants et les sommets des dunes sont encore actifs malgré les boisements réalisés.

A partir de données liées au volume, à la densité dunaires et à la vitesse en fonction de la taille des grains, certains auteurs aboutissent à des valeurs diverses selon les conditions de transport : en Californie mexicaine, les dunes transversales continues et basses transportent 23 $\text{m}^3/\text{m}/\text{an}$; parmi les champs de barkhanes, celles du Pérou représentent un transport de 5 000 $\text{m}^3/\text{m}/\text{an}$, alors qu'en Mauritanie, à l'aval de la branche occidentale du système global d'action éolienne saharien, elles atteignent seulement 1,1 $\text{m}^3/\text{m}/\text{an}$, contre 55 à 220 $\text{m}^3/\text{m}/\text{an}$ plus à l'amont-vent du système, à Laayoune au Sahara occidental (MAINGUET, 1995, in VEYRET et al., 1998).

A une plus grande échelle, les problèmes liés au transport des sables et auxquels se heurtent les populations locales comme c'est le cas à Essaouira rendent difficile la vie quotidienne :

- atteinte aux sites agricoles situés à l'aval-vent entraînant étouffement des cultures et appauvrissement-aridification des sols,
- puits et seguias obstrués empêchant l'accès à la nappe et l'écoulement de l'eau d'irrigation,
- ophtalmies causées par les particules de sable qui circulent dans la basse atmosphère,
- accélération de l'érosion des bâtiments et
- ensablement des routes d'accès à la ville et des ruelles de la medina (MOUNIR, 1988).

En effet, lors des missions de terrain successives il était courant de constater des accumulations sableuses sur les routes de Marrakech et d'Agadir et notamment, la plus impressionnante sur la RP8 au niveau du pont de l'oued Ksob empêchant la circulation automobile. De même, les ruelles de la medina pourtant protégées par de hauts remparts sont régulièrement envahies de sable que les pouvoirs publics déblaient.

Ces réactivations locales de la dynamique éolienne sont sans aucun doute en rapport avec l'entame des dunes. Les activités d'extraction du sable dunaire sont en complète contradiction avec les travaux de fixation (mécanique et biologique) des dunes. En effet, si un début d'encroûtement superficiel s'est produit grâce aux efforts réalisés, il est évident qu'il est annihilé par l'entame des dunes qui offrent à l'alizé des particules à nouveau mobilisables et mobilisées.

Aussi, comme il se doit à l'issue de travaux de fixation où qu'ils soient réalisés, la législation interdit toute pratique nuisant à la stabilisation des dunes et en particulier l'ablation de sédiments (MOUNIR, 1988 ; HOUMIMYD et ALLAM, 1990). Or, ces activités sont aussi en complète contradiction avec la législation.

L'extraction des ressources minérales sur place vise aussi le substratum dont la texture limono-argileuse (cf. fig. 23) favorise la malléabilité pour la confection de briques de terre sèche ou cuite destinées également à la construction (cf. fig. n° 44, page suivante).

Les dépôts argilo-limoneux sont extraits du substratum dans des bassins creusés à cet effet (fig. 44b) et les briques sont façonnées puis entreposées pour être séchées au soleil et au vent (fig. 44a) et expédiées en vue d'une cuisson.

Dans ce cas d'exploitation des ressources minérales, l'impact anthropique est non seulement matérialisé par le creusement d'une surface déjà surcreusée par la déflation éolienne mais aussi souligné par la coloration rougeâtre des eaux de décantation dans les bassins d'extraction ; alors que les surcreusements « naturels » pouvant être induits par le vent, contiennent une eau grisâtre telle celle qui forme des flaques après une averse (fig. 45).

Cet exemple est illustré par la juxtaposition des deux types de creusements : des bassins « naturels » dont le contour est de forme aléatoire à droite et des bassins d'extraction de forme géométrique à gauche.

Au second plan, les dunes boisées masquent en partie les immeubles du nouveau quartier résidentiel.



Ⓐ



Ⓑ

Fig. 44 : Extraction d'argiles du substratum destinées à la production de briques ;
Clichés : Claude SIMONE, le 8 X 1997.



Fig. 45 : Couleur « naturelle » et couleur artificielle de l'eau contenue dans les bassins d'extraction ;
Cliché : Claude SIMONE, le 8 X 1997.

Depuis 1953 au moins l'urbanisation s'étend vers l'intérieur en direction du massif dunaire (cf. fig. 40, 41 et 42). Le substratum contient un taux d'halite non négligeable (cf. fig. 22, fraction totale). A défaut d'être implantées dans les sables dunaires, les fondations des nouvelles constructions depuis 1953 sont effectuées dans le substratum et la proximité de l'océan et de nappes salées favorisant la présence de chlorure de sodium entraîne le processus d'haloclastie. Ce dernier consiste en une désagrégation mécanique des roches par cristallisation de sels au sein de celles-ci après déshydratation. Il se manifeste dans les zones arides où la présence de sels est conséquente et sur tous les types de roches y compris des sables quartzueux ; ce qui indique l'ampleur de son efficacité. Les régions du globe touchées le plus fortement par l'haloclastie sont le Karakoram (situé aux confins du Pakistan, de l'Inde et de la Chine), la péninsule arabique, l'Australie méridionale, l'Afrique orientale et australe, le Maghreb, Israël, le désert d'Atacama et la Death Valley (VEYRET et al., 1998).

Les cycles de remplissage et d'assèchement des lettres ont été abordés au chapitre IV3 et les eaux souterraines, qu'elles soient océaniques ou issues des aquifères, sont très chargées en sels. Lors d'épisodes humides, les fondations des édifices sont humidifiées au niveau de la frange de capillarité pouvant même être immergées et lors d'épisodes arides, la cristallisation des sels auparavant dissous dans les eaux souterraines se réalise sous l'effet de l'évaporation. Si l'efficacité de ce processus de fragmentation est en général accentuée par la combinaison d'une faible humidité relative, de températures maximales et d'un taux d'évaporation élevés, ainsi que d'une forte variabilité des températures et de l'humidité relative (VEYRET et al., 1998), elle est aussi contrôlée par les types de sels en action. Les études expérimentales ont montré que l'efficacité est la plus forte dans le cas de la mirabilite, intermédiaire dans celui de la halite et faible dans celui du natron (VEYRET et al., 1998).

A Essaouira, les phénomènes consécutifs au processus d'haloclastie devraient donc être modérés dans la mesure où il s'agit d'halite, où l'humidité relative est importante (cf. fig. 6), et où les températures maximales, les variabilités thermique et hygrométrique y sont modérées (cf. tabl. IV et fig. 6).

Cependant, cette modération peut être toute relative puisque l'évaporation y est élevée de même que sa variation (AMBROGGI et THUILLE, 1952 et COCHET et COMBE, 1975,

chap. IV3B). En effet, si les températures et l'hygrométrie représentent les éléments climatiques les moins variables (cf. tabl. IV et fig. 6), l'alizé peut accroître l'évaporation lors de recrudescences périodiques de son efficacité liées au balancement latitudinal du centre d'action que représente l'anticyclone des Açores et par conséquent, à la circulation générale de l'atmosphère.

Une évaporation de 1500 mm/an sur vingt ans a été relevée (AMBROGGI et THUILLE, 1952) alors qu'entre 1952 et 1961 celle-ci s'élève à 780 mm/an (COCHET et COMBE, 1975) ; les deux valeurs étant données par l'évaporomètre Piche et mesurées sur la même station d'Essaouira. Cette variation pluri-annuelle de l'ordre du simple au double montre qu'une série d'années sèches peut exacerber le phénomène d'haloclastie qui se manifeste alors beaucoup plus efficacement. D'autant plus que du gypse cristallisé a été déterminé par diffractométrie des rayons X sur la carotte sédimentaire prélevée dans le substratum (cf. fig. 22) et qu'il peut aider le processus de fragmentation.

Aucune mesure d'haloclastie ayant pu être effectuée préalablement à l'extension actuelle de la ville n'est connue et il semble peu probable qu'elles aient été réalisées avant 1953 donc avant l'extension urbaine figurant sur la carte 6, en raison du peu de connaissances alors acquises sur de tels processus. Par conséquent, il serait bon de prévenir d'éventuels dégâts humains et matériels.

Le développement de l'urbanisation, son extension en direction du massif dunaire et l'exploitation des ressources minérales sont les conséquences d'une forte pression démographique. L'usage forestier de l'espace dunaire en est une autre.

B) L'usage forestier de l'espace dunaire

Les ressources minérales (dunes et substratum) sont exploitées et utilisées pour le secteur économique du bâtiment. Ces ressources extraites du géosystème dunaire constituent des éléments abiotiques mais des éléments biotiques en sont aussi extraits d'une manière également illicite ; il s'agit des végétaux utilisés comme combustible à usage domestique et comme matériau de construction notamment le genévrier de Phénicie.

Dans la répartition des essences par commune, l'évaluation de la superficie forestière d'Essaouira est assimilée à celle de la superficie dunaire (DPA d'Essaouira, 1988 ; in RAFIK, 1989) soulignant ainsi le poids de l'espace dunaire dans l'extension forestière et le fragile équilibre de la périphérie urbaine.

Il est courant de constater sur le terrain un dromadaire ou une mule parcourant les dunes, chargé(e) de branchages utilisé ou vendu en ville et dans les douars (villages) environnants. Cette entorse à la législation de protection des dunes souligne un niveau de vie si bas qu'il est vital de trouver des ressources faciles à se procurer, à portée de main et que l'on peut cueillir facilement. Ainsi, les exploitants sont enclins à enfreindre la loi. Mais, une fois avertis par les forestiers de la DEFCS d'Essaouira, les usagers continuent à pratiquer de tels délits et ceci malgré la connaissance d'une législation protectrice du fragile équilibre du géosystème dunaire. Dressant la liste des facteurs ayant entraîné la phase de régression dans l'évolution de la fixation dunaire, MOUNIR (1988) note en deuxième point, après les délits de pâturage, « les coupes abusives de branchages pratiquées sur le genévrier. Les fagotiers, par dizaines, se servent dans les zones boisées alentour de la ville à raison de deux voyages par jour ». Dans le même sens HOUMIMYD et ALLAM (1990) remarquent malgré les bons résultats obtenus par la plantation d'espèces arborées que de nombreuses contraintes continuent à s'opposer aux objectifs assignés et en particulier que « des prélèvements délictueux directs de ligneux contribuent à renforcer la précarité de ces milieux ».

L'affirmation d'une politique environnementale appliquée au géosystème dunaire d'Essaouira est nécessaire et utile ; les travaux de fixation l'ont démontré. Mais comment le concept ou la culture d'« environnement » sont-ils appréhendés, inculqués, enseignés ou transmis ? Sont-ils réellement et concrètement perçus en terme de fragilité, de précarité, d'instabilité ? Sinon, quels sont les obstacles à la sensibilisation à l'environnement des populations ? Si oui comme il peut sembler évident, s'agissant d'un espace dunaire, alors qu'est-ce qui peut bien motiver la continuité de cet irrédentisme et l'opposition de tels comportements à la protection des dunes ? La misère et l'instinct de survie peuvent très facilement aider à outrepasser la législation et la politique environnementale menée devient alors complètement caduque même si une politique de forte répression accompagne la première (C. SIMONE, 1996).

Le Guide des Techniques de Lutte contre l'Enablement rédigé dans le cadre du projet régional PNUD/FAO RAB 89/034 et intitulé « Stabilisation des Dunes de Sable et Reboisement » a été réédité après le « vif succès » qu'il a connu notamment dans les pays arides lors de sa première publication en 1988 par la FAO et la DANIDA (Agence Danoise pour le Développement International, 1993) préconisant différents types d'aménagements : un aménagement de protection, un aménagement de production, un aménagement cynégétique et un aménagement touristique. S'agissant d'un guide des techniques de lutte contre l'ensablement on peut se poser des questions quant à la viabilité des deux derniers aménagements. Pour exemple, les propositions de l'aménagement touristique font des géosystèmes dunaires des « aires de promenade et d'accueil au public » (FAO et DANIDA, 1993). Il est recommandé de créer à ces fins :

- « des sentiers balisés avec des pancartes d'information,
- des aires de repos,
- des aires de jeu pour les enfants,
- des aires de parcage pour les véhicules,
- des points d'observations ou miradors. »

Est-ce raisonné et raisonnable d'adapter ces types d'aménagement à des espaces dunaires par définition mouvants, instables et précaires ? Il paraît légitime de se poser une telle question.

Aussi, plusieurs propositions favorables à une maintenance destinée à protéger l'espace dunaire d'Essaouira sont préconisées (HOUMIMYD et ALLAM, 1990) :

- « le réhaussement périodique et la réfection permanente des palissades principale et secondaire,
- la refixation des parties ensablées de la dune littorale,
- la revégétalisation des parties échouées de la dune littorale et de la zone de transition,
- l'irrigation des plantations du brise-vent avec la mobilisation permanente d'un camion citerne et d'une équipe d'irrigateurs,
- la fertilisation lors de l'installation du brise-vent en se référant aux particularités des sols dunaires d'Essaouira,
- le regarnis des plantations échouées au niveau du brise-vent,
- le gardiennage permanent au niveau des dunes Nord d'Essaouira pour limiter les effets anthropiques ».

Ce qu'HOUMIMYD et ALLAM appellent les dunes Nord d'Essaouira par rapport au secteur Sud qui s'étend de l'oued ksob au cap Sim environ, correspond au massif dunaire d'Essaouira-Est.

Les moyens à mettre en œuvre pour parvenir à la réalisation de telles propositions sont considérables et onéreux mais cependant nécessaires et utiles si on désire arrêter efficacement la dynamique dunaire en stabilisant le massif sur sa frange occidentale (secteur le plus instable) et par extension sur toute sa superficie.

Si les populations locales exigent des ressources minérales et végétales importantes pour subvenir à leurs besoins, les conséquences de ces prélèvements au sein du massif dunaire s'expriment par une mobilisation accrue des sables empêchant la stabilisation des dunes et entraînant toutes les conséquences citées plus haut entre autres amas dunaires à l'entrée des édifices et sur les voies de circulation.

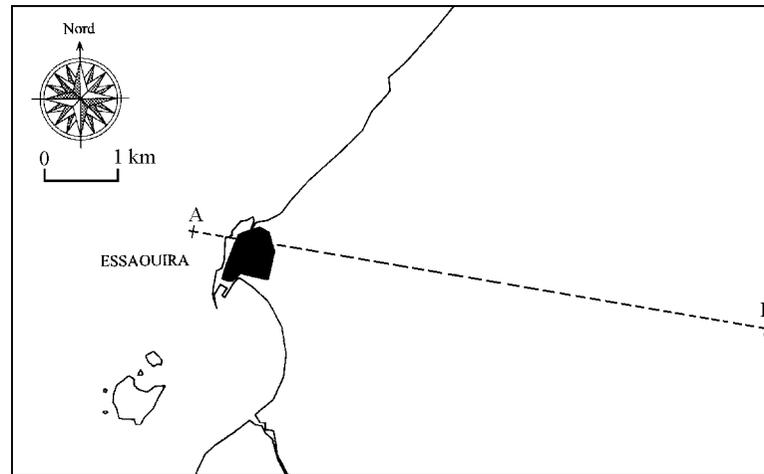
Les éléments biotiques représentés principalement par la phytocénose ayant été pour la majeure partie introduits sont considérés comme anthropiques et intégrés à l'équilibre précaire du système qui dépend des activités humaines développées.

Au total, celles-ci apparaissent déterminantes dans l'équilibre du géosystème. Elle sont caractérisées par une politique de boisements volontariste en vue de stabiliser les dunes mais cette initiative matérialisée par un couvert arboré relativement bien développé aujourd'hui ne suffit pas à les stabiliser et s'oppose à une charge pastorale dense représentée par les caprins et les ovins essentiellement ; à une forte pression démographique reflétée par l'extension urbaine aux dépens des aménagements forestiers stabilisateurs et favorisant une dynamisation éolienne nouvelle et supplémentaire ; et à une rentabilisation du bois produit par les plantations sur les dunes.

Tous ces facteurs anthropiques sont actuellement sur le point de rompre l'équilibre précaire du géosystème et cette rupture de l'équilibre acquis après des décennies d'effort se manifeste par des réactivations éoliennes ponctuelles importantes et dommageables. HOUMIMYD et ALLAM (1990) estiment la situation préoccupante en constatant que la proximité du massif dunaire par rapport à la ville, aux villages et hameaux riverains, l'expose à « une intense fréquentation qui se manifeste par un piétinement assez généralisé et une dégradation auréolaire intéressant surtout les strates arbustive et herbacée ». De telles ouvertures en forme d'auréoles du couvert végétal dunaire libèrent des réservoirs de particules sableuses livrées à la dynamique éolienne comme c'est également le cas avec la pénétration du front urbain sur la bordure occidentale du massif.

La figure 46, page suivante, représente un transect levé sur le terrain à partir d'observations du modelé dunaire et du couvert végétal. Il montre un gradient de pression anthropique décroissant lorsqu'on s'éloigne de l'espace urbain avec une densification du couvert végétal. Ce phénomène entraîne également une densification de la trame dunaire alors qu'à la périphérie proche de la ville, les dunes plus éparées ont du mal à s'ancrer autour des bouquets de végétation laissant la place à des couloirs de déflation. Avec la densification de la trame dunaire, la disparition des plans d'eau n'est que superficielle ; en effet, la perméabilité des sables permet de constituer un réservoir limité à sa base par le substratum argileux et qui alimente la végétation implantée sur les dunes.

Des indices de mobilité des sables ont été proposés et celui de LANCASTER (1987) a été appliqué au géosystème dunaire d'Essaouira ; la valeur $M = 160$ indique une dynamique dunaire toujours active sur les versants et les sommets donc sur la plus grande partie des dunes soulignant la forte magnitude de l'alizé ainsi que la force, la permanence et les contraintes des phénomènes éoliens malgré les efforts de stabilisation réalisés depuis plusieurs décennies.



WNW

ESE

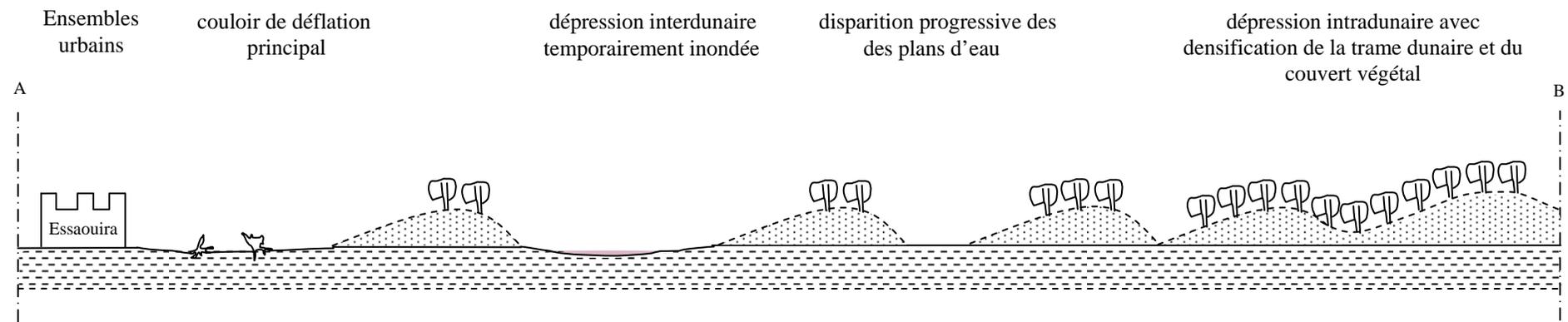


Fig. 46 : Evolution du modelé dunaire en fonction du gradient de pression anthropique le long d'un transect AB perpendiculaire au trait de côte et à la direction de l'alizé.

Conclusion

Formation et dynamique du géosystème dunaire d'Essaouira-Est ont été étudiées suivant une approche systémique à travers l'explication des relations entre éléments abiotiques (lithomasse, aéromasse et hydromasse), biotiques et anthropiques.

La nature et la stratigraphie des formations superficielles sont précisées par les arguments minéralogique et granulométrique montrant un substratum argilo-limoneux qui constitue une « semelle » recouverte en partie par des sables dunaires.

Les processus communs à la dynamique éolienne (déflation et corrasion, transport et accumulation) marquent la périphérie d'Essaouira par la présence d'un massif dunaire qui aurait tendance à se stabiliser. Mais la dynamique dunaire y est tellement intense que l'ablation cumulée de matériel est impressionnante : 1,5 m de sédiments (sables dunaires et argiles du substratum) emportés en un demi-siècle ! Soit une moyenne élevée de 3 cm/an formant des impacts lourds de conséquences : dynamique spatiale élevée, évolution rapide de la topographie, déracinement de la flore en général et des espèces arborées en particulier destinées à stabiliser les sables dunaires. Ces derniers proviennent du Nord et sont prélevés sur l'estran et le cordon dunaire littoral concordant avec les résultats obtenus par BALLAIS et al. (1979) en domaine continental, dans les Zibans en Algérie. En effet, ici comme là-bas, si l'extension des surfaces dunaires progresse vers le Nord, les dépôts qui les constituent proviennent du Nord et non du Sud. Le Sahara occidental n'est pas un pourvoyeur de sables à l'inverse des régions situées au Nord.

L'hydromasse locale provient de deux sources, l'atmosphère et l'océan et elle opère à deux niveaux ou deux géohorizons différents : en surface et en profondeur. En surface, les eaux météoriques dont la variabilité est saisonnière, annuelle et pluriannuelle, alimentent des mares temporaires se formant dans les lettes. Par ruissellement, ces eaux apportent des particules sédimentaires arrachées aux talus érodés des plateaux intérieurs (falaises mortes ouljiennes et moghrébienne) et elles se déposent dans les dépressions. Les eaux de pluies entraînent aussi par infiltration des ions calcium issus des carbonates accumulés dans les dunes. Ainsi les mesures effectuées sur ces eaux révèlent une salinité relativement élevée. Celle-ci est liée à la multiplicité des cycles de remplissage et d'assèchement des dépressions interdunaires y entraînant une concentration en sels. Mais ces derniers se trouvent aussi à l'état dissous dans les eaux océaniques et les aquifères qui constituent ainsi à la fois des sources d'apport et des vecteurs.

Les phytolithes forment un élément abiotique particulier puisqu'ils constituent un indicateur de la dynamique végétale ; plus qu'un témoin des relations entre éléments abiotiques et biotiques, ces derniers forment un traceur du cycle biogéochimique du silicium. Ils permettent d'évaluer l'aridité édaphique et l'indice climatique du géosystème dunaire et de les comparer à ceux d'autres géosystèmes. Ces calculs font apparaître que les phytolithes constituent un marqueur fiable puisque l'indice d'aridité édaphique local le plus élevé (93 %) correspond à celui calculé sur les sols dunaires les plus instables et précaires ; mais les phytolithes sont aussi utilisés dans l'objectif d'effectuer une recherche paléoenvironnementale. Les assemblages modernes réalisés et calibrés sur la végétation actuelle peuvent désormais être comparés aux assemblages fossiles qui restent à effectuer à partir d'un bon site d'échantillonnage. De plus, le morphotype en « entonnoir » est nouveau donc non répertorié et il pourrait permettre d'étendre et de préciser la classification actuelle.

Enfin, l'étude de l'élément anthropique illustre l'instable et fragile équilibre du géosystème malgré les efforts de boisements réalisés depuis près d'un siècle. Surpâturage, développement urbain et extension de la surface bâtie nécessitent l'exploitation des ressources minérales locales (sables et argiles) ; la pression démographique force l'exploitation des ressources

végétales implantées et leur réduction ce qui, au total, menace la stabilisation des dunes (phytomasse appauvrie et lithomasse ameublie) en renforçant la dynamique dunaire.

Une fois montré comment éléments biotiques, abiotiques et anthropique s'intègrent au géosystème d'Essaouira-Est, le structurent et quelle est leur dynamique, une meilleure connaissance de ce dernier permet de dresser un schéma de son fonctionnement général sans déséquilibre apparent et un schéma avec déséquilibre d'origine anthropique. Les figures 47 et 48 ci-dessous illustrent respectivement ces caractéristiques en s'appuyant sur la figure 4 présentée en introduction générale.

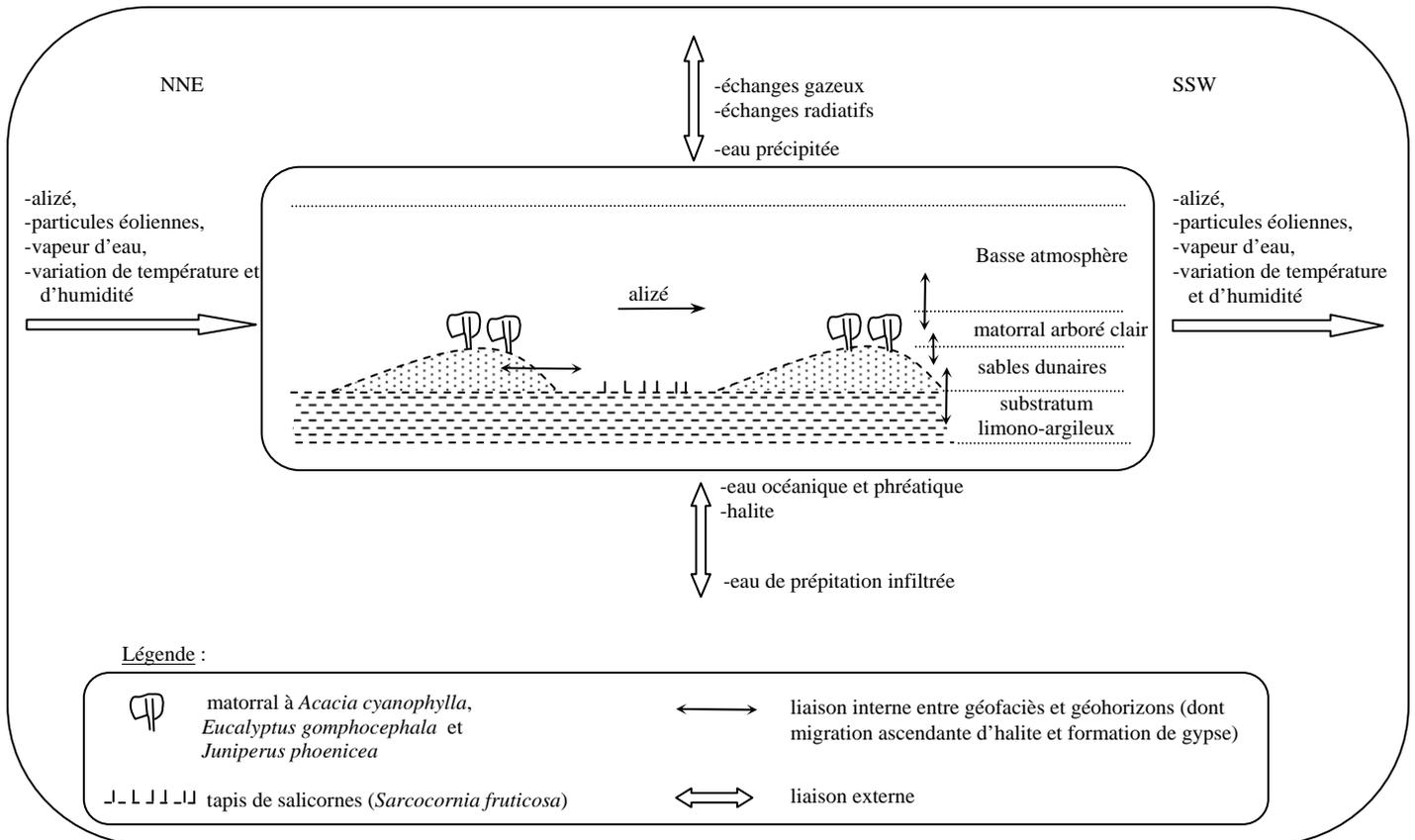


Fig. 47 : Fonctionnement général du géosystème dunaire d'Essaouira suivant la direction de l'alizé.

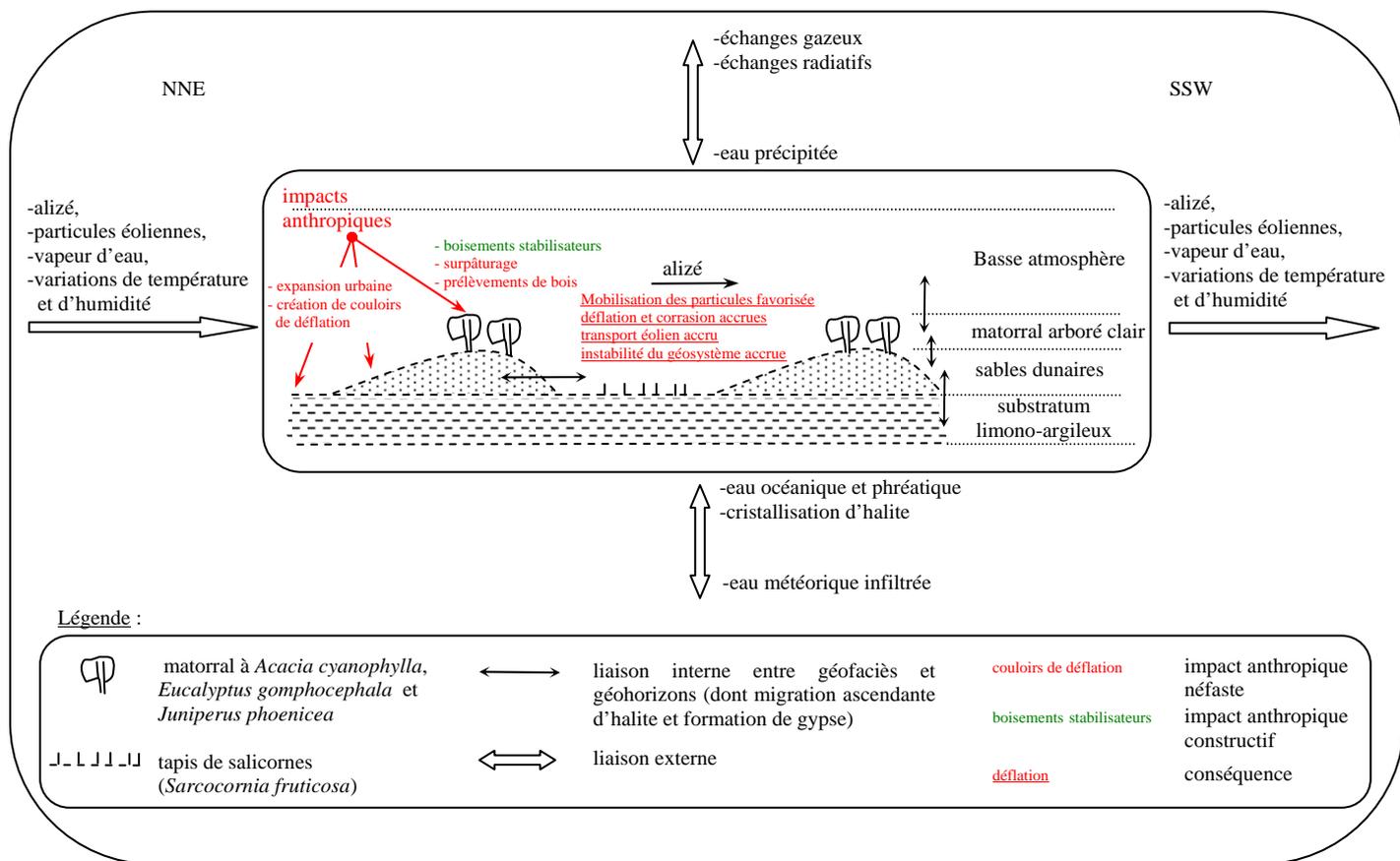


Fig. 48 : Fonctionnement général du géosystème dunaire sous l'emprise anthropique actuelle.

L'étude de la formation et de la dynamique du géosystème d'Essaouira-Est a permis de déterminer sa structure et sa dynamique actuelles. Pour le passé, leur connaissance nécessite de rechercher les états successifs qu'il a connus et ont marqué son évolution ou son comportement. Ceux-ci sont retracés à travers l'archéologie du géosystème.

TROISIEME PARTIE
L'ARCHEOLOGIE DU GEOSYSTEME

Introduction

« Tout ce pays derrière le Cap (Ghir) est fait de montagnes fort hautes que l'on aperçoit au-dessus de lui... Il y a trois signes à quoi l'on peut bien le reconnaître, à savoir ledit pays, et le pays plat comme une table qui vient finir au bout du Cap, et le 3^{ème} signe, c'est que la côte se replie vers l'ESE... »

Duarte Pacheco Pereira, Esmeraldo de Situ Orbis, 1506-1521

Retracer l'archéologie du géosystème suppose d'expliquer son évolution à travers sa dimension physique, abiotique et ses dimensions biotique et anthropique, sans isoler chacune de ces trois parties puisqu'elles sont intimement liées et interdépendantes. Focalisant les recherches sur le matériel dunaire qui bien que meuble n'en est pas moins dur physiquement (la dureté du quartz est 7), il semble naturel de rechercher quels étaient le relief et le paysage qui ont précédé le géosystème en remontant le temps. Pour cela, il est impératif de commencer par l'histoire du substratum et les conditions de sa formation.

Si la dynamique actuelle du géosystème peut être évaluée et analysée à travers des données issues de mesures effectuées sur des séries d'échantillons, il n'en va pas de même pour le passé malgré la possibilité de relever également des variables quantitatives et qualitatives en profondeur. En effet, lorsqu'il s'agit d'héritages, la perception, l'observation et la compréhension du terrain ne sont plus possibles ou sont insuffisantes notamment pour ce qui concerne les formations végétales fossiles. C'est tout le problème de l'actualisme. En revanche et même si c'est plus délicat que pour l'actuel, les formations sédimentaires anciennes peuvent apparaître dans des coupes stratigraphiques ou affleurer en constituant des formes héritées. L'explication de telles séquences sédimentaires et de leur morphologie reste possible. Et, dans le cas d'Essaouira, elle est nécessaire si l'on veut comprendre l'évolution du géosystème qui a conduit à l'aboutissement du géosystème dunaire actuel. C'est l'objet des enseignements du carottage qui nous amènent à lancer des hypothèses sur la formation sous-jacente au massif dunaire et à les discuter de manière à en tirer une interprétation.

L'existence d'un ou de plusieurs systèmes dunaires selon la terminologie de WEISROCK et BARRADA (1998) accumulé(s) sur le substratum limono-argileux peut être liée à des processus physiques directement liés à une péjoration climatique aride ou au développement d'un cordon dunaire littoral concomitant d'un haut niveau marin. Mais l'existence d'un système dunaire peut être aussi le résultat d'une emprise anthropique sur le milieu, fruit d'un impact complexe lié à la synergie de multiples activités à l'échelle historique voire préhistorique. Elle peut aussi représenter une conjonction, une combinaison de facteurs climato-anthropiques. Ainsi, dès que la composante anthropique devient prépondérante dans la modification des géosystèmes, la situation devient plus complexe, l'explication plus difficile et les recherches doivent prendre en compte cette variable. C'est pourquoi il semble naturel et nécessaire de retracer les étapes de l'anthropisation régionale afin de mieux mesurer et comprendre quel a pu être le poids du facteur humain dans l'organisation de l'espace dunaire souiri.

Les deux chapitres qui suivent mettent donc en jeu d'une part, l'évolution du substratum déterminée par des facteurs physiques et d'autre part le façonnement contrôlé ou non du paysage par les sociétés. Ces deux axes de réflexion, pour autant séparés qu'ils sont, ne sauraient être considérés dans le cadre de l'approche systémique d'une manière cloisonnée.

C'est en ce sens que les termes « archéologie du géosystème » sont employés et la datation ¹⁴C obtenue à la base de la carotte sédimentaire permet de situer dans le temps le géosystème d'une manière absolue.

CHAPITRE VII

LES ENSEIGNEMENTS DU CAROTTAGE

« Be glad that you have some little knowledge of something that you cannot penetrate. Don't stop to marvel. »
Albert Einstein (Life, 30-V-1955)

La colonne sédimentaire prélevée dans le fond d'une dépression interdunaire et présentée au chapitre II a fait l'objet d'analyses granulométriques et d'analyses portant sur la diffractométrie X (cf. fig. 22). L'étude des données granulométriques relayée par la comparaison des logs minéralogiques permet d'avancer que la formation limono-argileuse s'est constituée par un comblement lagunaire.

La partie basale de la carotte sédimentaire a été soumise à une datation au carbone 14 qui comparée à celles effectuées dans d'autres régions permet de caler ou de placer la séquence sédimentaire du soubassement dans la chronologie du Maghreb.

1) Le substratum : un comblement lagunaire

Le géosystème dunaire ne saurait exister sans son substratum. Avec toute la prudence qui s'impose, la recherche des conditions de sa formation peut se fonder sur la sédimentologie et plus particulièrement sur la méthode granulométrique complétée par l'étude comparée de la distribution qualitative et quantitative des phases minérales le long du profil décrit sur la figure n° 22. Mais l'explication qui suit nécessite probablement le croisement de données complémentaires permettant d'étayer plus solidement encore l'argumentation avancée.

A) Analyses granulométriques

Elles ont été réalisées sur le granulomètre laser Malvern et prennent en compte le pourcentage volumique des sédiments car les particules mesurées sont considérées comme des sphères par le granulomètre. Ces analyses sont restituées à travers les distributions granulométriques représentées par les figures n° 49 à 60 et les tableaux XXVI, XXVII et XXVIII plus bas. Sur les figures, les graduations de l'axe des abscisses suivent une échelle logarithmique. Le premier tableau présente les paramètres granulométriques par rapport à la moyenne, le deuxième et le troisième les paramètres granulométriques par rapport à la médiane (quantiles et intervalles interquantiles). L'avantage de ces deux présentations est d'effectuer les calculs statistiques et les comparaisons quel que soit le type de courbe (distribution gaussienne ou distribution dissymétrique). Cela permet donc de passer d'un type à l'autre sans problème et en toute cohérence.

Les échantillons du substratum correspondent à ceux du profil interdunaire indiqué en figure n° 22 et s'étendent de dep55 à dep5. La constitution générale du sédiment est celle d'une argile plastique faiblement calcaire sans structure apparente (fig. 14, 22 et tabl. XIVbis plus bas).

L'échantillon sd correspond au sol prélevé au centre d'une dépression intradunaire boisée refétant les dépôts éoliens dont l'évolution est marquée par un début de pédogénèse.

Le diamètre moyen (tabl. XXVI) est la taille moyenne des grains ; c'est en quelque sorte le centre de gravité de la population.

L'écart-type indique le degré de classement pour une distribution gaussienne ou normale et plus il est bas, meilleur est le tri.

Les indices d'asymétrie (Skewness, sK_i) et d'aplatissement (Kurtosis, K) sont des outils statistiques qui reflètent la morphologie de la courbe de fréquence simple et ils sont utilisés pour vérifier si celle-ci obéit à la loi normale, c'est à dire au modèle idéal de Laplace-Gauss.

Dans le cas d'une courbe gaussienne, sK_i et K valent chacun zéro. Les intervalles de tolérance pour lesquels ces indices sont acceptables et montrent que la variable analysée remplit les conditions de normalité sont pour sK_i [-1 ; +1] et pour K [-3 ; +3]. Plus les valeurs s'éloignent de zéro, plus la courbe s'écarte de la morphologie gaussienne et dans le cas où elles sortent des intervalles de tolérance, il faut avoir recours à d'autres outils statistiques tels la médiane et les quantiles sous peine d'en tirer une interprétation biaisée (GROUPE CHADULE, 1987).

L'examen du tableau XXVI montre pour chacun des deux tests (Skewness et Kurtosis) que les valeurs des variables analysées sortent largement de l'intervalle de tolérance et parfois s'en éloignent beaucoup ($sK_i = 2,6 ; 2,2 ; 3,4 ; 2,8 ; 2,4$ et $K = 8,6 ; 5,4 ; 13,7 ; 9,5 ; 7,1$). Seul un échantillon sur douze (sd) remplit les conditions de normalité avec $sK_i = 0,636$ et $K = -0,174$ et peut être analysé avec les outils statistiques relatifs à la moyenne. C'est la raison pour laquelle l'analyse granulométrique de la série d'échantillons portera sur les paramètres relatifs à la médiane (tabl. XXVII et XXVIII).

La médiane est la valeur statistique qui partage une population en deux effectifs égaux. Elle situe la hauteur de la taille des grains ; plus elle est élevée, plus la fraction granulométrique est grossière. Dans le tableau XXVII sont portées deux médianes : celle de la fraction totale et celle de la fraction exclusivement sableuse ($0,050 \text{ mm} < F < 2 \text{ mm}$).

L'indice de dispersion (span en Anglais se traduisant par « envergure » ou étendue, amplitude) correspond à un coefficient interquantile $[(D_9 - D_1) / D_5]$ où $(D_9 - D_1)$ est un intervalle interquantile qui embrasse 80 % de la distribution (intervalle de Kelley) et D_5 (le cinquième décile) est la médiane. Il indique le degré de classement du sédiment et comme l'écart-type, plus il est bas, meilleur est le tri.

Les courbes de fréquence représentant le substratum (dep55 à dep5) sont toutes à peu près semblables (fig. 49 à 59) ; en effet, les paramètres granulométriques associés n'enregistrent pas ou presque de très grands écarts (tabl. XXVII) ; elles sont unimodales excepté dep5 qui comporte deux modes indiquant un matériel relativement mal trié.

Fréquemment, le mélange de matériel autochtone et allochtone se traduit par la bimodalité (CHAMLEY, 1987) et plus celle-ci est marquée, plus le mélange est significatif et proportionnellement élevé. Dans le cas de dep5 un faible mélange est possible et peut être à l'origine de ce type de distribution. L'échantillon représente en effet, la surface sommitale du substratum et le fond des cuvettes interdunaires. C'est une surface de contact où le matériel éolien (sables biodétritiques) soufflé par l'alizé constitue une fine pellicule qui recouvre et s'enfouit sur quelques millimètres dans le matériel argilo-limoneux du substratum. Le premier mode est centré sur le diamètre $9 \mu\text{m}$ et le second sur $42 \mu\text{m}$ (tabl. XXVII) indiquant la prédominance des dépôts fins sur les dépôts plus grossiers ; 50 % des particules ont un diamètre inférieur à $10 \mu\text{m}$ (tabl. XXVII et XXVIII).

La granulométrie du profil diminue de la profondeur vers la surface ; elle est plus élevée de dep55 à dep40 avec une médiane variant de 30 à 25 μm en passant par 68 et 46 μm pour dep50 et dep45 puis s'affine vers le haut jusqu'à 10 μm pour dep5 (tabl. XXVII). Le diamètre

modal suit aussi cette évolution avec une augmentation des valeurs pour dep50 et dep45 (respectivement 115 et 69 μm) pour chuter à 11 et 9 μm au sommet du profil (tabl. XXVII). On retrouve encore cette même évolution pour la fraction sableuse dont la médiane enregistre des valeurs plus élevées pour dep50 et dep45 (120 et 89 μm). Mais au niveau dep10 celle-ci atteint 90 μm indiquant une recrudescence des sables dont le terme apparaît sur la colonne sédimentaire (fig. 14 et 22). Les valeurs des quantiles illustrent aussi ces variations texturales (tabl. XXVIII) ; pour dep50 et dep45 les quantiles 20 %, 50 %, 80 % et 90 % enregistrent des valeurs plus élevées se détachant nettement de la série (respectivement 20, 68, 154, 210 μm et 13, 46, 101, 141 μm). Dep10 traduit encore le passage sableux avec un diamètre relativement élevé (114 μm) au quantile 90 %.

L'indice de dispersion par rapport à la médiane suit quantitativement l'évolution inverse mais qualitativement les mêmes variations ou pesque, c'est à dire qu'il fournit des faibles valeurs (2,975 et 2,924) pour dep50 et dep45 (tabl. XXVII) indiquant le meilleur classement au sein du substratum. En revanche il illustre le plus mauvais tri pour dep10 avec 6,887. Ces résultats mettent en valeur un passage sableux en profondeur assez marqué sur au moins deux niveaux dep50 et dep45 alors que cette évolution si elle existe visuellement et qualitativement au niveau dep10 (fig. 14) n'est pas suffisamment accusée pour être quantifiée et prise en compte par les paramètres granulométriques. Il peut s'agir d'un épisode dunaire mettant en jeu des processus éoliens significatifs qui disparaissent à partir du niveau dep40.

L'échantillon sd (sol dunaire) se distingue nettement de ceux du substratum par la morphologie de sa courbe (fréquence simple et cumulée) très différente (fig. 60) ; la courbe des pourcentages cumulés est décalée vers des valeurs plus élevées à droite (fig. 60b) et illustre un matériel plus grossier avec une médiane à 180 μm (tabl. XXVII). Tous les paramètres granulométriques de sd se démarquent nettement de ceux des échantillons interdunaires excepté le nombre de modes (tableaux XXVII et XXVIII). Ce matériel est aussi relativement mieux trié que les précédents avec l'indice de dispersion minimum (2,075, tabl. XXVII) et corrélativement une courbe cumulée plus redressée (fig. 60b) confirmant non seulement un très bon tri effectué par le transport éolien mais aussi que la météorisation et l'altération géochimique s'exerçant au sein de la cuvette interdunaire n'a pas achevé de transformer la fraction totale en une fraction granulométrique plus fine de type lacustre ou fluvio-lacustre. Les sédiments constitués de sables fins et moyens pour l'essentiel (tabl. XXVIII) présentent encore un faciès éolien marqué bien qu'ils soient en cours de transformation (désagrégation mécanique et altération géochimique). Ainsi la faible évolution indique soit une dynamique de ruissellement peu active concordant avec l'analyse de terrain (dépôts dunaires favorisant une infiltration ou une percolation importante et faible pluviométrie associée avec 279 mm/an), soit un matériel sédimentaire jeune ; les deux pouvant être associés, ce qui semble être le cas ici.

Dans l'ensemble les courbes granulométriques indiquent clairement deux modes de dépôt différents entre les échantillons du profil interdunaire, dep (fig.49 à 59) et celui des dunes, sd (fig. 60) signifiant un hydrodynamisme calme de type décantation pour les premiers et une dynamique de type éolien pour le second. La lecture des tableaux XXVII et XXVIII indique que l'on passe d'une granulométrie fine pour les sédiments interdunaires à une granulométrie nettement plus grossière pour les dépôts dunaires.

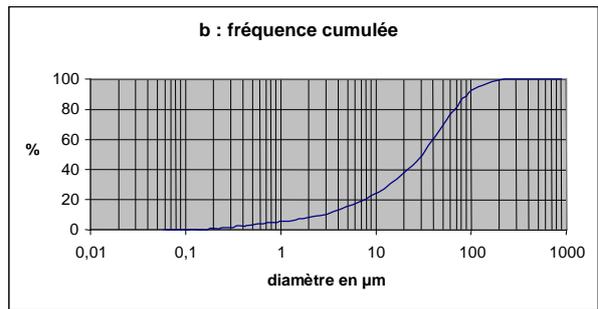
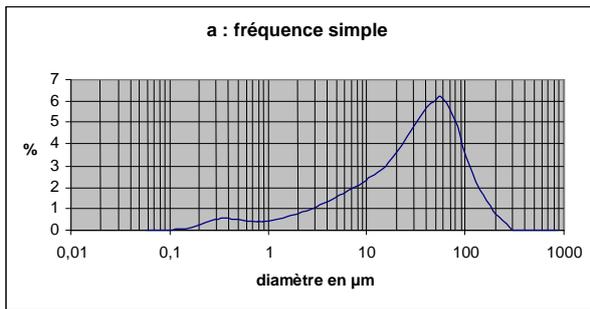


Figure n° 49 : Distribution granulométrique de dep55

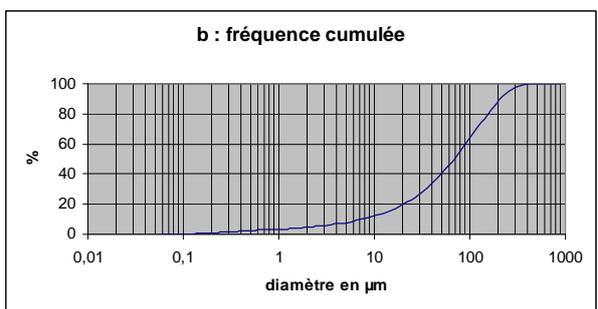
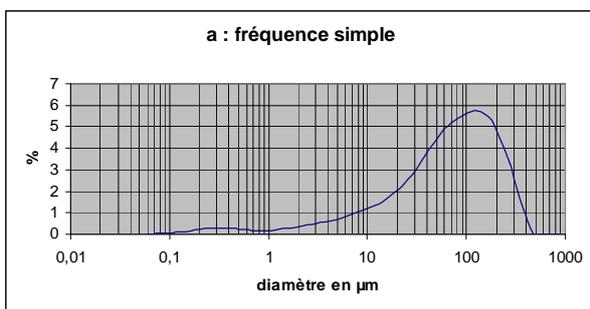


Figure n° 50 : Distribution granulométrique de dep50

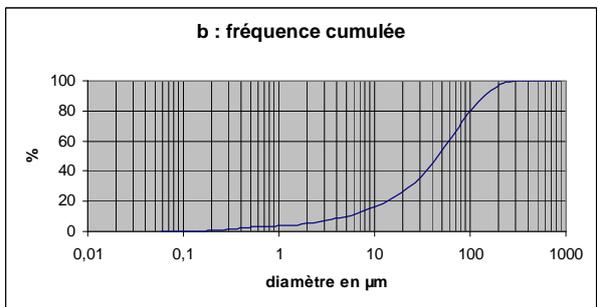
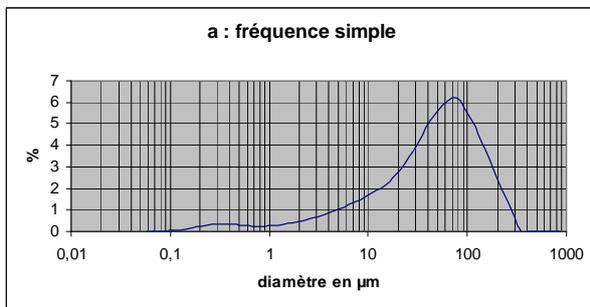


Figure n° 51 : Distribution granulométrique de dep45

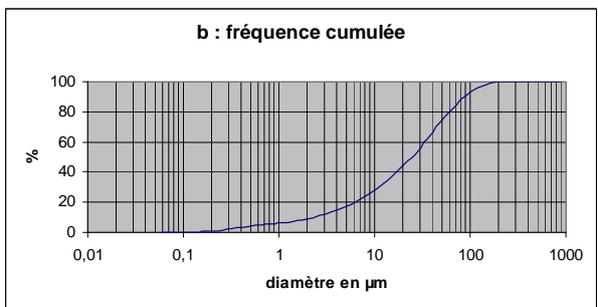
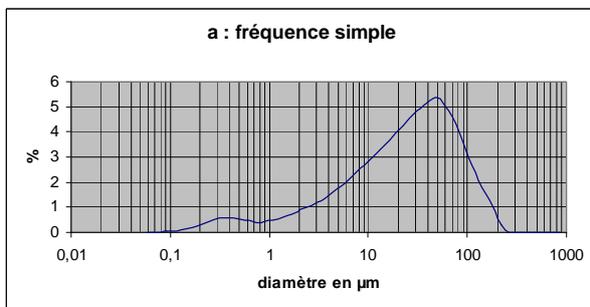


Figure n° 52 : Distribution granulométrique de dep40

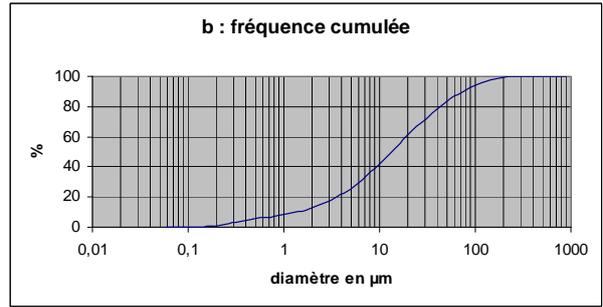
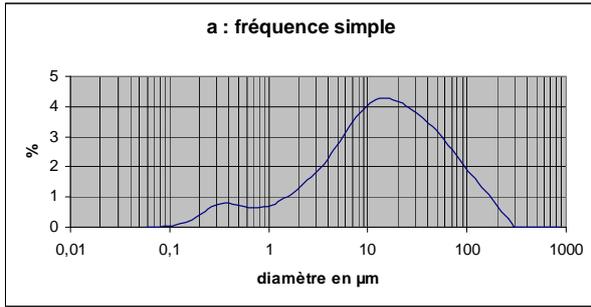


Figure n° 53 : Distribution granulométrique de dep35

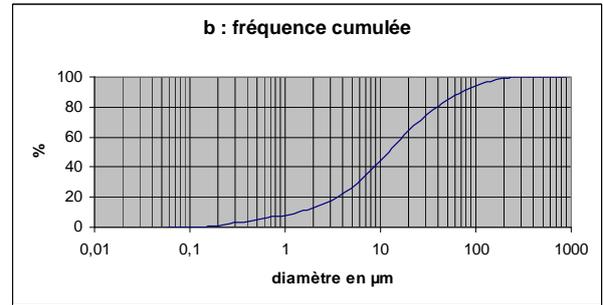
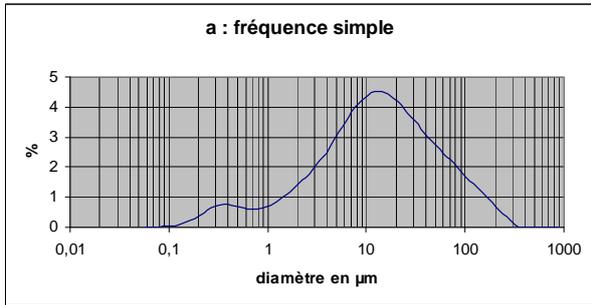


Figure n° 54 : Distribution granulométrique de dep30

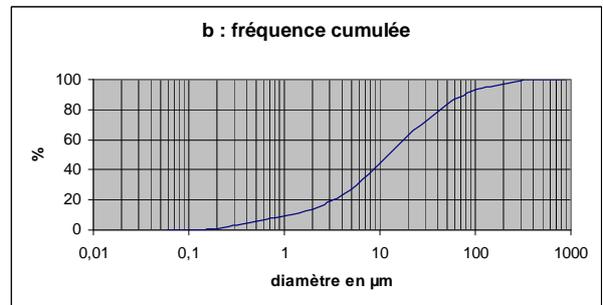
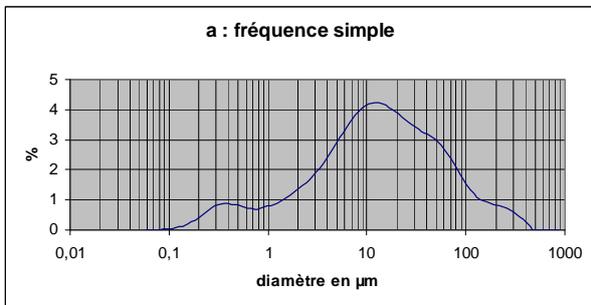


Figure n° 55 : Distribution granulométrique de dep25

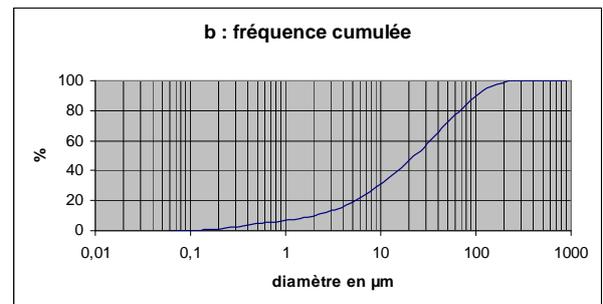
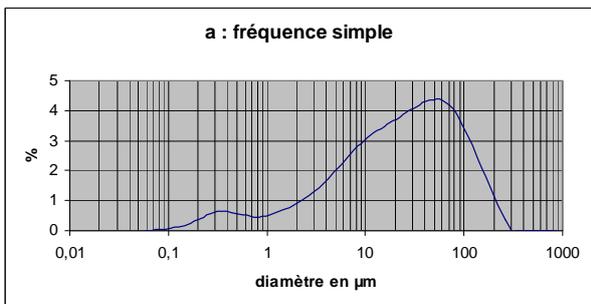


Figure n° 56 : Distribution granulométrique de dep20

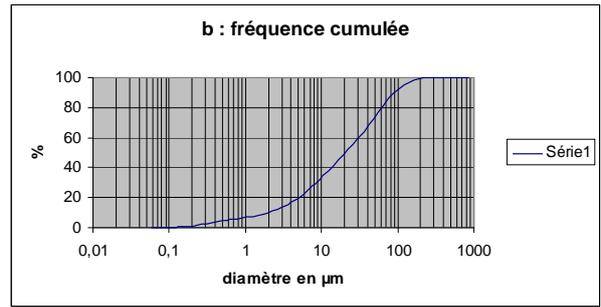
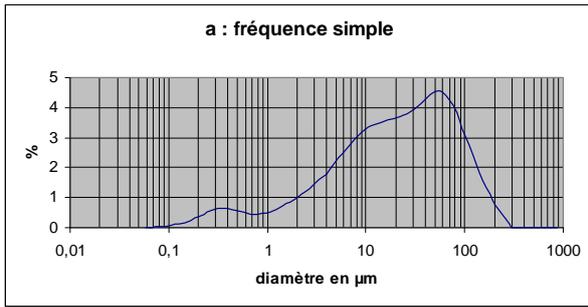


Figure n° 57 : Distribution granulométrique de dep15

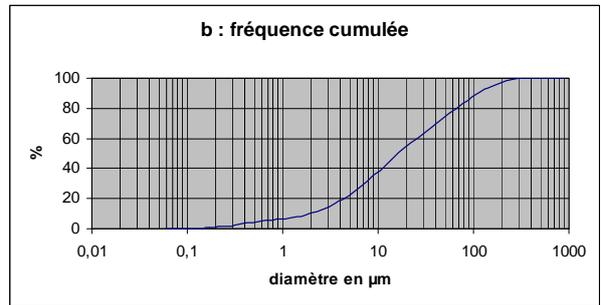
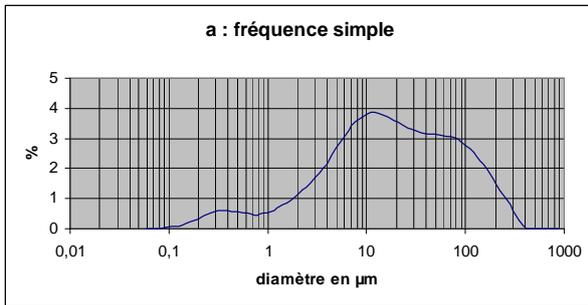


Figure n° 58 : Distribution granulométrique de dep10

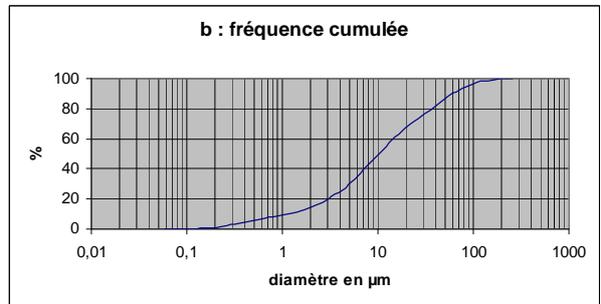
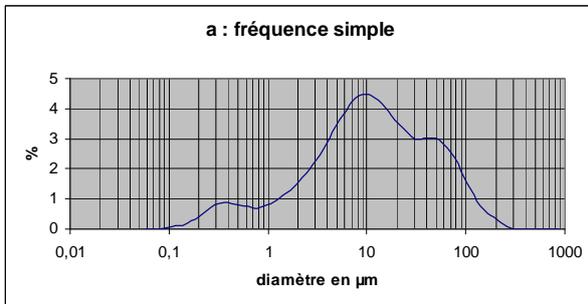


Figure n° 59 : Distribution granulométrique de dep5

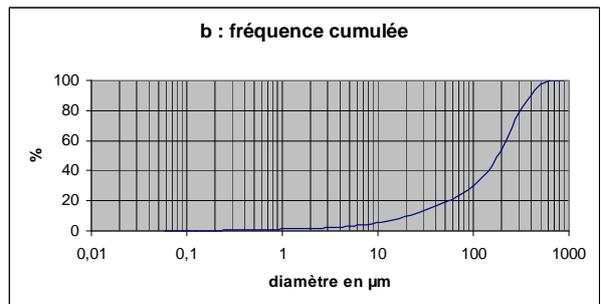
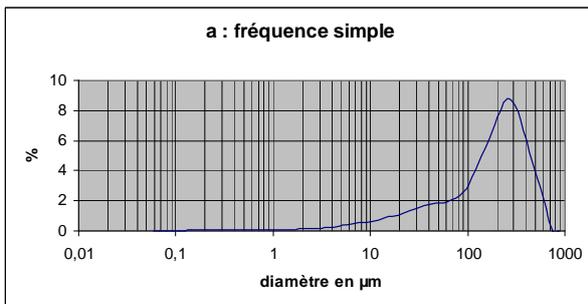


Figure n° 60 : Distribution granulométrique de sd

Tableau n° XXVI : Paramètres granulométriques par rapport à la moyenne

Echantillons	Diamètre Moyen (μm)	Indice de dispersion (écart-type ou standard deviation)	Indice d'asymétrie (Skewness)	Indice d'aplatissement (Kurtosis)
<i>Sd</i>	196	0,129	0,636	-0,174
<i>Dep5</i>	23	0,168	2,605	8,602
<i>Dep10</i>	40	0,158	2,249	5,482
<i>Dep15</i>	36	0,149	1,860	3,950
<i>Dep20</i>	39	0,145	1,748	3,143
<i>Dep25</i>	31	0,165	3,406	13,740
<i>Dep30</i>	27	0,171	2,828	9,526
<i>Dep35</i>	28	0,164	2,487	7,150
<i>Dep40</i>	36	0,159	1,621	2,813
<i>Dep45</i>	62	0,149	1,355	1,727
<i>Dep50</i>	91	0,111	1,152	0,844
<i>Dep55</i>	41	0,186	1,682	3,569

Tableau n° XXVII : Paramètres granulométriques par rapport à la médiane

Echantillons	Médiane (μm) fraction totale	indice de dispersion relative (span)	Nombre de modes	Diamètre modal (μm)	Médiane (μm) fraction sableuse
<i>Sd</i>	180	2,075	1	245	220
<i>Dep5</i>	10	5,932	2	9 42	75
<i>Dep10</i>	16	6,887	1	11	90
<i>Dep15</i>	21	4,331	1	50	78
<i>Dep20</i>	23	4,362	1	51	80
<i>Dep25</i>	12	6,193	1	11	88
<i>Dep30</i>	12	5,775	1	12	80
<i>Dep35</i>	13	5,455	1	14	80
<i>Dep40</i>	25	3,466	1	45	76
<i>Dep45</i>	46	2,924	1	69	89
<i>Dep50</i>	68	2,975	1	115	120
<i>Dep55</i>	30	2,986	1	52	75

Tabl. XXVIII : Distribution granulométrique des quantiles en μm

quantiles échant.	10 %	20 %	50 %	80 %	90 %	100 %
<i>Sd</i>	21	54	180	314	396	556
<i>Dep5</i>	1	3	10	37	62	222
<i>Dep10</i>	2	4	16	66	114	302
<i>Dep15</i>	2	5	21	61	91	222
<i>Dep20</i>	2	5	23	67	101	222
<i>Dep25</i>	1	3	12	43	77	351
<i>Dep30</i>	1	4	12	39	72	259
<i>Dep35</i>	1	4	13	43	74	222
<i>Dep40</i>	2	6	25	61	87	191
<i>Dep45</i>	5	13	46	101	141	259
<i>Dep50</i>	7	20	68	154	210	351
<i>Dep55</i>	3	7	30	67	93	222

B) Comparaison des logs minéralogiques

Le contenu de ce paragraphe est fondé sur le commentaire des distributions des phases minérales présentées sur la figure 22 de manière à comparer chacun des niveaux sédimentaires de la profondeur jusqu'à la surface.

La discussion engagée au chapitre IV3B a permis de déduire que la présence d'halite est liée à un apport océanique mis en valeur par une phase d'évaporation majeure, l'hypothèse du transport éolien étant exclue ou mineure. La cristallisation de gypse est également favorisée par l'évaporation.

Par comparaison des logs « fraction totale » et « fraction < 2µm » (fig. 22), les proportions d'halite alternent avec les taux de gypse tout au long de la carotte sauf pour dep5 où ils coïncident et sont équivalents avec des valeurs respectives relativement élevées de 7 % et 6 %. Ceci montre qu'au niveau de dep5 les processus actuels supra-sédimentaires se distinguent de processus paléo-synsédimentaires et pourraient exprimer une perturbation actuelle ou des phénomènes concomitants ; ces variations minéralogiques sont corroborées par la granulométrie (fig. 23 et tabl. XXVII).

Aussi le log « fraction totale » indique une évolution des phyllosilicates inverse de celle de la calcite. Cette dernière ne suit pas celle d'un dépôt synsédimentaire contrairement aux phyllosilicates mais augmente vers la surface et n'est donc pas issue d'une roche carbonatée sous-jacente. Elle provient d'un pôle de calcitisation superficiel (haut du log) qui pourrait représenter l'action des eaux météoriques sur les bioclastes marins très présents dans les dunes mais aussi sur les tests d'organismes paraliques, les particules biogéniques directement produites par des éléments biotiques tels que bactéries et cyanophycées ou sur des particules carbonatées précipitant sous l'effet de la photosynthèse comme l'observe CORRE (in JEFTIC et al., 1992) dans le delta du Rhône.

Sur le même log la dolomite comme les phyllosilicates suit une évolution inverse de celle de la calcite et de plus, est absente dans les dunes. Une rupture sensible se produit pour la dolomite entre dep30 et dep25 alors qu'elle est plus marquée pour la calcite entre dep35 et dep40 pouvant symboliser une surface de contact entre un coin salé et une nappe plus douce ; les eaux marines étant plus magnésiennes que les eaux douces.

En comparant le premier et le troisième log (« fraction totale » et « phyllosilicates ») une évolution semblable pour les phyllosilicates et la dolomite (premier log), et la kaolinite (troisième log) est observée. Ces trois taxons sont considérables tout au long du profil et marquent une rupture nette entre dep5 et les dunes (échantillons versants et sommets).

Aussi les taux de kaolinite sont positivement corrélés à ceux de l'halite tout au long du profil. Ils sont les plus élevés à dep40, dep30, dep20 et dep5 avec respectivement 32 %, 36 %, 33 % et 32 % contre 3 %, 6 %, 3 % et 7 % pour l'halite. Les taux les plus faibles étant ceux de dep55, dep50, dep45, dep35, dep25 et dep15 avec respectivement 29 %, 31 %, 30 %, 30 %, 25 % et 31 % contre 2 %, 2 %, 1 %, 2,5 %, 1 % et 1 % pour l'halite.

D'un autre côté, l'indice de kaolinite s'affaiblit corrélativement à une augmentation de celui de l'illite, de la chlorite ou des deux (log « phyllosilicates »). C'est le cas pour dep55, dep45, dep35, dep25, dep15 et dep5 avec respectivement 29 %, 30 %, 30 %, 25 %, 31 % et 32 % alors qu'il peut atteindre 36 % et 35 % à dep30 et dep10. Parallèlement à ces « pulsations », l'évolution du taux du gypse montre une corrélation négative avec celle de la kaolinite (logs « fraction < 2 µm » et « phyllosilicates »). Celui-ci atteint ses maxima lorsque le taux de kaolinite est relativement faible. On peut l'observer à dep55, dep45, dep25, dep15 et dep5

avec respectivement 2 %, 2%, 9 %, 7 % et 6 % pour le gypse. Il se dégage donc une corrélation positive entre le gypse et le couple illite-chlorite.

L'analyse des distributions minérales du profil interdunaire et des dunes (fig. 22) met en relief d'une part des processus paléo-synsédimentaires auxquels participent les phyllosilicates, la dolomite et la halite ; et d'autre part des processus actuels supra-sédimentaires dont les acteurs principaux sont la calcite, l'halite et le gypse. Par ailleurs les taux d'halite alternent avec les taux de gypse. Les premiers sont positivement corrélés à ceux de la kaolinite alors que les seconds le sont avec ceux du couple illite-chlorite.

2) Chronologies et discussions

Sachant que la kaolinite est ici héritée (PAQUET, 1970, op. cit.) et qu'elle est absente de toutes les croûtes dunaires locales (WEISROCK, 1980, op. cit.), elle ne peut avoir été apportée que par l'océan. Sa corrélation positive avec l'halite semble donc signifier une dynamique synsédimentaire marine. Comme l'observe HOURIMECHE (1988), « l'augmentation des proportions de kaolinite dans la couche moghrébienne supérieure du cap Sim aux dépens des proportions d'illite laisse envisager un milieu marin très proche de la côte, dilué par des eaux continentales ».

En revanche, comme il a été décrit au chapitre IV3A, depuis au moins 4 350 +/- 120 ans BP (Gif-11008), date 14C calibrée correspondant à la base du carottage (cf. fig. 61 page suivante), les eaux de ruissellement provenant des plateaux intérieurs disposés en gradins ont raviné la falaise morte ouljiennne et les formations post-ouljiennes déposant dans la plaine littorale les dépôts fins limono-argileux dont les phyllosilicates sont constitués à plus des deux tiers en moyenne par le couple illite-chlorite. Ces dépôts forment le substratum sur lequel se sont accumulés les différents systèmes dunaires.

A travers ces deux arguments on peut lire les fluctuations sédimentaires tantôt marines, tantôt continentales ou très probablement mixtes. En effet, la présence d'halite et de kaolinite est permanente tout au long du profil même si la première atteint des minima de 1 %. Et si les valeurs du couple illite-chlorite connaissent des variations sensibles le long du profil, elles restent stationnaires. Plutôt qu'un relais entre dynamique marine et continentale, il faudrait plutôt y voir une dynamique coïncidente au sein de laquelle des pulsations s'expriment selon que l'apport marin ou continental domine. Aussi la dolomite, synonyme d'un apport magnésien par l'intermédiaire de l'océan en milieu confiné, décroît de la base au sommet ; signifiant un assèchement progressif au moins à partir de 4 350 +/-120 ans BP malgré une influence encore notable de la mer qui se retire peu à peu.

Durant l'holocène, la transgression flandrienne ou versilienne correspondant au Mellahien dans la chronologie du Maghreb a pu isoler le site sur lequel est bâtie la ville des plateaux intérieurs en envahissant la frange littorale occupée aujourd'hui par la partie occidentale du massif dunaire à l'image des lagunes figurées sur la carte 6. L'actuelle Essaouira aurait alors formé une île au même titre que les îles et îlots de Mogador ont pu se joindre et toucher la ville au niveau de son secteur le plus avancé dans l'océan actuel (le port) lors d'un stade régressif pour constituer une prolongation des terres émergées. Ainsi DESJACQUES et KOEBERLE (1955) pensent qu'à l'Antiquité une île unique mesurant 1000 x 600 m dans ses plus grandes dimensions rassemblait les îles et îlots actuels : « Aujourd'hui l'érosion marine l'a séparée en deux : l'îlot Nord, le plus petit, inhabitable,... ».

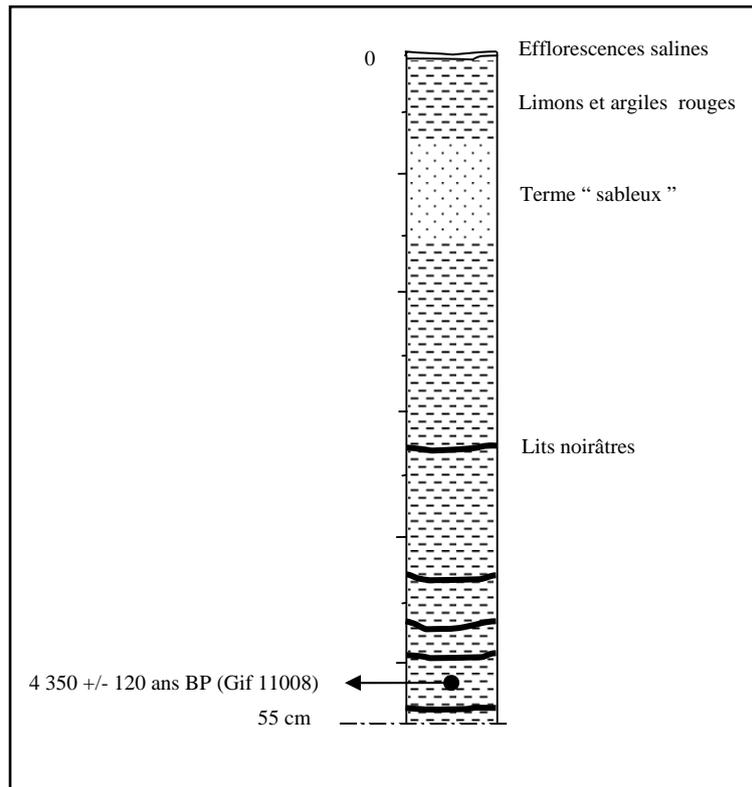


Figure n° 61 : Coupe du substratum limono-argileux.

La transgression marine mellahienne contemporaine du Flandrien ou du Versilien de Méditerranée a pu contribuer au comblement du soubassement dunaire à l'Holocène. Au fil des recherches effectuées sur les chronologies marines ou continentales qu'il est important d'articuler avec l'archéologie et l'anthropologie à travers les occupations humaines, les datations concordent plus ou moins et plusieurs propositions ont été faites dans des régions différentes. Le Mellahien affleure généralement dans les creux interdunaires et sur les colluvions des formations soltaniennes continentales.

GIGOUT (1952 et 1959) a été un des premiers à identifier le Mellahien au Sud-Ouest de Rabat. La datation d'une coquille de mollusque échantillonnée sur la plage de Miramar située à + 2 m a donné un âge de 5 970 +/- 130 ans BP.

La formation mellahienne est décrite ainsi : « sur les dépôts ouljiens consolidés et creusés en lapiez : a) un placage irrégulier de limons rouges ; b) 2 m de sables fins à coquilles : *Mytilus africanus* Ch., *Cardium edule* L., *Macra corallina* var., ... c) 0,5 m de lumachelle consolidée, renfermant des fragments de croûte calcaire remaniée, des cailloux de grès calcaire dont certains sont noircis (pierres de foyer), et des coquilles... Cette lumachelle constitue une surface de remblaiement horizontale dégagée sur 5 ha environ ; d) enfin le dernier sédiment de remplissage, développé en bourrelet au bord du chenal, est un kjökkenmödding gris-noir riche en *Mytilus africanus* et *Purpura haemastoma* et renfermant des débris de poterie » (GIGOUT, 1952).

Les limons et argiles rouges qui constituent l'essentiel de la carotte sédimentaire prélevée à Essaouira-Est pourraient correspondre à ceux du premier terme (a) décrit par GIGOUT (1952). La lumachelle partout absente dans la région (WEISROCK, 1980) peut signifier que la formation à limons rouges représente la base du Mellahien donc la phase ascendante de la

transgression. La région d'Essaouira étant fortement ventée, un colmatage se serait alors produit assez rapidement à partir du Nord de l'actuelle ville pour former une flèche sableuse créant et fermant progressivement la lagune, empêchant ainsi la lumachelle synonyme de dépôt franchement marin de se former.

L'interprétation des datations et les tentatives de comparaison ou d'association sont toujours délicates à manipuler, il est vrai. Plusieurs facteurs contribuent à laisser persister des incertitudes et des imprécisions dont la datation elle-même ; plusieurs datations formant un plan sur une même strate ou plusieurs datations le long d'un profil sont recommandées ; la nature de l'objet daté peut donner une marge d'erreur importante (FONTUGNE, 1991) ; la répartition géographique des sites d'échantillonnage peut permettre de montrer un même phénomène qui s'est produit avec un décalage chronologique considérable selon le site. Cependant, l'amélioration des méthodes de datation isotopique a permis de corriger certaines erreurs notamment sur les coquilles d'œufs d'autruches et sur celles d'organismes marins (FONTUGNE, in RISER, 1996). La comparaison de datations et de matériel daté est alors bénéfique et elle contribue souvent à déterminer et affiner la connaissance des fluctuations climatiques et de leurs dépôts corrélatifs à l'échelle des temps géologiques et plus particulièrement de l'Holocène.

Par exemple, une chronologie dunaire littorale intéressante dans la plaine des Chtouka-Ouest, au Sud d'Agadir est développée (WEISROCK et BARRADA, 1998). Les auteurs prennent en référence chaque « système dunaire » utilisé comme un repère stratigraphique et chronologique. Ainsi pour l'Holocène, ils attribuent un système dunaire lié à la transgression mellahienne qu'ils situent autour de 6 000 BP ; succède un système dunaire éolien roux daté à 3 120 +/- 50 ans BP (Gif 9895) ; et enfin un système dunaire historique marqué par l'abondance des kjökkenmødding dont l'âge est 920-1 100 ans BP (Gif 8791-92). Comment peut-on intégrer la date obtenue à Essaouira (4 350 +/- 120 ans BP) dans cette chronologie dunaire ? Doit-on assimiler le terme « sableux » (15-8 cm) au système dunaire éolien roux développé à 3 120 +/- 50 ans BP ? A ce stade de la réflexion une telle « transgression » serait un peu hâtive d'autant plus que le niveau « sableux » (15-8 cm) semble être l'expression d'un haut niveau marin de courte durée.

En Mauritanie, la transgression nouakchottienne équivalent du Mellahien est datée entre 5 500 et 1 700 BP (HUGOT G., 1977).

Dans la dépression littorale de l'Aftout-es-Saheli en Mauritanie, bordée à l'Est par des dunes ogoliennes dont l'orientation est NE-SO, le début de la transgression nouakchottienne est daté à 6 500 BP (COUREL et al., 1996). Les auteurs relèvent que « cet épisode a été à l'origine de la formation de lacs et de mares dans les dépressions interdunaires ». De plus ils observent que les dunes littorales jaunes se distinguant du cordon littoral sont traversées par des chenaux qui reliaient les sebkhas à la mer. Le maximum transgressif est donc postérieur à la formation des dunes jaunes. Par ailleurs, ils notent que la « très vaste lagune » individualisée par le colmatage du cordon littoral est « soumise à une évaporation considérable avec concentration des carbonates et des chlorures que l'on retrouve dans les dépôts actuels de la sebkha ».

L'« absence du Mellahien « sensu stricto » » dans l'Atlas atlantique au regard des diverses datations effectuées le long de la côte atlantique de l'Afrique est relevée (WEISROCK, 1980). Il a été reconnu au niveau de la digue du barrage actuel dans la ria du Bou-Regreg à hauteur de Rabat et daté à 6 000 ans BP (DELIBRIAS et RISER, in RISER, 1999b).

Postérieurement, trois datations d'un niveau transgressif plus récent que le Mellahien précisent la chronologie de l'Holocène supérieur. Il s'agit de 3 715 +/- 130 ans BP à l'embouchure de l'oued Lahouar (sortie Sud d'Agadir) ; de 3 400 +/- 100 ans BP à

l'embouchure du chabet Hamra (40 km au Nord d'Essaouira) ; et de 2 770 +/- 100 ans BP à l'embouchure de l'Oum Laïoun (20 km au Nord d'Essaouira). La base (dep55) de la carotte sédimentaire d'Essaouira-Est est antérieure à ces trois niveaux.

Les creux interdunaires actuels du géosystème d'Essaouira-Est subissent une érosion éolienne et une évaporation notables et n'ont pas encore atteint le stade de sebkhas ; d'autant moins que sur le littoral de Tarfaya l'importance des phénomènes de karstification à l'origine de leur formation est démontrée (RISER, 1996).

Cependant, on peut se poser la question quant à un apport détritique marin éventuel qui constituerait le soubassement dans la mesure où si les carbonates et les chlorures sont présents, peut-on parler comme l'observent COUREL et al. (1996) de concentrations avec de si faibles valeurs (cf. tabl. XIVbis et fig. 22, premier log) ? Le faciès carbonaté est peu présent le long de la carotte sédimentaire, excepté entre 15 cm et 8 cm enregistrant des taux de carbonates qui atteignent 32 et 26 % pour dep15 et dep10 (tabl. XIVbis). Ces valeurs maximales pour le substratum correspondent au terme « sableux » nettement visible et composé en partie de fragments de tests marins (fig. 22 et 61).

Ce résultat serait corrélé soit à une recrudescence de l'aridité marquée par un épisode dunaire soit à un haut niveau marin marqué par la dune du cordon littoral soulignant à l'inverse un épisode humide.

Tableau XIVbis : Taux de carbonates de calcium contenus dans les dunes et le substratum.

<i>Topogr.</i>	<i>Dunes</i>					<i>Substratum</i>											
<i>Ech.</i>	Sne	Vso	Vne	Sso	Sd	dep 5	dep 10	dep 15	dep 20	dep 25	dep 30	dep 35	dep 40	dep 45	dep 50	dep 55	
<i>Taux de CaCO₃ en % de la masse</i>	41	42	40	43	38	20	26	32	21	19	17	17	14	12	13	12	

Si la première hypothèse était validée, cette recrudescence de l'aridité pourrait-elle être synchronique de celle du Petit Âge Glaciaire étudié par LAMB H.H. (1977), LE ROY LADURIE (1983) dans les Alpes et par MIRAMONT (1998) dans les Alpes du Sud de la France ? Il semblerait que non car si tel était le cas, depuis la période correspondant au Petit Age Glaciaire (PÂG) c'est à dire il y a trois siècles environ la phase aride serait suivie d'une phase humide (dépôts limono-argileux de 5 à 0 cm, fig. 22), puis à nouveau d'une ou plusieurs phases arides majeure jusqu'à nos jours ayant vu l'accumulation du massif dunaire. Or, l'épaisseur des dépôts paraît trop importante au regard de trois siècles de sédimentation où le temps dynamique tendrait à se rapprocher du temps fossilisé avec une dynamique sédimentaire très active.

De plus, une phase aride aurait favorisé la cristallisation de halite ce qui n'est pas le cas, comme l'indique le log « fraction totale » (fig.22) avec une absence notable à dep15 et dep10. Ainsi, une phase aride liée au niveau 15-8 cm paraît peu vraisemblable.

L'hypothèse d'une dune bordière accompagnant un haut niveau marin serait alors la plus vraisemblable ; une différence notable par rapport au reste de la carotte est soulignée avec des proportions de fragments coquillers plus élevées indiquées par des taux maxima de CaCO₃ de 32 % pour dep15 et de 26 % pour dep10 (tabl. XIVbis et fig. 22). Dans ce cas, le double apport hydrique (océanique et continental) discuté plus haut est remplacé par un apport éolien matérialisé par le cordon dunaire littoral. Cette seconde hypothèse est d'autant plus probable que les fragments de tests sont pris dans une matrice identique à celle représentée tout au long du profil.

En domaine continental, dans la région de Tolga (monts Zibans, Algérie) un paléosol d'âge 3 100 +/- 55 ans BP synonyme de conditions biostatiques permettant la pédogénèse traduit une période humide (BENAZZOZ, sous presse). Une autre phase humide est identifiée vers 2 400-2 200 BP dans les Nemencha en Algérie orientale (BALLAIS et BENAZZOZ, 1994 ; BENAZZOZ, sous presse). Enfin, un troisième épisode humide est enregistré encore en Algérie orientale à 1495 +/- 100 ans BP (BENAZZOZ, 1986). Le terme sableux du profil interdunaire (intervalle dep15-dep10) pourrait correspondre à une de ces trois périodes, contemporain d'un relèvement du niveau marin.

Par ailleurs, les phases de régression lacustres durant l'Holocène ont duré entre 150 et 400 ans, chronologie établie à partir des sédiments lacustres de Tigalmamine dans le Moyen Atlas (LAMB H. F. et VAN DER KAARS, 1995). Les auteurs mettent en relief l'idée que l'enregistrement des changements climatiques dans le sens humide/aride est beaucoup moins abrupt que dans le sens inverse car le niveau des lacs met un certain temps pour baisser alors que la phase aride est déjà installée. Donc, la durée des phases arides doit être rallongée en anticipant sur la première datation. Il faut ainsi tenir compte de ces décalages induits par ce que nous pourrions nommer « l'inertie hydrique ».

Sur le même site, BENKADDOUR (1993) relève trois événements arides à l'Holocène supérieur : 4 400-4 000 ans BP, 3 000-2 500 ans BP et 1 700 ans BP.

En s'insérant entre les épisodes humides relevés par BALLAIS et BENAZZOZ (1994) et BENAZZOZ (1986 et sous presse) ces données concordent bien avec la chronologie établie par les auteurs et montrent la cohérence des résultats pour le Maghreb oriental comme pour le Maghreb occidental.

Les creux interdunaires d'Essaouira fonctionnent comme des cuvettes hydro-éoliennes comme on l'a vu. Sans les assimiler à des sebkhas et sans pour autant être exacte, la ressemblance est frappante entre les dépôts observés (fig. 61) et ceux décrits par CONRAD (1969) (in RISER, 1999b) d'après la coupe de la sebkha El Melah dans le Sahara algérien. On retrouve à la base de l'argile plastique rouge et salée composée d'illite, de chlorite, de kaolinite, d'attapulgite (palygorskite) et de smectite ; puis de l'argile rouge calcaire dont le figuré est identique à celui de l'argile précédente et enfin, en surface, l'argile brune avec des efflorescences de sels recouvre des cristaux de halite.

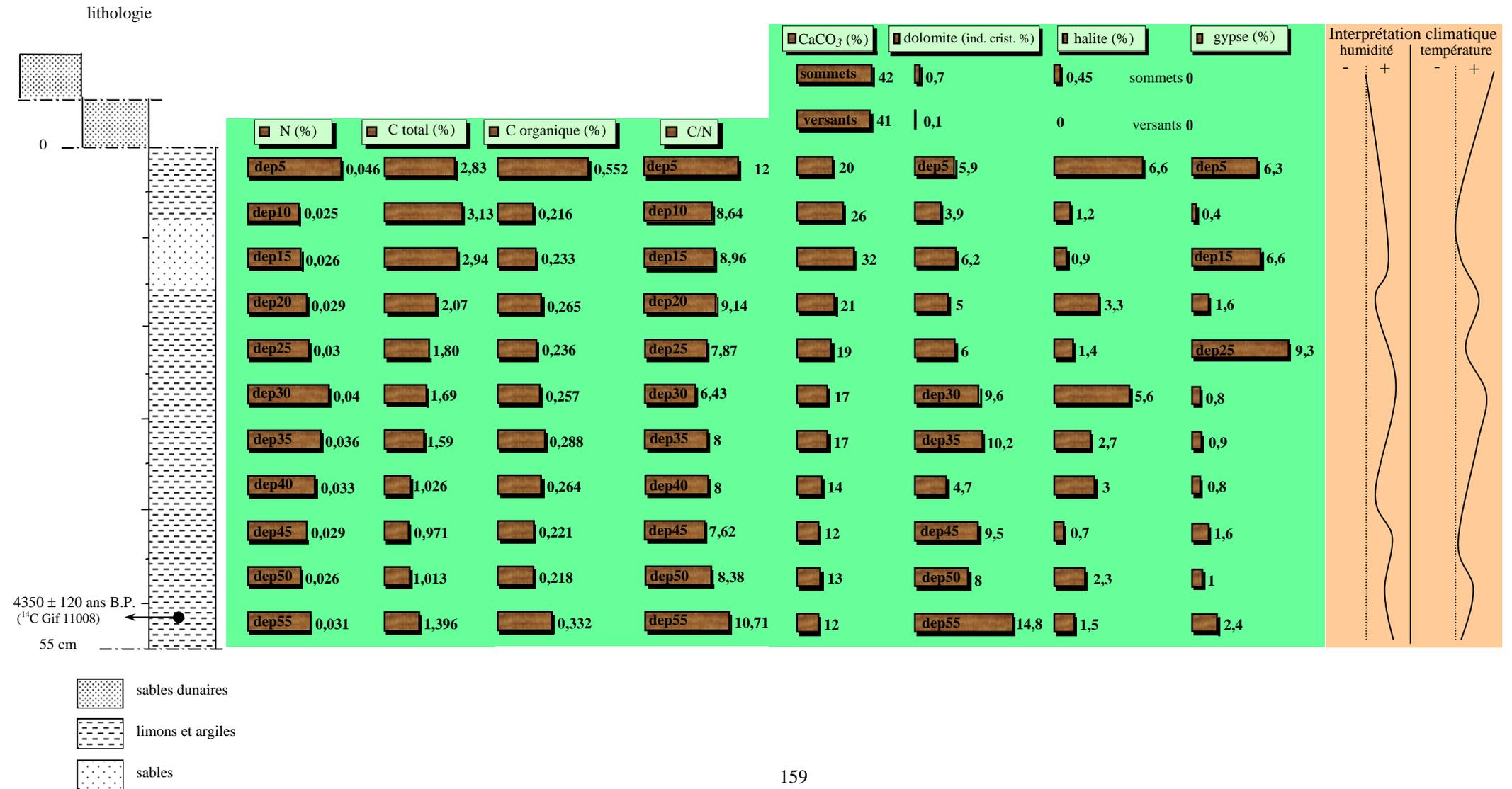
La présence de palygorskite dans l'argile à la base s'explique aisément par l'aridité extrême qui règne au Sahara. De même la cristallisation de halite en surface est le résultat d'une évaporation intense. Bien qu'il soit délicat et difficile de comparer les deux domaines, l'un littoral et l'autre continental, le géosystème dunaire d'Essaouira a pu fonctionner comme un « petit Sahara » en bordure océanique c'est à dire que l'assèchement progressif a favorisé les épandages sableux et la mise en mouvement des particules sous une dynamique éolienne impulsée par l'alizé.

Si la région d'Essaouira et plus largement le Maroc du Centre-Ouest s'inscrit dans une aire climatique à influence méditerranéenne marquée, cette situation géographique est intéressante et pour le moins complexe et ambiguë car elle correspond à une zone de transition entre Europe et Afrique ; c'est pourquoi les recherches sur le plan des relations chronologiques entre les deux continents dans le cadre d'une approche systémique plus large sont importantes.

La figure 62 (page suivante) présente l'évolution de divers indices géochimiques tout au long du profil en partant de la base du substratum échantillonné jusqu'au sommet des dunes.

Les analyses chimiques ont été effectuées au C.E.R.E.G.E. (U.M.R. 6635 du C.N.R.S.) et les données minéralogiques sont issues de la dissolution des carbonates (tabl. XIV) et de la diffractométrie X (fig. 22).

FIG. N° 62 : EVOLUTION DE PARAMETRES GEOCHIMIQUES LE LONG DU PROFIL SEDIMENTAIRE ET INTERPRETATION CLIMATIQUE.



Deux types de données sont présentées dans la figure précédente :

- des indicateurs chimiques où les éléments seuls tels que l'azote et le carbone ont été mesurés et à partir desquels le rapport C / N a été calculé (les quatre colonnes de gauche) ;
- des indicateurs sédimentologiques où les cristaux de dolomite, halite et gypse ont été mesurés par diffraction des rayons X et le carbonate de calcium par dissolution (les quatre colonnes de droite).

Le carbone total est constitué par le carbone organique et le carbone minéral. Les logs des deux premiers évoluent le long du profil de manière quasiment parallèle en partant de la base (dep55) jusqu'à dep20.

A ce niveau, les tendances s'inversent ; le carbone total croît nettement en atteignant des maxima supérieurs à 2,8 % (dep5, sommet du profil) alors que le carbone organique régresse jusqu'à dep10 avec un minimum de 0,2 % puis augmente brusquement pour connaître sa valeur maximale de 0,6 %. Cette régression du carbone organique à partir de dep20 se réalise au profit du carbone minéral puisque le carbone total augmente nettement.

Ces observations coïncident à celles que l'on peut faire de visu sur le carottage, c'est à dire le passage au même niveau d'une texture argileuse à une texture sableuse contenant des bioclastes (cf. tabl. XIV). Elles sont interprétées comme une ouverture du couvert végétal qui favorise soit le développement de gastropodes soit l'accumulation des sables soufflés par l'alizé et issus de l'estran et de l'arrière plage situés plus au Nord. Cette ouverture est également reflétée par la diminution des taux d'azote.

En revanche, le maximum enregistré par le carbone organique au sommet du profil (dep5) est interprété comme la conséquence des boisements importants effectués depuis près d'un siècle sur les dunes. Les débris de végétaux s'accumulent dans les cuvettes interdunaires où se développent aussi des formations algues et de nombreux micro-organismes.

Les tendances de l'azote et du rapport C / N corroborent cette interprétation : la première connaît également son maximum à dep5 avec 0,05 %, valeur doublée par rapport à dep10 (0,025 %) indiquant le développement d'un tapis végétal relativement dense ; et le second passe de 8,6 à 12 franchissant la valeur limite fixée à 10 par MEYERS et ISHIWATARI (1991) au dessous de laquelle la matière organique est autochtone. La valeur limite supérieure au dessus de laquelle la matière organique est allochtone étant 20.

En somme, le site d'Essaouira a pu constituer une île ou une presqu'île il y a plusieurs millénaires et les dépôts de la transgression mellahienne sont à rechercher sous les dépôts actuels affleurants. Le substrat limono-argileux recouvert par les sables dunaires ne montre pas de faciès marin typique (excepté peut-être, le niveau 15-8 cm). L'océan s'est peu à peu retiré il y a 4 000 ans en laissant une lagune se former. Celle-ci s'est obturée ou colmatée avec le retour à des conditions climatiques plus sèches, le colmatage étant interrompu par un court épisode humide vers 3 000 ans BP. Le fond de la lagune s'est progressivement comblé avec les apports de ruissellement marqués par des dépôts fins et représentés par le couple illite-chlorite provenant de la falaise morte ouljienne et des formations postérieures. Le mode de sédimentation est du type décantation en eaux calmes.

Les fluctuations climatiques entraînant des modifications géomorphologiques et topographiques contrôlent la répartition des peuplements dans l'espace et leurs activités dans le temps. Les relations qu'ils entretiennent avec les éléments biotiques et abiotiques en dépendent aussi et peuvent montrer que l'élément anthropique est un facteur de modification de certains éléments, de la structure du géosystème et par réaction en chaîne de sa dynamique en agissant globalement.

CHAPITRE VIII

LES ETAPES DE L'ANTHROPISATION LOCALE ET REGIONALE

« La guerre serait un bienfait des dieux si elle ne tuait que les professionnels. »
Jacques Prévert

La recherche en matière de vulnérabilité à l'érosion des géosystèmes appartenant aux milieux arides et semi-arides a permis de mieux connaître leur fragilité (COQUE, 1962 ; RISER, 1978 ; MALEK, 1989 ; BALLAIS, 1992 et 1996 ; BALLAIS et al., 1995 ; VEYRET, 1998 ; CALLOT et OULEHRI, 1996 ; WEISROCK et BARRADA, 1998). Fragilité double, car ils sont extrêmement dépendants de la dynamique éolienne par l'absence ou le faible recouvrement du tapis végétal qui les caractérise ; et ils sont très sensibles à l'érosion hydrique pour les mêmes raisons mais aussi parce que la variabilité saisonnière et interannuelle des précipitations y est forte. Cependant, cette double fragilité est de plus en plus soulignée par l'empreinte anthropique élément des géosystèmes considéré depuis peu comme un facteur extrêmement incident capable d'être à l'origine de bouleversements profonds du système (BEROUTCHACHVILI et BERTRAND, 1978 ; HOUZARD, 1984 ; DRESCH, 1984 ; BERTRAND et BERTRAND, 1986 ; SALAMA et al., 1991 ; HARROUNI, 1994 ; BALLAIS, 1995 ; COUREL et al., 1996 ; BALLOUCHE, 1998 ; WEISROCK et al. 1998 ; AMAT, 1999). Ainsi, pour BERTRAND (1986) « l'anthropodépendance directe ou indirecte des géosystèmes est un fait quasi général. Il est reconnu et de mieux en mieux étudié ».

Dans cette optique, il est donc intéressant d'identifier les étapes de l'anthropisation dans la région d'Essaouira de façon à mieux saisir comment les sociétés agissent sur les géosystèmes en général et sur celui d'Essaouira en particulier. Des exemples d'anthropisation pris en dehors de l'espace Haha-Chiadma sont également abordés de manière à illustrer quel peut être le poids du facteur humain sur les géosystèmes.

1) Une occupation humaine plurimillénaire

Dans la moitié Sud du Maroc atlantique, le Néolithique se développe à partir de la civilisation ibéro-maurusienne dont le mode de vie est intimement lié à la présence de la mer laissant le plus souvent des foyers à kjökkenmødding (ROBERT-CHALEIX, 1985).

Alors que dans la moitié Nord du Maroc il est particulièrement bien identifié et subdivisé en trois périodes : le Néolithique ancien ou Cardial, le Néolithique moyen et le Néolithique récent ou Campaniforme avec la céramique campanienne découverte dans la plaine du Gharb et la région de Rabat (ROBERT-CHALEIX, 1985 ; DAUGAS et al., 1989).

En retraçant « le cadre paléogéographique de la préhistoire du Maroc atlantique, » BIBERSON (1961) publia une thèse incontournable qui eut un large retentissement et fit autorité en la matière. En effet, l'étude du célèbre site de Sidi Abderrahmane dans le quartier d'Anfa à Casablanca a permis de jeter les bases chronologiques du Maroc atlantique par une fine étude stratigraphique améliorée depuis par des données nouvelles (TEXIER et al., 1986 et 1994). Ce terrain présente de nombreuses analogies géomorphologiques avec le littoral atlantique dans son ensemble et l'Atlas atlantique en particulier.

Mais des analogies d'ordre floristique, faunistique et anthropique existent aussi. En posant la question de la charnière chronologique préhistoire / protohistoire, BIBERSON (1961) attribue les modifications du milieu aux sociétés qui s'y sont succédées : « C'est bien moins d'ailleurs

aux changements du milieu physique qu'à l'intervention humaine que le pays voit sa faune et son couvert végétal se modifier ».

Par ailleurs l'auteur associe la disparition des grands mammifères qui ont subsisté au Maroc atlantique jusqu'à une époque très récente à la présence et aux activités humaines et en particulier la chasse.

L'île de Mogador située à 1,5 km du port dans la baie d'Essaouira recèle un riche patrimoine archéologique. Elle est considérée comme l'île de Cerné évoquée par certains auteurs antiques (in ROSENBERGER, 1970 et in LOPEZ PARDO, 1987). Dans les années 1950 et 1960, pour la première fois des vestiges anciens sont découverts relativement loin des sites classiques que sont Sala (actuelle Salé) et Lixus (actuelle Larache). Ce sont des vestiges pré-romains, les datations de tessons et charbons de bois ayant situé la fin de l'occupation du site entre 2 800 et 2 500 BP (JODIN, 1957). En effet, les fouilles archéologiques des campagnes 1956-1957 ont permis de répertorier les objets trouvés et d'analyser les strates dans lesquelles ils étaient scellés. Une épaisse couche (couche III) de « sable stérile » pouvant varier de 0,05 m à 0,90 m et indiquant une lacune archéologique illustre l'abandon du site durant cinq siècles environ. Sur les quatre coupes décrites, une seule mentionne dans cette couche III des ossements d'éléphants. La couche précédente (couche IV) la plus ancienne ayant enregistré une présence humaine, contient à sa base des foyers (poches de cendre noire) témoignant d'une occupation épisodique de pêcheurs néolithiques (JODIN, 1957).

Les restes postérieurs aux poches de cendre ont permis de montrer que la civilisation phénico-punique a marqué les îles d'Amogdoul, nom phénicien de Mogador, en y établissant un comptoir colonial (JODIN, 1966).

C'est vers 2 100 BP, fin de l'épisode dunaire, que JODIN (1957 et 1967) situe une nouvelle présence humaine permanente cette fois, par la découverte de fragments d'amphores, de clous et d'hameçons de cuivre romains (couche II). Si la présence romaine peut ici inspirer un doute compte tenu du concept de *limes* qui s'étire au Maroc de la plaine du Rharb (région de l'actuelle Rabat) à la cité antique de Volubilis, elle est confirmée ici par les restes d'une « villa relativement luxueuse avec bains et mosaïque » et montre une installation solide, probablement permanente ou quasi-permanente (JODIN, 1957). Aussi, d'après le même auteur (1967), il convient de distinguer « le Maroc utile » de l'intérieur du « Maroc utile de la mer ». En effet, « Si le « Maroc utile » de l'intérieur fut pour les Anciens, limité aux plaines du Rharb et à la région de Volubilis, le « Maroc utile de la mer » fut beaucoup plus étendu, s'étirant pratiquement de l'embouchure de la Moulouya à celle du Draa. Voilà qui heurtera peut-être les notions traditionnelles de *limes* et d'une Maurétanie Tingitane intégralement parcourue et décrite par l'Itinéraire d'Antonin. »

La Maurétanie tingitane (de Tanger) est la province antique de l'Afrique du Nord-Ouest dont la situation géographique n'a aucun rapport avec celle de l'actuelle Mauritanie excepté le point commun évident formé par la racine empruntée à la population Maure.

La couche I contient des tessons berbères et arabes modernes.

Si l'épisode dunaire correspondant à une lacune archéologique entre 2 800 / 2 500 et 2 100 BP signifiait une aridification du climat, il ne concorderait pas avec les résultats obtenus dans le Maghreb oriental par BALLAIS (1991 et 1992). En effet, l'auteur y observe une phase humide vers 2 400 BP avec l'accumulation d'une basse terrasse ; ainsi l'épisode dunaire à Essaouira est interprété par JODIN (1957) comme l'expression de conditions climatiques plus sèches. Mais c'est vraisemblablement l'inverse qui s'est produit, c'est à dire un léger relèvement du niveau marin dont l'origine est le retour à des conditions plus humides ayant entraîné la formation d'un cordon dunaire littoral sous l'effet un maximum dunaire littoral (cf. chap. VII2).

En effet, cet épisode correspondant au niveau « sableux » 15-8 cm décrit sur la carotte, se manifesterait par une formation éolienne de dune bordière sur l'île qui aurait alors formé une presqu'île.

En revanche, au sein du substratum, la lagune n'étant pas complètement obturée aurait enregistré une accumulation de bioclastes consécutive à un haut niveau marin enregistré localement sur une courte durée (terme 15-8 cm).

De tels résultats concordent avec ceux obtenus par WEISROCK et BARRADA (1998) qui observent un système dunaire éolien roux à 3 120 +/- 50 ans BP (Gif 9895) pouvant correspondre à une dune bordière développée lors d'une phase de remontée océanique.

Parmi les auteurs anciens, certains ont effectué une description paysagère riche d'enseignements. Ainsi, dans son Histoire Naturelle, PLINE l'ANCIEN (I^{er} siècle, trad. DESANGES, 1980) évoque le *Citrus* ou bois de citre (citronnier) avec plus d'insistance que les autres espèces : « On cherche dans ces forêts l'ébène et le Citrus, et dans tous les rochers de Gétulie le Murex et le Purpura ». *Purpura haemastoma* et *Murex* sont deux coquillages très proches dont on extrayait le colorant pourpre d'une glande de l'animal d'où le nom d'îles Purpuraires. Si cette exploitation du pourpre était courante dans les cités antiques phéniciennes de Tyr et de Sidon (DESJACQUES et KOEBERLE, 1955) les conditions de son exploitation dans les teintureries in situ est relatée par PLINE l'ANCIEN (I^{er} siècle, trad. DESANGES, 1980). Selon ce dernier, Juba II, avant-dernier roi autochtone de Maurétanie, avait fait installer des teintureries sur les îles Purpuraires qui étaient le point de départ des navigateurs vers les îles Fortunées (les Canaries). JODIN (1967) insiste sur l'occupation permanente du site de Mogador par le roi Juba II « à l'aube de l'empire romain » et sur l'exploitation des ressources marines dont la pourpre gétule. On pourrait lier à ces teintureries l'existence de pêcheries signalées par DESJACQUES et KOEBERLE (1955) sur l'île de Mogador. En effet, des bassins d'extraction y sont encore très bien conservés sur la côte Est de l'île. De même LOPEZ PARDO (1987) parle d' « établissement industriel » à propos de l'exploitation du pourpre.

DESJACQUES et KOEBERLE (1955) notent que « le bois ne manquait pas autrefois. Les nombreuses racines de thuya et de genévrier le prouvent ».

Sur le terrain, tant sur l'île de Mogador qu'à Sidi Harazem (entre l'oued Ksob et le cap Sim) où le phénomène est le plus spectaculaire, l'abondance de racines fossilisées ou de leurs fragments au sol est en effet remarquable alors que le paysage ressemble aujourd'hui à un reg légèrement vallonné dont les creux sont parsemés de barkhanes. Ces racines peuvent atteindre quelques décimètres de long et cinq à dix centimètres de diamètre. La partie interne est remplie de grains de quartz cimentés de couleur beige alors que la périphérie plus homogène est constituée d'un ciment calcaire blanc à l'intérieur et grisâtre en surface. Elles marquent effectivement l'ancienne présence de bois sur le désert actuel que forme le reg parsemé de barkhanes. La figure 63, page suivante, illustre ce type de reg parsemé de nombreuses racines fossilisées. En a, le paysage dunaire domine avec les barkhanes accumulées sur une surface pierreuse ondulée. En b, ce sont les touffes de graminées et les petits buissons qui dominent mais toujours sur le même type de surface pierreuse où déflation et vannage opèrent constamment. Le fond des photographies correspond au Sud-Est.

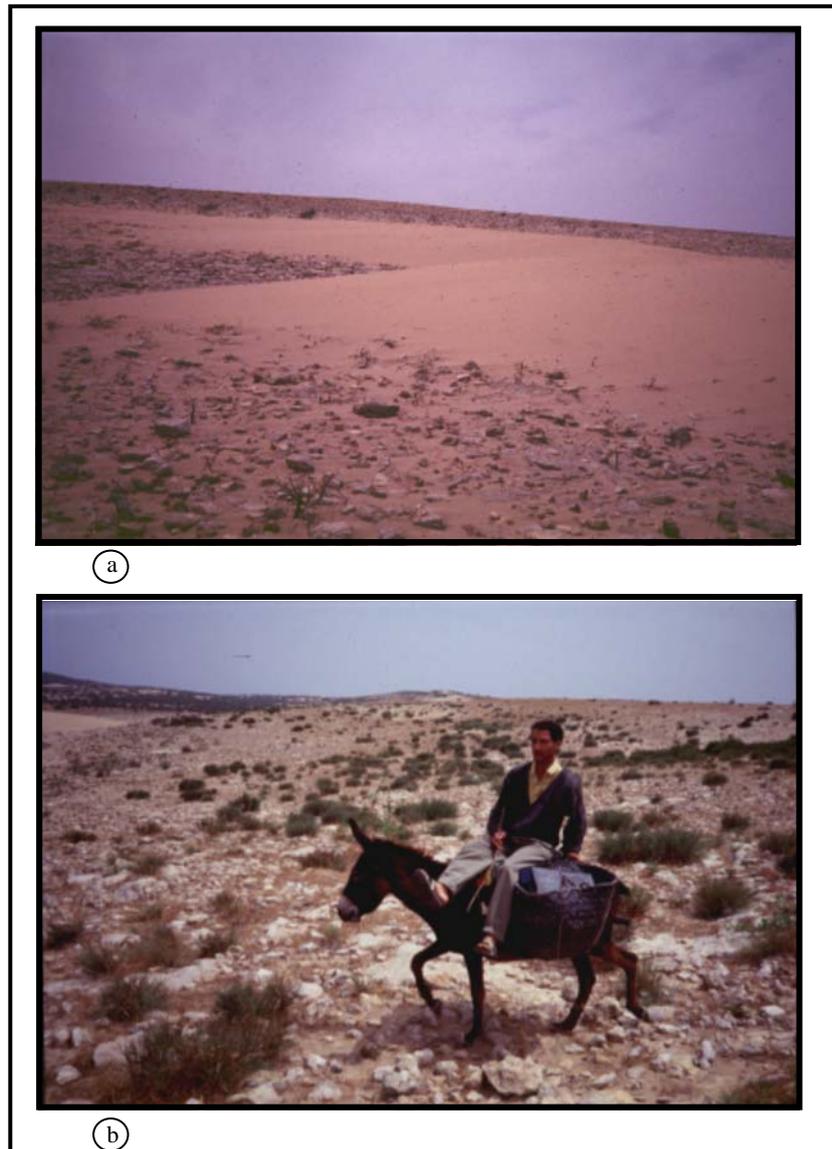


Fig. 63 : Surfaces désertiques entre l'oued Ksob et le cap Sim ;
Clichés : Claude SIMONE, le 8 VI 1994.

Les restes de la villa romaine située au pied de la falaise sur la côte Sud-Est de l'île de Mogador et tournée vers le continent de manière à être abritée à la fois de l'alizé et du déferlement de la houle, avaient déjà été repérés et photographiés par DESJACQUES et KOEBERLE (1955). Pour les auteurs, la datation précise de cette construction n'est « guère possible » mais les mêmes procédés d'usage courant au II^e siècle de notre ère ont été employés à Volubilis et à Banasa.

Comme PLINE l'ANCIEN (I^{er} siècle, trad. DESANGES, 1980) qui remarque un couvert végétal dense en Maurétanie, STRABON, géographe grec, note à la même époque (I^{er} siècle ? trad. ROGET, 1924) : « La Mauritanie est un pays riche, sauf un désert peu important..., elle est bien pourvue en fleuves et en lacs. Elle est extrêmement riche en forêts hautes et denses ». Le terme « Mauritanie » tel qu'il a été traduit par ROGET (1924) exprime non pas le pays actuel situé plus au Sud et colonisé dès le début du siècle par la France mais la région de Maurétanie (Maroc occidental).

Au XI^e siècle utilisant encore le nom phénicien de Mogador, le géographe arabe AL-BAKRI (in CAILLE, 1852) décrit le site d'Amogdul comme un mouillage très sûr. En notant l'existence du lieu nommé Amgdûl, AL-BAKRI (in AÏT MESSAOUD, 1995) précise encore que le site présente une baie servant d'avant-port à toute la région et que des navires de tous les pays y accostent.

Puis la transcription espagnole ou portugaise deviendra Mogador (formé sur Mogadouro) figurant sur nombre de portulans des XIV^e et XV^e siècles.

Si les écrits d'IBN KHALDOUN, historien arabe du XIV^e siècle, ont laissé de précieuses informations sur les relations entre sociétés et géosystèmes durant la période plus tardive du Moyen-Âge, la région de l'actuelle Essaouira terre ultime du Moghreb (le couchant) est trop peu concernée par ces descriptions. IBN KHALDOUN évoque notamment les grands incendies de forêts provoqués par les hordes de Hilaliens en Berbérie (Ifriqiya, région de Tunis, premier point d'ancrage de la colonisation arabe et plus largement Moghreb). Aussi, les premières invasions arabes des dynasties omeyyades et abbassides du VIII^e au XI^e siècle semblent avoir peu touché Mogdoul compte tenu de la rareté des témoignages. Mais les liens qu'entretiennent les populations autochtones Haha avec les géosystèmes dans lesquels elles vivent ne doivent pas être négligés pour autant. Le groupe ethnique haha habite la région située au Sud de l'oued Ksob, appelée par LEON l'AFRICAIN (vers 1524, trad. EPAULARD, 1981) région du Hea.

La période médiévale a donc livré peu d'informations précises sur Essaouira et sa région si ce n'est qu'IBN ALBAYTAR (1219, in EL MAANA, 1994), célèbre médecin égyptien est un des plus anciens observateurs connus de l'arganier qu'il décrit dans son " Traité des simples ". Il évoque son exploitation par les populations berbères qui en tiraient une huile de noix destinée aux besoins alimentaires familiaux.

Par ailleurs, s'agissant de la région de l'arganier, ce dernier aurait nettement régressé sous l'effet de l'action anthropique puisqu'il aurait recouvert il y a 2000 ans une aire d'environ 1 400 000 ha selon Y. MONNIER (1965) contre 828 300 ha aujourd'hui (MAMVA, 1996). D'après PELTIER (1982), l'aire primitive de l'arganier a nettement régressé sous l'effet des activités anthropiques.

Dans la région Haha, un fait essentiel se produit durant le XV^e siècle par le développement du « phénomène urbain » que RAFIK (1989) explique par des raisons à la fois défensives et d'organisation sociale : «...on s'efforce de sauvegarder farouchement ses frontières contre les convoitises étrangères ». Ainsi, sur le territoire haha LEON l'AFRICAIN (vers 1524, trad. EPAULARD, 1981) repère un grand nombre de concentrations de population d'importance variée mais assurément plutôt modestes qui forment à travers le paysage un mitage marquant des couronnes d'influence en pleine forêt.

A titre d'exemple pris en dehors de la région d'étude, au Maroc atlantique plus septentrional (région de l'actuelle Khénitra), il est intéressant de saisir de quelle façon s'intègre le facteur anthropique dans le fonctionnement des géosystèmes du passé.

Dans le débat qui opposait partisans de modifications climatiques depuis l'antiquité et partisans d'une stabilité, des arguments fort intéressants nous sont livrés par BOUDY (1947) lors de la séance du 2 décembre rapportée dans le Bulletin de la Société des Sciences Naturelles du Maroc. L'auteur précise qu'« En Afrique, les éléphants vivent dans les savanes et non dans les marais (ils étaient communs en forêt de Mamora) et s'ils ont disparu, c'est qu'ils ont été exterminés, pour l'ivoire, par les Romains, dans les premiers siècles de l'ère

chrétienne, puis au début de la période musulmane (la toponymie révèle en effet que l'éléphant existait encore à cette époque) ».

Ces propos signifient que l'éléphant vivait encore dans la Mamora au moins jusqu'au IX^e siècle (peut-être plus tard), époque de la fondation de Fès par les Idrissides et première capitale du Maroc. Donc, pour Boudy, la thèse d'une modification du climat responsable de la disparition de l'éléphant ne peut avoir lieu. Ce qui semble tout à fait fondé ; une fluctuation climatique ne pouvant être avancée sur cet argument. Il est intéressant de remarquer que la dimension du facteur humain en tant que prédateur contribuant à répandre l'idée fautive d'une évolution naturelle du climat est alors tenace.

A l'inverse, BOUDY (1947) rapporte que la plupart des botanistes (écologistes et phytogéographes) s'opposent à la thèse d'une stabilité du climat par les enseignements qu'ils tirent de la flore et de la faune et pensent à une dégradation : « Le cas, au Maroc, du recul incontestable de certaines espèces supérieures des climats humide et subhumide, telles que le chêne-liège et accessoirement le chêne zéen, qui ne se maintiennent d'ailleurs qu'assez difficilement dans l'ensemble du pays et ont disparu dans le Grand Atlas, où le chêne-liège était fréquent autrefois, apportent à cette conception un argument scientifique de grand poids ». Ici, la thèse d'une fluctuation climatique semble évidente.

Mais plus loin, l'auteur précise que beaucoup de forestiers sont en désaccord avec les botanistes leur reprochant d'ignorer les influences anthropozoïques : « ...ils objectent que cette régression doit avant tout être attribuée à la simple action destructive humaine, sans qu'il y ait à faire intervenir un assèchement général. Si l'on en juge par ce qui s'est produit dans le Nord du Maroc, où l'aire du chêne-liège a été réduite des 2/3 par l'homme, ..., a très probablement été éliminée graduellement par les écorcements massifs, nécessités par les besoins des tanneries de Marrakech, par les incendies, les chèvres, etc... ; de même pour le chêne zéen ».

Ainsi, dans le cas de la forêt de la Mamora et plus largement du Maroc comme dans beaucoup d'autres régions et autres zones climatiques éléments biotiques et facteurs anthropiques sont fondamentaux (si l'intensité des processus bioclimatiques varient en fonction de la position et de la situation géographiques, ils sont constants à l'échelle du globe). Les relations qui les unissent peuvent laisser se répandre une fautive théorie des fluctuations climatiques, notamment avec une pression anthropique croissante qui s'accumule au cours du temps.

Très tôt la richesse du site de Mogdoul et de ses environs a focalisé jusqu'au Moyen-Âge un intérêt particulier qui s'est traduit par des rapports socio-économiques étroits entre populations autochtones, allochtones et les géosystèmes locaux.

La période moderne voit se développer une intensification de ces rapports.

2) La période moderne : convoitises guerrières et impératifs économiques...

Durant les XIV^e et XV^e siècles, les navigateurs portugais parviennent à établir un comptoir colonial à Sidi Mogdoul qui devient Mogador et en 1506, le roi Don Manuel I^{er} fit construire une forteresse à l'extrémité de la presqu'île (CAILLE, 1852). Mais les populations autochtones ne l'entendaient pas de cette oreille et s'en emparèrent en 1510.

Si la colonisation portugaise a dû se limiter pour des raisons stratégiques au littoral, l'édification de la forteresse a nécessité des besoins tant humains que matériels. Les relations entre Portugais et populations locales se sont donc soldées par de multiples conflits qui ont pu accroître le poids du facteur humain sur les espaces environnants par les déboisements successifs opérés. Dans ses recherches sur la ville d'Essaouira, AÏT MESSAOUD (1995) signale que les Portugais ont détruit plusieurs villes de la région Haha dont « Tadmist détruite en 918 de l'Hégire (1512), et Takûlît en 923 de l'Hégire (1517) ».

Aussi, devant l'impuissance du Makhzen (pouvoir centralisé du Maroc) à faire face aux événements et à lutter contre le désordre qui régnait, les populations Haha et la puissante confrérie des Regraga ont joué un rôle majeur dans la lutte qui les opposait aux conquêtes chrétiennes. Comme le décrit AÏT MESSAOUD (1995) « De puissants mouvements religieux faisaient leur apparition dont le plus connu a été le mouvement gazûlite fondé par al-Gazûlî qui a laissé sur place de puissantes zawiyas solidement implantées. Ces zawiyas étaient des centres de Gihâd et mobilisaient des forces humaines et matérielles ».

Mais ce type de conflit n'est pas unique vu la terre convoitée que représente Sidi Mogdoul ou Mogador et RAFIK (1989) nous le rappelle : « Il est nécessaire de rappeler que l'histoire de la région des Haha est jalonnée de conflits et de guerres intestines entre les différents chefs...La lutte inter-tribale de pouvoir ou tout simplement pour des raisons de pillages, était ponctuée par des guerres contre les envahisseurs nomades ». Ainsi, qu'ils soient inter-tribaux ou internationaux, ces multiples conflits ont entraîné guerres, ravages et destructions et réduit considérablement les ressources naturelles forestières par les incendies occasionnés d'une part et par la « surmobilisation » en bois demandé pour les reconstructions, d'autre part. De cette façon ils ont aussi déclenché les processus d'appauvrissement des sols en favorisant l'érosion hydrique et éolienne, l'évaporation et en abaissant fortement l'apport en matières organiques.

Dans sa « Description de l'Afrique », LEON l'AFRICAIN dit Jean, érudit et géographe arabe dont le nom latin *Johannes Leo Africanus* a remplacé le nom d'origine *Al-Hasan ibn Muhammad al-Wazzan al-Zaiyati* ou *al-Fasi* avait noté l'importance de l'arganier dans la région du Haha (vers 1524, trad. EPAULARD, 1981). Il signale d'une part, que le fruit après trituration donne une huile à forte odeur, comestible pour l'homme et aussi utilisée comme combustible pour fournir de l'éclairage ; et d'autre part, que le feuillage et le tourteau sont consommés par les chèvres. LEON l'AFRICAIN nous révèle qu'à cette époque, l'arrière pays de l'actuelle Essaouira (oued Igrouzar, « région du Hea ») est pleinement cultivé : « Les habitants sont tous agriculteurs. Leurs terres sont bonnes pour l'orge,...ils possèdent un très grand nombre de chèvres ».

Les recherches de BERTHIER (1966) mettent en valeur la construction d'une sucrerie au XVI^e siècle sur les rives de l'oued Ksob à une vingtaine de kilomètres de l'embouchure. Il s'agit de la sucrerie de Souïra El Qedima, à ne pas confondre avec le douar situé autour du fort portugais d'Agouz à l'embouchure de l'oued Tensift. Celle-là fut construite en terrain forestier (forêt de Tahalla). Dans la région de l'Atlas atlantique, trois autres infrastructures de ce type ont été édifiées : la plus proche d'Essaouira étant celle de l'actuelle cuvette aride de Chichaoua ; la deuxième sur les rives de l'oued Tensift et la troisième sur les rives de l'oued Souss, aux environs de Taroudant.

Le royaume du Maroc s'était alors fixé pour objectif de produire et d'exporter du sucre. On connaît l'importance des quantités d'eau à mobiliser pour les cultures de cannes à sucre, culture tropicale par excellence, à savoir l'eau d'irrigation mais aussi celle utilisée en force motrice nécessaire à l'extraction et à la production de sucre. Ainsi l'auteur nous dit que l'acheminement de l'eau a nécessité « des kilomètres de séguias en excellent pisé » exigeant une consommation de chaux considérable et par conséquent une consommation en bois local toute aussi considérable à laquelle il faut ajouter celle de la cuisson des céramiques.

De plus, les ressources en bois ont dû alimenter les raffineries proprement dites (cuisson des jus) mais aussi être mobilisées pour la confection des broyeurs et des presses. L'arganier est un bois régional très dense constituant un combustible très énergétique (cf. plus bas).

Le détournement des eaux du Ksob a vraisemblablement porté sur des quantités très importantes d'autant plus que les coupes forestières ont asséché les sols et à la fois accéléré et accru le « pompage » naturel de la nappe phréatique. A l'interface phytosphère/atmosphère, le cycle de l'eau a obligatoirement subi de profonds bouleversements. L'arganeraie a énormément souffert et fait les frais des déboisements effectués pour la production du sucre (ER-RAFIA, 1975, in AOUAD, 1989). La mise en culture de la canne à sucre a nécessité des défrichements sur des superficies très larges.

En somme, comparativement aux autres activités de l'époque, l'agro-industrie du sucre dévoreuse d'énergie a demandé de grands moyens dont les chérifs ont voulu se doter et que l'administration saadienne s'est obstinée à maintenir plus tard. Ces derniers ont manifesté une forte obstination (DIEGO DE TORRES, MARMOL, EL OUFRANI, in BERTHIER, 1966) afin d'atteindre leur objectif pour deux raisons principales : la première étant économique ; le sucre symbolisait une denrée de luxe et en tant que produit d'exportation, il devait être source de richesses inestimables surtout depuis l'essor du marché du sucre postérieur à la découverte du Nouveau Monde où la canne à sucre fut introduite à Hispaniola. La seconde étant la fonction médicale ; le sucre était un produit très utilisé dans la pharmacopée de la médecine arabe souvent imitée par la médecine européenne du Moyen-Âge.

Mais dès le début du XVIIIe siècle, la production du sucre marocain disparaît brusquement (BERTHIER, 1966). Plusieurs raisons que l'on peut classer en deux catégories sont invoquées : un déséquilibre socio-économique et un déséquilibre du milieu. Mais la littérature aborde parfois ces deux ensembles de causes d'une manière commune et unique, rappelant l'approche géosystémique. BRAUDEL (1949, in BERTHIER, 1966) s'exprime ainsi à propos de la culture de canne à sucre : « La calamité avec la canne c'est que là où elle occupe le sol, elle interdit toute culture intercalaire et restreint donc automatiquement l'espace des cultures vivrières normales...Dévastatrice des équilibres anciens, cette nouvelle venue est d'autant plus dangereuse qu'elle est soutenue par un capitalisme puissant, venu au XVI^e siècle de tous les horizons, d'Italie comme de Lisbonne ou d'Anvers ».

De même BERQUE (1953, in BERTHIER, 1966) décrit les bouleversements entraînés par l'implantation de la canne à sucre et son exploitation à Essaouira : « ...les incidences que l'innovation peut comporter : rupture d'équilibre agricole et gaspillage humain. Il est à peine besoin de dire que ni le sucre n'était encore au Maroc de consommation courante, ni la canne une culture vivrière. Qu'on imagine combien pouvaient être contraignantes, défigurantes, dépeuplantes, ces plantations royales usurpant en irrigué la place de l'orge ». Il est important de signaler aussi l'affirmation de SORRE (1951, in BERTHIER, 1966) : « les troubles politiques ont toujours eu pour conséquence le retour d'une partie du sol au désert ». Et à propos de facteurs politiques comparables étant susceptibles d'agir ailleurs que dans la zone aride, GOUROU (in BERTHIER, 1966) décrit une situation semblable au cambodge (région d'Angkor) à travers les razzias siamoises.

Plus limité aux inconvénients sociaux posés par la canne à sucre à Essaouira, BERQUE (1953, in BERTHIER, 1966) poursuit :

« 1°-existence d'une forme d'esclavage... ;

2°-occupation par la canne des meilleures terres irrigables au détriment des cultures vivrières... ;

3°-non-consommation sur le plan local d'un produit presque entièrement destiné à l'exportation....

Il ne faudrait d'ailleurs pas croire que les inconvénients n'aient pas été ressentis au Maroc par les populations de l'époque et que certaines réactions ne se soient pas manifestées ».

L'auteur fait ici référence aux ravages faits par la peste et rapportés dans « l'Avis du Maroc » de 1598 (in BERTHIER, 1966) ainsi qu'aux révoltes portées contre les sucreries évoquées par

certain auteurs anglais : « rebellions is in many places and they threaten the ransacke and spoyle of the inginies », (anonyme, in BERTHIER, 1966).

Concernant la dégradation de facteurs naturels qui ont causé l'arrêt des productions de sucre (altération des facteurs climatiques), les historiens GSELL et BRAUDEL (in BERTHIER, 1966) sont très réservés alors que pour BERTHIER (1966) la situation semble claire : « Pourtant la situation devant laquelle nos recherches nous ont placé est bien nette. Dans les deux grands secteurs étudiés du Haouz et du Souss nous sommes en présence de témoignages irrécusables d'un équilibre hydraulique nettement meilleur que celui que nous observons de nos jours. Il semble bien que les régimes de l'oued Ksob, de l'oued Chichaoua, de l'oued Souss se soient déréglés, leurs débits appauvris...Il s'est donc produit quelque chose...il faut encore ici en revenir à l'action humaine et invoquer le déboisement, la dégradation des sols, le dérèglement des régimes en ayant été la conséquence. L'importance de ce déboisement a même pu être chiffrée en partant de données écologiques et techniques. C'est ainsi que M. P. Boudy l'évalue à 6 millions d'ha pour l'ensemble du Maroc dont 800 000 pour la région de l'arganier...(1948) ». BERTHIER (1966) souligne également que le Service des Eaux et Forêts du Maroc a constaté la disparition du thuya ou sa dégénérescence dans le périmètre de la sucrerie.

Il semble évident et incontestable que l'implantation et le fonctionnement de telles infrastructures agro-industrielles aient bouleversé localement en tous cas, le bilan radiatif, le bilan hydrique, le bilan hydrologique voire le bilan microclimatique et plus largement par échanges au sein de la circulation générale de l'atmosphère, le bilan climatique. On prend alors conscience de la difficulté d'évaluer les perturbations engendrées par de telles activités. Si le poids de l'agro-industrie et d'autres secteurs économiques dans la modification des géosystèmes forestiers est très connu, on ne sait pas le mesurer ou trop peu (C. SIMONE, 1996).

Dans les proches environs de l'actuelle Essaouira, les deux exemples précédents du XVI^e siècle nous indiquent une forte emprise humaine, d'autant plus forte que l'objectif de hauts rendements destinés à l'exportation est visé. Et nous allons voir que la période contemporaine ne va qu'accélérer ces processus.

3) L'essor urbain et commercial contemporain

A partir de la fin du XVIII^e siècle, une rupture importante se produit car à l'inverse de l'installation de la sucrerie dont le fonctionnement a duré moins d'un siècle, l'implantation d'une véritable ville sur le site de Mogador va permettre d'y développer l'urbanisme durant plus de deux siècles.

Dessinée par l'ingénieur Cornut, prisonnier du sultan Sidi Mohammed Ben Abdallah qui décide de construire Essaouira en 1765, la cité a pour fonction de constituer une base navale permettant de faciliter le contrôle de la partie méridionale du pays et de dynamiser les échanges commerciaux avec l'extérieur et notamment avec l'Europe.

Pour alimenter l'édification de la ville, mais aussi pour subvenir aux besoins quotidiens de la population plus nombreuse en raison d'une mobilisation de main d'œuvre et d'une installation définitive, les ressources en bois local vont être extrêmement sollicitées. Ainsi, bois d'œuvre et bois domestique ou de combustion (nourriture et chauffe) sont consommés en masse et les forêts locales de genévriers, de thuyas et d'arganiers vont faire les frais de cette demande ponctuelle et intensive. Mais le caractère ponctuel de cette consommation accrue va en réalité devenir permanent avec le développement urbain et commercial (C. SIMONE, 1996).

En Afrique de l'Ouest une dégradation climatique dont le début a été « marqué par de grandes sècheresses (1681-1687), famines de 1738, 1756 » est notée (RISER, 1987). L'auteur poursuit : « les années 1771-1775 furent appelées les « destructrices » dans les chroniques du Trarza. La sécheresse se généralise peu à peu à partir de 1800. Elle culmine, dans les régions sahéliennes et soudaniennes avec les années 1828-1839. Le lac Tchad s'assèche partiellement ».

La coïncidence entre la période de construction d'Essaouira qui a débuté en 1765 et les années « destructrices » tel que les nomme le périodique mauritanien cité plus haut est frappante. Et si la mousson a faibli en Afrique de l'Ouest, les précipitations engendrées par l'air tropical maritime sur la côte occidentale du Maroc ont évolué dans le même sens si bien que les déboisements opérés en périphérie pour bâtir la ville ont pleinement coïncidés avec une péjoration climatique aride pesant lourdement sur la phytomasse locale.

Aussi, l'importance du développement urbain à la fin du XVIII^e siècle occulte trop souvent dans la littérature l'urbanisation antérieure qui a d'abord pris forme durant le XV^e siècle. Cette obsession ou occultation trouve peut-être son explication par le fait qu'il s'agit en 1765 d'une décision officielle « royale » et qui a intéressé la colonisation française (cf. plus bas). Ainsi, décrivant l'organisation économique et sociale des Haha avant les Saâdiens (XV^e siècle), RAFIK (1989) note : « Le phénomène urbain est de ce fait le résultat d'une situation de guerre et de conflit quasi-permanente ; non pas l'aboutissement d'un quelconque processus de développement comme on serait porté à le croire ». L'auteur souligne donc les deux versants des conflits guerriers à savoir, constructions/destructions et les géosystèmes dans lesquels s'inscrivent les populations évoluent en fonction de ces relations.

Pour exemple on peut citer le conflit guerrier qui opposa un peu plus tard en 1844 l'armée française à celle du Maroc, à Mogador même, dont CAILLE (1852) relate les événements : « dès le début du bombardement, les habitants de Mogador avaient pris la fuite et les tribus des environs, Haha et Chiadma, s'empressèrent d'envahir, de piller et d'incendier la ville ». De même, BACHE (1861) évoque le siège de Mogador : « Aussi Mogador a-t-elle eu beaucoup plus à souffrir du bombardement que Tanger. Une grande partie des maisons s'écroulèrent sous les projectiles... ». Si les besoins en bois de construction ont été importants lors de l'édification de la ville, ils ont très probablement fallu multiplier ces besoins par deux en vue de sa reconstruction au milieu du XIX^e siècle et ainsi de suite. AÏT MESSAOUD (1995) mentionne également les bombardements de 1844 par les lourdes conséquences qu'ils ont entraînées sur le florissant commerce entre Essaouira et l'Europe.

Simultanément à la construction de la ville (transition XVIII^e-XIX^e siècle), une activité portuaire considérable se développe. En effet, si Mogador est un site de mouillage apprécié des navigateurs après être devenue une place forte, elle va devenir un carrefour commercial prépondérant tant pour les liaisons marocaines entre le Sud et le Nord du pays que pour celles entre l'Afrique et l'Europe. Ainsi BACHE (1861) précise que l'exportation à partir de Mogador porte sur les matériaux suivants : «...gomme arabique, sandaraque, plumes d'autruche, cire, laine, cuivre, olives, dattes, figues, raisins, huiles, dents d'éléphant, tapis, nattes, etc. Ces produits sont échangés contre des bois de construction (dont le pays manque absolument),... ». Cette information fort intéressante permet de poser la question de l'origine du bois. La pression anthropique a-t-elle été si forte un demi-siècle auparavant que cette matière première fait déjà défaut localement ? D'autant plus que le conflit de 1844 est à l'origine d'une nouvelle demande pour reconstruire la ville ! Ainsi dans les années 1850 les ressources en bois étaient importées indiquant déjà à l'échelle locale de lourdes pénuries pour cette matière première.

Lorsqu'on lit BACHE (1861) à l'inverse de bon nombre d'auteurs, il semble que la question de la surexploitation massive et incontrôlée des forêts locales n'ait pas lieu d'être : « Mogador s'élève, blanche et coquette, au milieu d'une vaste lande de sable qui s'étend à dix lieues dans l'intérieur, et qui, sur la côte, se prolonge pour ainsi dire jusqu'au cap Spartel, tant les terres y sont basses ». Dans le même esprit l'auteur poursuit : « Sidi-Mohammed, en fondant la plus jolie ville de son empire, semble en avoir disputé l'emplacement au double océan de sable et d'eau qui l'enveloppe et la presse de tous côtés ». Cependant, l'auteur traduit déjà la présence du sable, sa constance et sa prégnance dans le paysage et l'intensité de la dynamique dunaire : « ...à l'Est de la ville que s'étend la mer de sable, dont les vagues, menaçantes et sans cesse agitées, s'amoncellent incessamment autour des remparts ;... nombreuses ophtalmies qui sévissent sur la population... ».

L'isolement de l'auteur face à la multitude d'avis plus engagés laisse penser que s'il a mentionné le développement dunaire et l'oppression qu'il engendre autour de la cité, il a simplement ignoré la question de la surexploitation du bois ou le lien existant entre les deux.

En revanche, de son « voyage à Mogador » qu'il effectue en 1859, BACHE (1861) retient un élément intéressant qui ajoute un peu plus de poids à la charge de l'anthropodépendance de certains éléments du géosystème : la présence de la gazelle dont l'étymologie est d'ailleurs arabe (ghzelâ). L'auteur raconte : «...on rencontre communément, dans les maisons un peu aisées, un quadrupède...nous voulons parler de la gazelle...à Mogador il semble avoir été réduit au plus complet état de domesticité, sans que, pour cela, il ait rien perdu de sa grâce, de sa finesse et de son élégance primitive : élevé en toute liberté, il bondit avec autant d'agilité que dans le désert...s'apprivoise dès sa naissance...à la fois l'ornement d'une maison et le compagnon ordinaire des jeux d'enfants ». Il y a un peu plus d'un siècle, il était donc courant de voir des gazelles domestiquées à Essaouira illustrant l'emprise anthropique sur la faune. Aussi, la pression de la chasse a joué un rôle considérable ; par exemple le dernier lion au Maroc a été tué en 1925 à Ain Leuh près de Meknès (BOUDY, 1958).

L'expansion commerciale du XIX^e siècle accompagna et suivit l'essor urbain. Entre les années 1859 et 1866 la part du commerce maritime de Mogador dans le commerce marocain s'élève en moyenne à 27,1 % (MIEGE, 1962, in RAFIK, 1989), valeur considérable pour une ville de taille modeste. Parmi les produits exportés de Mogador, la gomme du Maroc dont la gomme sandaraque prend une large part. Entre 1846 et 1881, elle s'élève à une moyenne proche de 203 t/an sachant qu'elle est représentée uniquement par la gomme sandaraque en 1875, 1878 et 1881. L'exportation de cette dernière entre 1846 et 1884 représente une moyenne supérieure à 154 t/an (MIEGE, 1962, in RAFIK, 1989). L'auteur dresse aussi des tableaux de valeurs du volume monétaire reflétant le commerce avec la France, le Portugal, la Grande Bretagne, l'Espagne et la Belgique à partir de Mogador durant la période 1859-1884. La gomme sandaraque est tirée du thuya communément appelé thuya de Berbérie qui forme la deuxième espèce arborée régionale après l'arganier sur le plan de l'étendue (cf. chapitre III1). La récolte de gomme sandaraque a longtemps perduré dans les tétraclinaies proches d'Essaouira assurant des revenus très lucratifs. Elle est aujourd'hui complètement interdite par mesure de protection sylvicole et depuis les progrès de la chimie. En effet, son extraction (le gemmage) exige d'inciser le fût jusqu'à l'aubier et de laisser saigner l'arbre pendant plusieurs semaines afin de récupérer le produit dans un récipient accroché. Après exportation la gomme était destinée à la pharmacutique et à la fabrication de vernis et produits siccatifs. Cette pratique dont le moins qu'on puisse dire est qu'elle ne respecte aucune règle sylvicole, d'autant moins que l'appât du gain par le rendement peuvent être très forts chez certains professionnels du commerce, a mutilé et tué des quantités impressionnantes d'individus réduisant à l'état de taillis très clairsemés les anciennes futaies denses (BOUDY, 1950).

A partir de la fin du siècle, l'extinction des clippers et l'avènement des bateaux à propulsion plus rapides et de plus gros tonnage ont augmenté le rythme et le volume des exportations et par conséquent entraîné un accroissement des productions de gomme sandaraque pour les besoins d'une demande limitée jusqu'alors par la capacité exportatrice des clippers.

Tout au long du XIX^e siècle et durant la première moitié du XX^e siècle, parallèlement à l'essor commercial de Mogador et à sa vocation portuaire intense, l'approvisionnement en toutes sortes de produits destinés à l'exportation a suivi la même croissance. Ainsi ces produits arrivaient par caravanes entières de régions intertropicales d'Afrique occidentale comme d'Afrique orientale. BOVIN (1846, in AÏT MESSAOUD, 1995) rapporte dans les Archives Nationales (Paris) que les principaux articles d'exportation de Mogador sont les gommes de Tombouctou et du Soudan, les amandes, les peaux de chèvres, les peaux de veaux, les laines, l'huile d'olive et les plumes d'autruches. Pour AÏT MESSAOUD (1995) « c'est le seul port qui avait à cette époque de puissants rapports avec certains pays africains...Essaouira était une escale de caravanes annuelles. » POBEGUIN (1906, in AÏT MESSAOUD, 1995) retient dans ses « Notes sur Mogador » que « les chameaux de Mauritanie venaient autrefois jusqu'à Mogador. La grande caravane de Septembre comprenait parfois, paraît-il, cinq cents têtes ; elle apportait les objets précieux, poudre d'or, plumes d'autruches, esclaves et retournait avec des guinées, du sucre et du café..., il est à remarquer qu'elle apporte au Maroc une quantité notable d'or français venant du Sénégal. » D'autres auteurs et voyageurs ont relaté dans leurs notes et mémoires les relations régulières et intenses entre Mogador et l'Afrique intérieure malgré « l'insécurité des pistes et des routes commerciales » (AÏT MESSAOUD, 1995). Ainsi les caravanes mauritaniennes apportaient par le Sahara du Sénégal et du Niger de l'ivoire, des plumes d'autruches et de la poudre d'or. La ville importait aussi des cotonnades bleues du Soudan utilisées par les berbères. Les ARCHIVES GENERALES de RABAT (1844, in AÏT MESSAOUD, 1995) mentionnent qu'« En 1844 on estimait généralement que les caravanes du Soudan de Wâd Nûn fournissaient le tiers des exportations de la ville. » Au vu de ces informations il apparaît que l'occupation de Mogador et de ses proches environs se produisait avec une fréquence relativement élevée créant ainsi un afflux de population (commerçante) et d'animaux (camelins notamment) susceptibles d'accroître fortement la pression sur la végétation locale par le surpâturage et les besoins en bois de combustion (cuisine et chauffage). Il fallait en effet, fournir des quantités de fourrage importantes pour rassasier chameaux et dromadaires des diverses caravanes qui arrivaient fatigués de contrées africaines lointaines après avoir traversé la zone saharienne. En fin de parcours, feuillages et branchages d'arganiers entre autres, ont alors formé un pâturage suspendu idéal très convoité et facilement accessible. Ces afflux réguliers ont perduré pendant près de deux siècles et ont certainement marqué un impact sur les géosystèmes locaux par leur ampleur. Il convient de remarquer que si les caravanes marchandes ont dû suivre et s'adapter à l'augmentation du rythme et du volume des échanges à Mogador durant presque deux siècles, la position de carrefour de la ville ouverte sur l'océan est historique. Située sur le passage d'une des principales routes caravanières d'Afrique (TERRASSE, 1985) et à la croisée de plusieurs pistes transafricaines, elle a constitué pendant des siècles à la fois un « terminal » sur le continent africain et un relais maritime tourné vers d'autres continents tels que l'Europe et l'Amérique (AÏT MESSAOUD, 1995).

L'instauration du protectorat français entre 1912 et 1956 marque une étape fondamentale dans la gestion des géosystèmes d'Essaouira par une double attitude. D'une part, accompagnant cette tendance générale à une augmentation des volumes d'échanges, les productions doivent suivre et la mécanisation du XX^e siècle n'arrange rien

pour les forêts haha et chiadma, bien au contraire. En effet, comme il a déjà été évoqué, le bois d'arganier fournit un charbon d'une excellente qualité et constitue ainsi une source d'énergie précieuse pour la région. Les rendements ont connu des pics de consommation, notamment pendant les premier et second conflits mondiaux pour alimenter les moteurs à gazogènes (EL YOUSFI, 1988).

D'autre part, l'administration locale met en valeur une nouvelle perception du milieu par un effort de gestion de l'espace rural qui consiste à fixer le paysage mouvant qui entoure la ville et s'étend plus au Sud.

La période 1914-1918 a soulevé une surexploitation de combustible que l'on a eu beaucoup de facilité à trouver en l'arganier. D'autant plus que certains négociants n'ont pas hésité à étendre leur activité. Autour d'Essaouira, les coupes charbonnières libres de tout contrôle s'élevaient en 1919 à 70 000 quintaux puis culminaient à 160 000 q à la fin des années vingt (VALLEE, 1995).

En effet, au début du siècle, la région des Chiadma s'étendant d'Essaouira au Tensift était encore couverte d'arganiers qui ont été détruits pour faire du charbon et dans le même temps, pour répondre à une conception économique fautive d'après BOUDY (1950) en cédant la place à la culture des céréales (orge pour l'essentiel et blé) sur des terrains impropres. La surface ainsi défrichée s'élève à plus de 200 000 ha (BOUDY, 1950) et selon le même auteur, le rythme des coupes près d'Essaouira progressait à raison de 2 000 ha/an. A ce stade, une question se pose naturellement : a-t-on cautionné auprès des populations autochtones les déboisements d'arganiers par la substitution d'une culture céréalière ? Ou a-t-on naïvement cru en une culture plus fiable capable d'amener des ressources alimentaires plus consistantes et porteuses d'un meilleur avenir ? Toujours est-il que ces cultures de subsistance laissent les sols à nu la majeure partie de l'année, les exposant à l'érosion éolienne intense étudiée plus haut et à l'érosion hydrique qui conjointement emportent rapidement la couche arable et entraînent assèchement édaphique et désertification.

Le charbon de bois fabriqué dans la région alimentait essentiellement la ville d'Essaouira et parfois d'autres villes du royaume telles que Marrakech, Safi et Casablanca. Son exportation se faisait aussi vers l'Espagne, la France, l'Italie et le Portugal (ER-RAFIA, 1975, in AOUAD, 1989).

Les défrichements et déboisements dont a souffert l'arganeraie correspondent à une véritable déforestation ; en effet, l'aspect steppique qu'il revêt aujourd'hui avec un pavage caillouteux de type reg est le résultat d'une dégradation d'origine anthropique majeure (fig. 64 page suivante). D'anciennes photographies collectées dans l'ouvrage de BOUDY (1950) montrent des peuplements denses dans la forêt d'Admine (Souss) qui malgré la perte de 2,6 % de sa surface par an entre 1969 et 1986 (EL YOUSFI, 1988) reste un des plus beaux vestiges de toute la région de l'arganier avec son sous-bois protecteur épais ; ces photographies montrent aussi des individus pouvant atteindre plus de 10 m de haut sous futaie alors que d'autres apparaissent à l'état de taillis ou cépées indiquant les rejets de souche postérieurs à certaines mutilations. Sur les plateaux intérieurs d'Essaouira, dans la vallée de l'oued Ridi peut-être plus que partout ailleurs, les taillis sont très jeunes, très maigres et très clairsemés.

Mais un point essentiel réside dans le fait que plus aucun sous-bois n'existe excepté dans la forêt d'Admine, faible superficie (22 690 ha) par rapport à la superficie totale de l'arganier (700 000 ha) où l'arbre est aujourd'hui encore menacé malgré des mesures de protection importantes. Le sous-bois dont la principale espèce est *Rhus pentaphylla* (le sumac à cinq feuilles) avait pour fonction, outre le fait de constituer un géohorizon du géosystème de l'arganier, d'assurer la protection des graines et des jeunes pousses en vue de leur croissance équilibrée. En effet, l'arganier est une essence forestière à régénération par semis très

aléatoire et ce handicap naturel était compensé par le sumac à cinq feuilles et les espèces associées, éléments essentiels à l'équilibre des peuplements. Il ne subsiste actuellement qu'à l'état de haies délimitant les parcelles ou en bordures de chemins et de routes.

Si la physionomie tortueuse et épineuse de l'arganier lui conférant le type africain de la zone aride tel qu'*Acacia raddiana* peut l'incarner et si par son ancienneté remontant à l'ère tertiaire (BOUDY, 1950) il semble exprimer des qualités de rusticité et de robustesse comme on l'a souvent écrit, il ne faudrait pas s'y tromper, les signes de sa fragilité inhérents à bon nombre de végétaux sont tangibles. La figure 64 ci-dessous montre une partie de l'arganeraie à Sidi Yacine (5 km d'Essaouira) sur les bords de l'Oued Ksob.



Fig. 64 : Arganeraie de Sidi Yacine et croûte carbonatée utilisée comme carrière de calcaire ;
Clichés : Claude SIMONE, le 8 VI 1994.

L'aspect steppique de l'arganeraie est devenu le lot commun de quasiment toute son étendue. Ici près d'Essaouira, la proximité de l'oued Ksob ne profite pas au couvert végétal de l'arganeraie ; inexistence de sous-bois, sol à faible capacité de rétention, tapis herbacé très maigre et pavage grossier (fig. 64a).

Les croûtes calcaires épaisses et très répandues sont souvent exploitées par les populations locales comme carrière afin de réduire le calcaire en chaux utilisée dans l'habitat pour enduire les façades (fig. 64b). Cette réduction du calcaire en chaux se fait par combustion et nécessite bien sûr d'énormes besoins en bois local afin d'atteindre la température optimale et un temps de chauffe suffisamment long. Les fours à chaux se rencontrent fréquemment dans la région et l'arganier dont le pouvoir énergétique est élevé (bois très dense et à combustion longue) fait les frais de cette activité. Pratiquée depuis plusieurs siècles, la production de chaux est un des principaux responsables de la désertification locale et régionale conjointement aux activités situées en aval de l'extraction minière (ROSENBERGER, 1970).

Conjointement aux facteurs de défrichements et de déboisements de l'arganeraie le surpâturage des chèvres essentiellement, mais aussi des dromadaires qui du haut de leur stature broutent le feuillage et des ovins qui renforcent ce phénomène au sol, a un poids historique lourd. Les caprins ne se contentent pas de dévorer la strate herbacée en broutant les jeunes pousses mais grimpent sur l'arganier dont le tronc tortueux facilite l'accès et consomment avec voracité les feuilles dont ils sont friands bien que de petite taille et entourées de longues épines courant le long des branches (fig. 65 ci-dessous).



Fig. 65 : Pâturage caprin et ovin sous arganeraie à faible phytomasse ;
Clichés : Claude SIMONE, le 8 VI 1994.

Seuls les caprins grimpent sur les tronc d'arganiers pour brouter les petites feuilles de leur couronne ; les ovins doivent se contenter du maigre pâturage au sol.

Il convient de préciser qu'en situation d'équilibre du géosystème donc de relations régulées entre ses éléments qui appartiennent à la zoosphère, la phytosphère, la pédosphère, l'hydrosphère, l'atmosphère, la lithosphère et l'anthroposphère on parle simplement de pâturage. Aucune raison ne peut entraîner la prolifération d'un cheptel. Le concept de surpâturage n'a lieu qu'en cas de déséquilibre entre certains de ces éléments. En l'occurrence, le déséquilibre est ici d'origine anthropique ; la déforestation consiste en une dénudation et provoque l'assèchement des sols, puis le bouleversement du cycle de l'eau, celui des microclimats, une érosion accrue et par feedback, un auto-entretien du phénomène qui tend vers un état dégradé où la phytomasse ne se renouvelle plus, laissant de côté les éléments biotiques qui sont susceptibles de vivre en symbiose avec elle, c'est à dire les troupeaux. Et la population « récolte les fruits » de cette dégradation puisque la majeure partie elle vit dans l'espace rural plus que dans l'espace urbain des revenus de cette économie (RAFIK, 1989).

A titre d'extrapolation et même si on passe de la zone tempérée semi-aride à la zone équatoriale, plus de la moitié des précipitations qui s'abattent sur la forêt amazonienne provient de la condensation de l'hydromasse évapotranspirée par cette même forêt (SALATI et al., 1983 et 1984, in RAMADE, 1987). Il ne s'agit pas ici de comparer le volume de l'hydromasse mise en jeu dans ce processus bioclimatique mais bien le processus lui-même qui est en réalité, qualitativement identique puisque les transferts de flux d'énergie et de matière se produisent partout à l'échelle du globe avec des variations spatio-temporelles et quantitatives.

Dans la région d'Essaouira, le surpâturage consécutif au déséquilibre provoqué par les défrichements et déboisements est renforcé par les effectifs sahariens qui remontent lors des années de sécheresse (VALLEE, 1995).

Plus que le premier, le second conflit mondial a marqué des maxima de consommation du bois d'arganier comme combustible (AOUAD, 1989). Il est difficile de trouver des données chiffrées de ces pointes de consommation mais il convient de distinguer un mode d'exploitation traditionnelle que LE HOUEROU (1973 et 1977, in AOUAD, 1989) évalue à 1,3 stères par habitant et par an (1,5 kg par habitant et par jour), d'un mode d'exploitation intensive où la production de charbon dépasse largement la productivité de bois d'arganier comme ce fut le cas durant les deux conflits mondiaux.

Par exemple, de 1939 à 1946, l'économie de guerre a imposé une consommation poussée de 1 672 000 q de charbon de bois dont 75 % d'arganier faisant 238 857 q/an. En 1942 dans la localité d'Agadir seulement, 185 000 q dont 135 000 d'arganier ont été consommés (VALLEE, 1995). En réalité, les pics de consommation de 1914-1918 et de 1939-1945 constituèrent des étapes pour installer définitivement un niveau de consommation égal ou supérieur au précédent (cf. plus haut).

Sachant qu'un hectare d'arganiers fournit entre 0,3 et 0,7 stère par an pendant 150 ans contre 40 stères pour l'eucalyptus, 80 fois plus (VALLEE, 1995), on imagine la pression qui pèse sur cet arbre dont la densité moyenne des peuplements était de 150 à 200 pieds par ha il y a cinquante ans contre 10 à 50 aujourd'hui (AL BAYANE, 1995) ; soit une densité moyenne 6 fois moins élevée ! L'espacement des arbres est devenu important et cette densité très lâche (cf. fig. 63) favorise l'évaporation et l'assèchement des sols déjà peu humides.

Soulignant les rôles socio-culturel et socio-culturel de l'arganier, EMBERGER et BOUDY (1934) résument très bien l'identité de cet arbre symbolique dont la richesse dépasse le Sud-Ouest marocain qu'il occupe : « L'Arganier habitant les pays les plus arides du SW marocain laisse derrière lui le désert, et c'est sans doute pour cette raison qu'il n'a pas été complètement détruit par la population indigène. Le rôle social de l'arbre est en effet considérable. L'Arganier est comparable au Dattier des Oasis ; tout sert chez lui : son bois, seul bois d'oeuvre et de chauffage, ses feuilles, seul fourrage pendant la saison sèche, ses fruits

fournissant la seule huile comestible qui constitue la seule monnaie d'échange des populations du SW ». Précisons que si l'huile d'arganier est un ingrédient important des délicieux tajines locaux entre autres, elle entre dans la composition de produits cosmétiques et à cet effet, est très convoitée par les laboratoires pharmaceutiques.

Entre 1953 et 1984 la politique d'expansion urbaine vers l'Est (cf. cartes n° 5 et 6) dont l'impact sur le géosystème dunaire a été analysé au chapitre VI2A a sollicité des prélèvements en bois et branchages d'autant plus faciles à extraire que les chantiers jouxtaient l'espace forestier.

De plus, l'accession à l'indépendance a conduit les autorités marocaines depuis 1956 à orienter l'activité économique du pays vers le tourisme. Essaouira surnommée « la perle du Maroc » en est le symbole le plus représentatif. Un artisanat de luxe traditionnel utilisant le thuya dans l'ébénisterie et la marquetterie a connu un très grand essor sous l'impulsion d'une consommation de masse touristique. Le fût est utilisé mais aussi la loupe et les commodités d'un approvisionnement in situ ont accéléré la dégradation des tétraclinaies locales et régionales, dégradation déjà bien avancée par le gemmage (cf. plus haut).

En parallèle à la consommation excessive de bois tout au long du XX^e siècle, une nouvelle perception des géosystèmes naît dans les années 1910. Il s'agit en réalité plus de répondre à un problème majeur et profond qui est celui de l'ensablement de la périphérie urbaine que d'une prise de conscience réelle de la fragilité et de la précarité des géosystèmes. Dès 1918 sous l'initiative de l'administration locale, les secteurs ensablés qui isolent la ville entre océan et dunes sont voués à être stabilisés par la plantation d'espèces arborées. C'est le plan de fixation décrit au chapitre VIIA). Alors que la notion d'environnement parmi les sociétés du début du siècle n'est pas encore née, on ne peut évoquer ici une politique environnementaliste au sens strict du terme telle qu'elle se pratique aujourd'hui ; mais en tout cas d'un début de prise de conscience et d'application. Ainsi les efforts prolongés ont porté leurs fruits puisqu'à la fin des années 1980, 11 444 ha de dunes vives ont été boisées dont 6 672 en acacias et eucalyptus et 4 772 en genévrier de Phénicie (HOUMYD et ALLAM, 1990). Le secteur Nord a été réalisé dès les premières années du plan, le secteur Sud jusqu'au cap Sim formant une deuxième étape (cf. carte n° 7). Une législation a été mise en place concernant la protection de ces périmètres boisés à travers les mises en défens par exemple. Il est à noter que le cadre législatif en vigueur au niveau des politiques environnementales repose aujourd'hui encore sur un dahir de 1917 établi sous le protectorat (communication orale, 1998).

Lorsqu'on parcourt ces espaces, le sable est encore mobile partout sur le massif dunaire et la végétation joue son rôle fixateur beaucoup plus sur le plan mécanique que sur le plan biologique. D'où une instabilité et une fragilité encore notables qu'il serait mauvais de négliger.

A l'évidence, une telle intervention humaine devant les dangers de l'ensablement constitue un phénomène anthropique qu'on ne peut nier.

Ainsi, la question de l'ensablement n'est toujours pas réglée (fig. 40 et 41) témoins la medina et les routes envahies par le sable ; l'extension urbaine à l'Est de la ville se poursuit encore de nos jours en direction du massif dunaire. Des terrassements sont effectués et un réseau de canalisations pour l'approvisionnement en eau est installé (cf. fig. 40 et 42). Mais le couloir de déflation dont le fonctionnement a été décrit aux chapitres IV et VI est favorisé par ces terrassements effectués entre les dunes et le bâti ; et la dynamique dunaire par l'entame des dunes, le surpâturage et les parcours.

Un exemple très proche dans les types de processus mis en jeu est fourni par l'ensablement de Nouakchott et notamment de l'aéroport (SALAMA et al., 1991). La mobilité et la progression des sables dunaires à la fois impressionnante et préoccupante s'effectue suivant une direction

Nord-Est/Sud-Ouest sensiblement identique à celle relevée à Essaouira. Les mêmes flux alizéens sont encore le moteur de la dynamique éolienne mais cette fois sur un géosystème dont la tranche d'eau annuelle est bien plus faible puisqu'on est passé d'un climat sahélien pour la décennie 1951-1960 à un climat saharien ou désertique pour la période 1961-1985. Bien que protégées par une ceinture verte située au Nord, les infrastructures urbaines sont exposées à la dynamique dunaire et particulièrement l'aéroport construit entre ville ancienne et ville moderne dans le secteur Nord-Est de l'agglomération. Alimentées par des cordons qui longent l'enceinte, des dunes intérieures s'y sont développées et menacent constamment le trafic ; l'invasion des pistes par le sable constitue un grave danger comme l'a montré l'accident survenu en 1983.

Sans infrastructures aussi lourdes, Essaouira représente un cas similaire d'exposition à la dynamique dunaire.

La période contemporaine est marquée par la croissance urbaine qui entraîne de fait, de nouveaux rapports entre populations et géosystèmes.

D'une part, conflits guerriers et expansion économique aux XIX^e et XX^e siècles sont à l'origine d'un déséquilibre de ces rapports où la pression anthropique se fait nettement sentir à travers les demandes excessives en produits issus des végétaux (bois d'arganier, de thuya et de genévrier essentiellement, gomme, huile, tourteau, feuillage, et plantules diverses). La tendance à exploiter toujours plus les ressources en bois et végétaux nécessaires et indispensables au bon fonctionnement de la vie locale et régionale active la dynamique dunaire.

D'autre part, des mesures de fixation et de protection des dunes développées aux alentours d'Essaouira et plus au Sud sont mises en œuvre à partir du début du siècle. Elles consistent à apporter des réponses aux problèmes sanitaires posés par l'ensablement. Ayant donné satisfaction il serait préjudiciable que ces mesures soient trop vite oubliées et surtout qu'elles ne soient pas relayées par la recherche de nouvelles idées tant sur le plan législatif que technique.

Sous l'angle d'une approche plus historique de l'anthropisation, le concept géosystémique appliqué à Essaouira met en relief des phases aiguës de mode d'occupation de l'espace.

Très tôt, dès la protohistoire les ressources naturelles autour de l'île de Cerné sont exploitées par les populations locales alors que navigateurs phéniciens, puniques et plus tard romains découvrent le site d'abri côtier fort commode. Bois, coquillages et animaux divers y sont consommés mais si les conditions d'exploitation des géosystèmes dans les environs de Mogdoul sont assez mal connues à cette époque, on sait qu'ailleurs déjà (forêt de la Mamora par exemple) l'impact des sociétés sur la faune et la flore est prégnant. Et il perdure tout au long du Moyen-Âge.

La période moderne marque une rupture avec la découverte du nouveau Monde et les désirs d'asseoir sa domination sur de nouveaux territoires sont forts.

Les convoitises coloniales ne sont pas nouvelles puisque navigateurs antiques ont accosté à Mogdoul mais elles sont mieux connues et renforcent le poids des actions anthropiques sur l'espace naturel (les multiples constructions et destructions mobilisent des volumes de bois incommensurables).

De plus, l'exemple de la canne à sucre tout près de Mogador montre que l'ouverture du monde et la découverte de ses richesses attisent le désir d'enrichissement plus fortement que celui d'accès à la connaissance ou à l'épanouissement humain.

Les multiples expansions urbaines à partir de la fin du XVIII^e siècle et le développement du commerce notamment, exigent des rendements en bois toujours croissants jusqu'à nos jours. Mais si les guerres et leur économie jalonnent toujours l'histoire, le XX^e siècle est une

première : les besoins demandés par les deux conflits mondiaux accroissent très fortement les consommations de bois dans la région de l'arganier et autour d'Essaouira plus précisément.

Cependant la complexité de l'anthropisation en général et des impacts anthropiques constants et ponctuels (défrichements, déboisements et surpâturage) met en valeur un phénomène non pas nouveau mais un phénomène qui apparaît nouvellement alors qu'il se préparait depuis des siècles : la désertification.

Conclusion

Essaouira semble bâtie sur la mer ; le fameux grès de Mogador qui affleure sur le trait de côte et la position avancée de la station climatique l'illustrent. En revanche, le substratum analysé à travers les courbes granulométriques ne montre pas de faciès marin typique.

Les indices de cristallinité de la kaolinite relativement élevés, de la dolomite et de l'halite le long du profil indiquent des liens importants avec l'océan. Mais les apports terrigènes dominant même si deux sources de matériel ont fonctionné simultanément. La formation d'un marais maritime évoluant peu à peu en lagune par colmatage illustre le retrait progressif de l'océan et le retour à des conditions climatiques plus sèches à partir de 4 350 +/- 120 ans BP.

Depuis, cette évolution morpho-sédimentaire et topographique conditionne la répartition des peuplements végétaux, animaux et humains. Et la transition d'une dynamique hydrique à une dynamique éolienne indique une aridification du géosystème dont l'archéologie est traduite par une forte et ancienne empreinte humaine.

En effet, jusqu'à nos jours l'histoire de l'anthropisation et de ses répercussions sur les géosystèmes locaux est jalonnée de crises internes qui bouleversent leur fonctionnement et amènent des évolutions sur les plans phytogéographique, pédologique, hydrologique et hydrographiques entraînant une modification des processus d'érosion. L'état des géosystèmes et leur comportement dans l'espace et dans le temps fluctuent alors par rapport à la limite entre équilibre et déséquilibre ayant donné naissance en partie au géosystème dunaire actuel.

Ce dernier menace les infrastructures urbaines (ensablement, haloclastie) mais aussi les activités rurales (sylviculture, pastoralisme et agriculture) témoignant d'un déséquilibre actuel profond.

Conclusion générale

Entre océan et dunes, un cap balayé par le vent ; ce pourrait être l'image reflétée par la « bien dessinée » (Es-Souira) qui tient aujourd'hui une position isolée malgré la grande ouverture sur le monde qu'elle a pu avoir durant les siècles passés.

Si l'idée d'effectuer des boisements sur les dunes pour en fixer les sables a semblé porter ses fruits, la marque du déséquilibre actuel est frappante et la dynamique dunaire est accentuée par les activités anthropiques.

L'approche méthodologique articulée autour de deux axes de recherche fondamentaux qui constituent la problématique (formation et dynamique du géosystème dunaire et l'archéologie du paysage) comprend trois thèmes principaux : le concept de géosystème et son application, la dynamique du paysage et l'action et la portée de l'anthropisation.

Le premier volet consacré à la description des éléments biotiques et abiotiques ouvre sur l'identification de deux géofaciès qui structurent le géosystème dunaire suivant la forme d'une mosaïque dans sa partie occidentale :

- un géofaciès lagunaire dont le phytofaciès est une steppe à chénopodiacées et
- un géofaciès dunaire arboré à feuillus et résineux qui s'étend uniformément vers l'intérieur.

Le rôle majeur des facteurs climato-océaniques est souligné par les phénomènes d'upwelling et de haute pression subtropicale centrée sur les Açores et celui des caractères climatiques par le régime méditerranéen des faibles précipitations et le poids très influent de l'alizé NNE-SSW. Essaouira, classée dans le domaine bioclimatique semi-aride à hiver chaud est caractérisée par une topographie basse de plaine littorale qui favorise les accumulations dunaires. Sous l'effet d'une dynamique intense, ces accumulations se forment aussi sur les bas plateaux intérieurs mis en place par les fluctuations du niveau marin à l'échelle quaternaire.

Ces processus morpho-sédimentaires ont pour corollaire une couverture pédologique fragile caractérisée essentiellement par une faible épaisseur générale, de fortes concentrations en sels et une hydromorphie temporaire sur certains secteurs et la mobilité des particules et la xéromorphie sur d'autres. La répartition spatiale qui en découle détermine les géofaciès dont les sols squelettiques constituent le fondement.

Ainsi, la répartition des phytofaciès se calque sur la répartition précédente à savoir une steppe à *Sarcocornia fruticosa* et *Salsola longifolia* dans les cuvettes interdunaires à l'Ouest et un matorral arboré clair à *Acacia cyanophylla*, *Eucalyptus gomphocephala* et *Juniperus phoenicea* sur les dunes.

A travers la formation et la dynamique actuelle du géosystème, la deuxième partie s'applique à mettre en valeur les interactions entre éléments biotiques, abiotiques et anthropiques.

L'organisation spatiale des formations superficielles est déterminée tant sur le plan vertical que sur le plan horizontal. Les dunes actuelles se sont accumulées sur un substratum limono-

argileux quasi-imperméable constituant une surface tabulaire qui affleure au niveau des creux interdunaires.

Dans certains secteurs (couloir de déflation principal) ce substratum est creusé par une dynamique éolienne très efficace ayant provoqué une ablation cumulée de matériel (dunes et substratum) **de 3 cm/an** en moyenne depuis 50 ans. Dans un premier temps la déflation s'exerce exclusivement sur les dunes et dans un deuxième temps les flux alizéens chargés de particules abrasives très dures telles les quartzs mettent en action la corrasion.

La dynamique éolienne très vive capable de creuser le substratum est d'autant plus capable de dégager les racines d'arbres dans les dunes laissant peu de chances au développement optimal de la végétation et accentuant l'instabilité du géosystème dunaire.

Ce dernier connaît en effet une dynamique spatiale importante ; la cartographie et l'analyse diachroniques à partir de photographies aériennes montrent que la répartition des formations dunaires évolue considérablement dans l'espace et dans le temps confirmant l'activité éolienne très efficace et une instabilité antérieure à aujourd'hui. Entre 1953 et 1984, si le manteau végétal s'est développé et a pu favoriser l'ancrage de dunes libres à plusieurs endroits, il est encore trop tôt pour noter leur stabilisation et celle du géosystème.

L'hydrodynamisme tant superficiel que souterrain est plutôt faible compte tenu de la topographie locale et de l'endoréisme qu'elle impose.

Les eaux météoriques peu abondantes et très variables à l'inverse du régime alizéen remplissent temporairement les dépressions. Si elles favorisent une pénétration en profondeur du système racinaire de certains végétaux et tendent ainsi à ancrer plus efficacement les dunes, leur rôle est annihilé par l'alizé. Cependant, leur temps de résidence dans les cuvettes empêche le creusement du substratum.

Les eaux souterraines formées par un flux phréatique et un flux océanique dont l'interface se déplace suivant l'intensité des apports relatifs favorisent la concentration en sels qui cristallisent dans le substratum en profondeur et en surface avec l'évaporation. Le chlorure de sodium est porté par l'intrusion du biseau salé, le sulfate de calcium et le carbonate de calcium par les aquifères carbonatés et le carbonate de magnésium par une combinaison des deux.

Dynamique et interactions entre lithomasse, aéromasse et hydromasse s'organisent aussi verticalement suivant des géohorizons qui s'interpénètrent suivant des limites variables : actions de l'alizé sur le matériel sédimentaire du substratum et des dunes ; lames d'eaux océaniques et précipitées qui circulent dans les formations superficielles par capillarité pour les premières et par infiltration pour les secondes ; processus d'évaporation et de carboxylation.

Dans le cycle biogéochimique du silicium, les phytolithes forment un élément abiotique particulier dont la silice effectue des transferts entre lithomasse et phytomasse grâce à une partie de l'hydromasse jouant le rôle d'agent de transport.

Cet élément révèle tout l'intérêt qu'il incarne en permettant d'évaluer l'aridité édaphique et la variable température du bioclimat par le calcul d'indices à partir des assemblages modernes. Les assemblages modernes sont effectués et calibrés sur la végétation actuelle prêts pour des comparaisons avec les assemblages fossiles.

L'indice d'aridité édaphique montre que les arénosols dunaires sont caractérisés par une aridité maximale (**I_{ph} = 93 %**) dans la partie occidentale située aux abords de la ville. Ce secteur est le plus instable du géosystème (cartes 5 et 6). L'assèchement très rapide est activé par une très faible capacité de rétention et surtout par le souffle de l'alizé limitant le développement de la phytomasse dont le rôle est de stabiliser les dunes.

Les indices climatiques enregistrent tous de basses valeurs (**Ic = 26,6 %** en moyenne) signifiant la tendance thermophile des sous-familles de graminées et concordent avec les résultats dont les recherches portent sur la zone intertropicale en Afrique de l'Est (vallée de l'Awash, Ethiopie) et sur la zone tempérée d'un autre continent, l'Amérique (BARBONI et al., 1999 ; FREDLUND et TIESZEN, 1994).

Les éléments biotiques directement concernés par le fonctionnement du géosystème forment le manteau végétal qui recouvre les dunes. Celui-ci a été introduit dans l'objectif de les stabiliser mais se cantonner à étudier sa dynamique sans considérer les interactions avec l'anthropisation ou son anthropodépendance aurait été partiel.

Ainsi, le géosystème dunaire voue sa phytocénose à une fonction sylvo-pastorale entretenue par une politique de boisement. Cette dernière est remise en cause par le pastoralisme caprin et ovin ; mais également par une pression démographique élevée nécessitant l'expansion urbaine. En créant des couloirs de déflation et en favorisant la mobilité des particules par l'entame des dunes de tels facteurs contribuent à attiser la dynamique dunaire qui a déjà montré la dimension de ses effets. L'indice de Lancaster évaluant la mobilité des sables s'élève à **M = 160** indiquant une stabilisation des bas de versants uniquement, les hauts de versants et les sommets des dunes étant toujours très dynamiques et instables.

Le troisième volet tente de mettre à jour l'archéologie du géosystème en recherchant quelle a été son évolution paysagère, l'histoire de sa formation et en retraçant son comportement au cours du temps sous l'effet des impacts anthropiques.

La carotte sédimentaire prélevée a permis de mieux comprendre les conditions de formation du substratum grâce aux analyses granulométriques et minéralogiques effectuées. A partir de 4 500 ans BP environ une sédimentation de type lagunaire en eau calmes s'effectue. Elle est caractérisée par des apports à la fois continentaux (dominants) et marins qui constituent aujourd'hui le substratum limono-argileux et elle correspond à un assèchement traduit localement par un colmatage sableux (flèche sableuse) à l'origine de la formation lagunaire. L'aridification à partir de 4 500 ans BP concorde avec les résultats des recherches portant sur d'autres terrains au Maghreb et en domaine continental (BALLAIS et al., 1979 ; BALLAIS, 1991 ; BALLAIS et BENAZZOUZ, 1994 ; LAMB H. F. et al., 1991 et 1995 ; LAMB H. F. et VAN DER KAARS, 1995 ; BENKADDOUR, 1993 ; BENAZZOUZ, 1986 et sous presse). Cet assèchement a été interrompu par un bref épisode humide situé entre 2 400 et 2 200 ans BP ou vers 3 100 BP ou vers 1 500 BP marqué par un haut niveau marin (accumulation de bioclastes sur la colonne sédimentaire au niveau 15-8 cm) et un cordon dunaire littoral.

Postérieurement à cette construction, une importante lacune existe et a donné lieu à une discordance d'érosion laissant apparaître le système dunaire actuel qui recouvre d'anciens systèmes dunaires. Il convient donc de suggérer un assèchement fluctuant qui s'est installé jusqu'à nos jours.

Les résultats obtenus à l'issue de cette thèse concordent avec la chronologie établie jusqu'ici : le début d'un assèchement en Méditerranée étant ressenti vers 4 000 ans BP et le maximum d'aridité observé vers 3 800 ans BP, la période aride se prolonge jusqu'à 2 000 BP environ (PETIT-MAIRE et COLE, 1997, communication orale).

De même dans les Zibans (Algérie), BENAZZOUZ (sous presse) identifie « un assèchement progressif du climat avec le développement de l'action éolienne » entre 3 500 et 2 500 BP.

En Algérie encore, la dernière période humide de l'Holocène supérieur est calée entre 6 320 environ et 4 800 BP (BALLAIS, 1979 et 1994). Alors que « L'assèchement se manifesterait dès 4 670 +/- 130 ou 4 340 +/- 200 BP », (BALLAIS, 1981).

Trois événements arides sont également situés à l'Holocène supérieur entre 4 400 et 4 000, 3 000 et 2 500 et à 1 700 BP (BENKADDOUR, 1993).

Enfin, le développement d'un système dunaire éolien roux post-mellahien est enregistré dans le Sud-Ouest Marocain autour de 3120 +/- 50 ans BP (Gif 9895) (WEISROCK et BARRADA, 1998).

Cela dit, ces résultats demandent à être complétés, étayés et confirmés notamment en effectuant de nouveaux carottages et de nouvelles datations. Corrélativement et en étudiant bien au préalable les nouveaux sites d'échantillonnages, l'évolution du couvert végétal au cours du temps peut être précisé en réalisant les assemblages de phytolithes fossiles et en les comparant aux assemblages modernes.

Les questions précédentes ont amené à chercher des réponses dans l'histoire de l'anthropisation et de l'évolution des paysages anciens aux alentours d'Essaouira.

L'influence des sociétés sur les géosystèmes a très tôt marqué la région Haha. Dès la fin du Néolithique mais surtout la protohistoire (Chalcolithique et Âge du fer) le site littoral est occupé.

Jusqu'au XIX^e siècle l'histoire régionale est marquée de convoitises territoriales et de conflits qui exigent d'importants prélèvements forestiers. A cela s'ajoutent les cycles de construction / destruction du bâti consécutifs aux guerres qui jalonnent l'histoire mais aussi les multiples expansions urbaines. L'essor commercial et l'emprise agricole souvent mal orientée (besoins en eau excessifs de la canne à sucre et productions céréalières très faibles) imposent des défrichements et déboisements intensifs comme ceux des arganeraies notamment mais aussi et surtout des tétraclinaies et des junipérais.

Alors que le XX^e siècle voit se développer la mondialisation des conflits guerriers, les demandes en bois poursuivent une croissance toujours plus grande confortée par une gestion sylvicole délaissée aux profits des activités commerciales.

En ce sens on peut parler de désertification régionale tant aux dépens de l'arganier, que du genévrier de Phénicie et du thuya. Des trois, le thuya de Berbérie est aujourd'hui le plus menacé (DEFCS, communication orale). Mais la désertification est aussi perceptible lorsqu'on observe les arganeraies : le passage de formations forestières au stade de steppes arborées est révélateur.

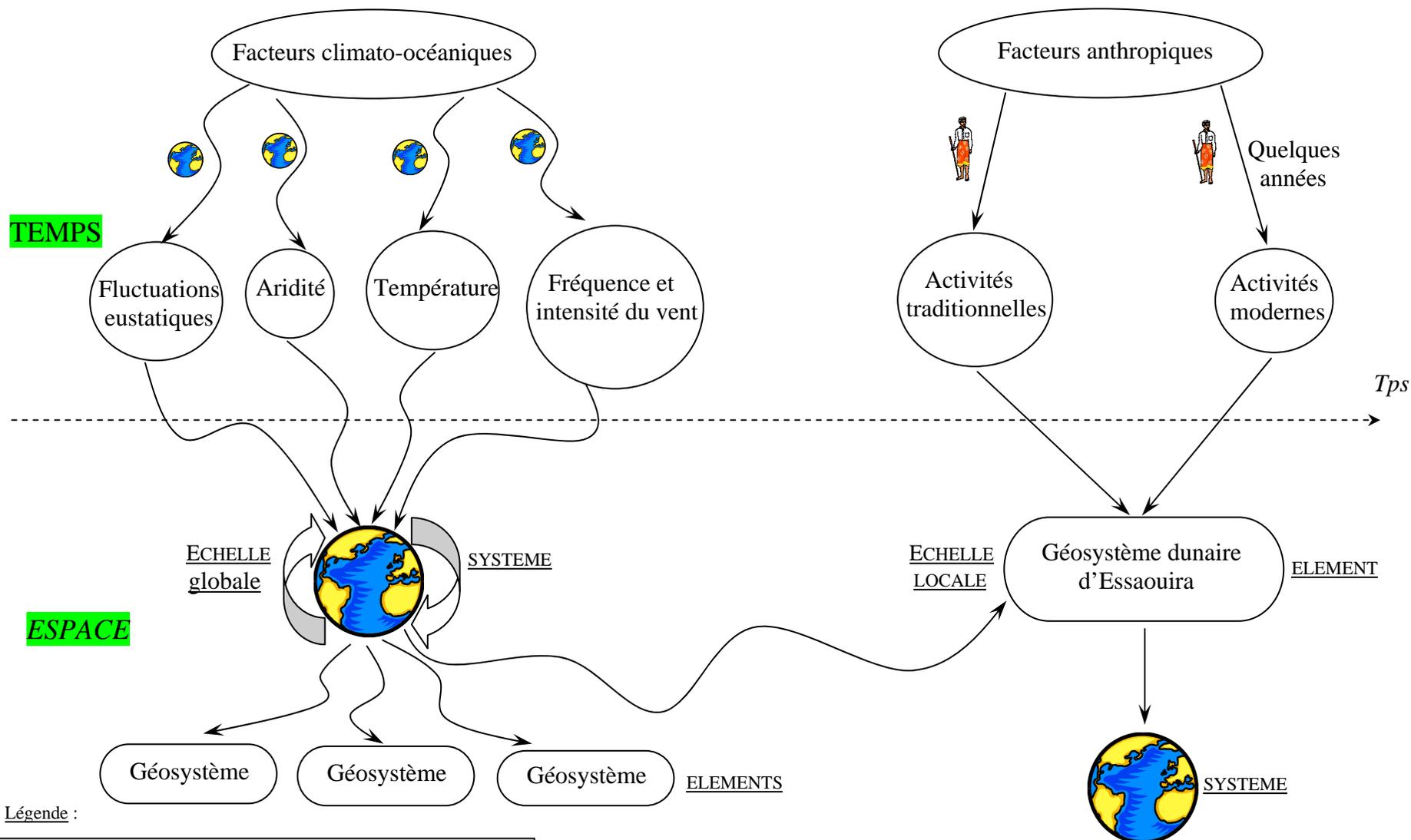
Parallèlement à la désertification, l'hypothèse d'une fluctuation climatique à l'origine de conditions plus sèches à l'Holocène supérieur ayant entraîné une dynamique éolienne croissante est confirmée.

Le géosystème dunaire d'Essaouira est donc l'expression de la coïncidence entre deux phénomènes, l'un climatique, l'autre anthropique tous deux variables dans l'espace et dans le temps ; expression traduite par la modification des flux de matière et d'énergie qui circulent dans le géosystème.

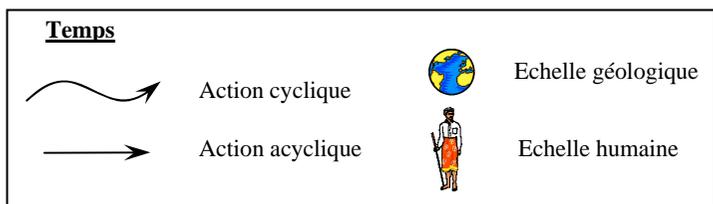
Le déséquilibre actuel de celui-ci reste problématique et préoccupant pour les populations locales ; souhaitons que sa stabilisation complète voie le jour dans l'avenir le plus proche.

Ainsi, deux types de facteurs contrôlent la dynamique dunaire (fig. n° 66) : les facteurs climato-océaniques d'une part et anthropiques de l'autre. Ceux liés à la première se distribuent dans le temps et dans l'espace de manière cyclique, à l'échelle des temps géologiques et à l'échelle spatiale du globe alors que ceux liés à la seconde agissent de manière acyclique, à l'échelle humaine (activités traditionnelles et activités modernes) et à l'échelle locale, celle du géosystème formant un espace circonscrit à la surface du globe.

FIG. N° 66 : DISTRIBUTION DANS LE TEMPS ET L'ESPACE DE L'ENSEMBLE DES FACTEURS QUI CONTROLONT LA DYNAMIQUE DUNAIRE.



Légende :



Le massif dunaire d'Essaouira étant constitué par des dunes littorales, il participe à un mouvement naturel de particules combinant dynamique marine et dynamique éolienne. Cependant, les indices du poids de l'anthropisation amplifiant le phénomène de désertification sont tangibles et mis en valeur par la géochimie et les recherches géo-historiques. Le gradient de pression anthropique marqué sur la partie occidentale du massif est le résultat du cumul d'activités traditionnelles telles qu'élevage et prélèvements de bois depuis plusieurs millénaires (vocation sylvo-pastorale du géosystème), et d'activités modernes très exigeantes et déstabilisatrices (cf. fig. 48, p. 143) qui se sont développées parallèlement (explosion urbaine, commerce touristique du thuya). Le degré d'anthropodépendance très élevé entraîne une rupture d'équilibre qui tend à renforcer l'instabilité du système (boucle de rétroaction positive). Ce phénomène est exacerbé par la synergie d'une tendance climatique actuelle chaude et aride.

Les résultats obtenus à l'issue de ces recherches montrent que l'approche géosystémique s'oriente vers la compréhension **globale** des processus tout en **focalisant** sur des détails microscopiques par des analyses très fines (géochimie, minéralogie et phytolithes) capables de fournir des indices et arguments tangibles.

Le cas de l'analyse phytolithique mériterait d'ailleurs d'être approfondi en réalisant les assemblages **fossiles** et en recherchant l'espèce ou les espèces végétale(s) qui produisent le morphotype dit " en entonnoir " **non répertorié**.

Dans le cadre d'un **diagnostic du paysage** et en vue d'assurer le **suivi** du massif dunaire, l'analyse multitemporelle peut constituer une voie de recherche pertinente à partir des bases établies par la photo-interprétation. Ce **continuum** peut se fonder sur l'analyse et le traitement d'images satellitaires et leur intégration dans un S.I.G. (Système d'Information Géographique).

Il serait également intéressant de **comparer** ces résultats à ceux issus de recherches sur d'autres régions du globe mais aussi de les étayer par d'autres carottages, datations et analyses localisés selon un axe Nord-Sud au-delà de l'oued Ksob de manière à mieux **intégrer** la dynamique paléo-synsédimentaire du substratum et **élargir** l'échelle d'observation.

Aussi, l'objectif de mener **parallèlement** des recherches sur les modes opératoires de la désertification en domaine **littoral** et en domaine **continental** présente un grand intérêt, tant sur le plan **morphodynamique** que sur celui de l'**anthropisation** et du rôle des sociétés.

L'occupation humaine plurimillénaire est une question localement significative et mérite, de fait, d'être totalement repensée à l'échelle de la planète. Si depuis quelques décennies de nombreux programmes de recherche ont été développés dans ce domaine tel " Man And Biosphere " lancé par les Nations Unies et l'U.N.E.S.C.O. en particulier, il s'agit aujourd'hui d'inscrire la désertification au registre des **risques naturels**. Celle-ci est trop souvent occultée dans les manuels qui traitent de la question. Agissant **localement** et **globalement**, la désertification correspond à l'extension de modifications rapides des structures et textures de surface de l'écorce terrestre à l'échelle humaine. Les processus d'adaptation à ces changements sont très lents et ils s'inscrivent dans une échelle de temps géologique.

A Essaouira, désertification et dynamique dunaire doivent être considérées comme un risque naturel majeur que l'on doit gérer plus en amont (**prévention du risque**) qu'en aval (stabilisation des sables par fixation mécanique et biologique) de manière à assurer la protection des cadres de vie et à réaliser les **aménagement**s nécessaires.

Références bibliographiques

- ABICHOU A. 1987 *El Bahira (Sud tunisien) deux géofaciès dans un milieu aride (analyse et cartographie)*, mém. de Maîtrise, Université de Caen, 113 p.
- AÏT MESSAOUD (ép.) El Hadari N.
1995 *Recherches sur la ville d'Essaouira : histoire et archéologie monumentale*, Thèse de Doct., Paris I/Panthéon-Sorbonne, 487 p., 4 vol., LXXXV pl., 53 fig., U. E. R. d'Art et d'Archéologie.
- AKRIMI N. et NEFFATI M.
1994 Dégénération du couvert végétal en Afrique du Nord, *Désertification et Aménagement*, MED.CAMPUS n° 8, édité par Goudé-Gaussen G. et Rognon P., Caen, p. 49-67.
- AL BAYANE 1995 *La forêt face à la désertification (cas des arganeraies)*, 26-27-28 oct. 95, in Journ. d'Et. sur l'Arganier, GERPE (Group. d'Et. et de Rech. pour la Prom. d'Essaouira), Rev. de Presse, Ess. 29-30 sept.
- ALEXANDRE A. 1996 *Phytolithes, interactions sol-plante et paléoenvironnements*, Thèse de Doctorat, Aix-Marseille III, 127 p.
- ALEXANDRE A., MEUNIER J.D., LEZINE A.M., VINCENS A., SCHWARTZ D.
1997a Phytoliths : indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 136, p. 213-229.
- ALEXANDRE A., MEUNIER J.D., COLIN F. et KOUD J.M.
1997b Plant impact on the biogeochemical cycle of silicon and related weathering problems, *Geochim. and Cosmochim. Acta* 16, p. 677-682.
- ALEXANDRE A., MEUNIER J.D., MARIOTTI A., et SOUBIES F.
1999 Late Holocene Phytolith and Carbon-Isotope Record from a latosol at Salitre, South-Central Brazil, *Quaternary Research* 51, p. 187-194.
- AMAT J. P. 1999 *La forêt entre guerre et paix, 1870-1995 étude de biogéographie historique sur l'arc meusien de l'argonne à la Woëvre*, Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Lille I, 3 vol., 1 115 p., 270 fig., 328 tabl., 164 photog., 1 vol. d'annexes, 171 p., 16 cartes.
- AMAT J. P. et HOTYAT M.
1984 *Etude de couvert forestier par les images Landsat : bilan et évaluation sur la forêt domaniale de Fontainebleau*, Travaux Inst. Géog. Reims, 57-58, p. 103-135.
- AMBROGGI R. et THUILLE G.
1952 Haut Atlas occidental et synclinal de Mogador, *Hydrogéologie du Maroc* n° 97, p. 237-243.
- AOUAD M. 1989 *L'arganier dans les systèmes agraires du Sud-Ouest marocain : situation actuelle et perspectives de valorisation* ; mémoire de 3^{ème} cycle, Agronomie, Inst. Agro. et Vétér. Hassan II, Rabat, 139 p.
- BACHE P.-E. 1861 *Souvenirs d'un voyage à Mogador (1859)*, Extr. Rev. Marit. et Col., Paris, 19 p.
- BAL M. 1993 *Dynamique de la végétation et évolution des sols des dunes maritimes d'Essaouira*, Mém. de 3^{ème} cycle, Ecole Nat. Forest. d'Ingén. de Salé, 98 p.
- BALLAIS J.L. 1981 *Recherches géomorphologiques dans les Aurès (Algérie)*, Thèse Doct. d'Etat, Paris I, 626 p.

- BALLAIS J.L. 1991 Evolution holocène de la tunisie saharienne et présaharienne. *Méditerranée*, 4, Aix en Provence, p. 31-38.
- BALLAIS J.L. 1992 Le climat au Maghreb oriental de – 500 à + 500 : apports de la géomorphologie et de la géochimie. *Les Nouvelles de l'archéologie*, 50, p. 27-31.
- BALLAIS J.L. 1993 Formations éoliennes et phases arides quaternaires dans le Bas-Sahara algéro-tunisien. *Würzburger Geographische Arbeiten*, 87, p. 107-119.
- BALLAIS J.L. 1994 Désertification et barrage vert en Algérie : le cas des Zibans, *Rev. Géom. Dyn.*, t. XLIII n° 1, p. 1-8.
- BALLAIS J.L. 1995 *Conquêtes et dégradation du milieu au Maghreb oriental pendant l'Antiquité et le Moyen Âge*, XV^e Rencontres Intern. D'Archéol. et d'Histoire d'Antibes, éd. APDCA, Juan les Pins, p. 331-344.
- BALLAIS J.L. 1996 L'origine des limons sableux éoliens des monts de Matmata (Tunisie). *Et. de Géogr. Phys.*, n°XXV, p. 35-44.
- BALLAIS J.L., MARRE A. et ROGNON P.
1979 Périodes arides du Quaternaire récent et déplacement du sable éolien dans les Zibans (Algérie), *Rev. Géol. Dyn. Géog. Phys.*, vol. 21, fasc. 2, p. 97-108.
- BALLAIS J.L. et BENAZZOUZ M. T.
1994 Données nouvelles sur la morphogénèse et les pléoenvironnements tardiglaciaires et holocènes dans la vallée de l'oued Chéria-Mezeraa, *Méditerranée*, t. 80, 3.4., Aix en Provence, p. 59-71.
- BALLAIS J.L., BIEDA S., PETIT-MAIRE N., BUROLLET P.F., FONTUGNE M. et ROSSO J.C.
1995 Morphogénèse et géosystèmes au Pléistocène supérieur et à l'Holocène dans l'extrême-Sud tunisien, *Mém. Soc. Géol. Fr.*, n. s., n° 167, p. 25-32.
- BALLOUCHE A. 1998 Dynamique des paysages végétaux sahélo-soudaniens et pratiques agro-pastorales à l'Holocène : exemple du burkina faso, *Bull. Ass. Géog. Fr.*, 2, p. 191-200.
- BARBONI D., BONNEFILLE R., ALEXANDRE A. et MEUNIER J.D.
1999 Phytoliths as paleoenvironmental indicators, West side Middle Awash Valley, Ethiopia, *Palaeogeography, palaeoclimatology, Palaeoecology*, 152, p. 87-100.
- BARTOLI F. 1981 *Le cycle biogéochimique du silicium sur roche acide. Application à deux écosystèmes forestiers tempérés (Vosges)*, Thèse de Doctorat, Université de Nancy I.
- BARTOLI F. 1983 The biogeochemical cycle of silicon in two temperate forest ecosystems, *Environmental Biogeochemistry Ecological Bulletin* (Stockolm), n° 35, p. 469-476.
- BATTISTINI R. 1964 *étude géomorphologique de l'extrême sud de Madagascar*, Thèse de Doctorat, 2 tomes « le relief de l'intérieur » et « le littoral », éd. Cujas, 636 p.
- BEAUDET G. 1969 *Le plateau central marocain et ses bordures, étude géomorphologique*, Thèse de Doctorat, Paris I, 478 p.
- BEAUDET G. et RUELLAN A.
1971 Le Quaternaire marocain : état des études. *Rev. Géog. du Maroc*, n° 20, p. 3-55
- BEAUDET G., BLANC C., DRAIN M., COQUE R., BIROT P., DUFAURE J.J. et GODARD A.
1982 Premiers éléments pour un débat, *Hérodote* n° 26, p. 117-132.
- BELAASSAL A. 1998 Précipitations au Maroc et circulation atmosphérique au niveau 700 hPa, *Méditerranée* n° 1, Aix en Provence, p. 19-26.

- BELLICHI A. 1998 Les régimes pluviométriques du Maroc du Centre-ouest, *Méditerranée* n° 1, Aix en Provence, p. 5-10.
- BENABID A. 1976 *études phytoécologique, biogéographique et sylvo-pastorale de la tetracinaie de l'Amsittène* ; Thèse de Doctorat de 3^{ème} cycle, Aix-Marseille III
- BENABID A. 1982 Bref aperçu de la zonation altitudinale de la végétation climacique du Maroc ; *Ecologia Mediterranea*, tome VIII, fasc. 1 et 2, p. 301-315
- BENAZZOUC M. T.
1986 *Recherches géomorphologiques dans les Hautes Plaines de l'est algérien*, thèse Doct. de 3^{ème} cycle ; Paris I, 286 p.
- BENAZZOUC M. T.
Sous presse, *Morphogénèse éolienne et désertification dans les monts des Zibans, Algérie*, 17 p.
- BENCHEKROUN F.
1989a *Un système typique d'agroforesterie au Maroc : l'arganeraie*, Séminaire Maghrébin d'Agroforesterie, Jebel Oust, Tunisie, 23-27 Octobre, p. 19-25.
- BENCHEKROUN F.
1989b *Impact du système agroforestier sur l'économie de la région à arganier*, Séminaire Maghrébin d'Agroforesterie, Jebel Oust, Tunisie, 23-27 Octobre, p. 127-130.
- BEN DAANOUN M.
1993 La végétation des milieux dunaires littoraux, sahariens et désertiques ; *Actes de l'Atelier National de Formation, Projet RAB / 89 / 034, Stabilisation des dunes de sable et reboisement*, Essaouira, 17-22 Mai, p. 30-49.
- BENKADDOUR A. 1993 *Changements hydrologiques et climatiques dans le Moyen-Atlas ; chronologie, minéralogie, géochimie isotopique et élémentaire des sédiments lacustres de Tigalmamine*, Thèse de Doctorat, Univ. Paris Sud-Orsay, 156 p.
- BEROUTCHACHVILI N. et MATHIEU J. L.
1977 L'éthologie des géosystèmes, *l'Espace Géographique*, p. 73-84.
- BEROUTCHACHVILI N. et BERTRAND G.
1978 Le géosystème ou " système territorial naturel, " *Rev. Géog. des Pyrén. et du Sud-Ouest*, tome 49, fasc. 2, p. 167-180, Toulouse.
- BEROUTCHACHVILI N. et RADVANYI J.
1978 Les structures verticales des géosystèmes, *Rev. Géog. des Pyrén. et du Sud-Ouest*, t. 49, fasc. 2, p. 181-198, Toulouse.
- BERTHIER P. 1966 *Les anciennes sucreries du Maroc et leurs réseaux hydrauliques*, Thèse de Doctorat ès Lettres, 2 vol., 349 p.
- BERTRAND G. 1968 Paysage et géographie physique globale esquisse méthodologique, *Rev. Géog. des Pyrén. et du Sud-Ouest*, tome 39, fasc. 3, p. 249-272, Toulouse.
- BERTRAND G. 1978 Le paysage entre la Nature et la Société, *Rev. Géog. des Pyrén. et du Sud-Ouest*, tome 49, fasc. 2, p. 239-252, Toulouse.
- BERTRAND G. 1982 Construire la géographie physique, *Hérodote* n° 26, p. 90-116, Paris.
- BERTRAND G. 1984 Apogée et déclin d'un géosystème sylvo-pastoral (Montagne de Leon et de Palencia, Espagne du Nord-Ouest), *Rev. Géog. des Pyrén. et du Sud-Ouest*, tome 55, fasc. 2, p. 239-248, Toulouse.

- BERTRAND G. 1986 Le système et l'élément, *Rev. Géog. des Pyrén. et du Sud-Ouest*, tome 57, fasc. 3, p. 283-290, Toulouse.
- BERTRAND G. et DOLLFUS O.
1973 Le paysage et son concept, *l'Espace Géographique*, p. 161-163.
- BERTRAND C. et BERTRAND G.
1986 La végétation dans le géosystème. Phytogéographie des montagnes cantabriques centrales (Espagne) ; *Rev. Géog. des Pyrén. et du Sud-Ouest*, tome 57, fasc. 3, p. 291-312, Toulouse.
- BIBERSON P. 1961 *Le cadre paléogéographique de la préhistoire du Maroc atlantique*. Publ. Serv. Antiq. Maroc, fasc. 16, Thèse de Doctorat, 235 p.
- BOUDY P. 1947 Communication verbale, séance du 2 déc. 1947, *Bull. Soc. Sc. Nat. Maroc*, p. 112-118
- BOUDY P. 1948 *Economie forestière nord-africaine*. Paris, Larose, 3 tomes (1948, 1950 et 1958).
- BRAUN-BLANQUET J.
1933 *Prodrome des groupements végétaux* ; fasc. 1, CNRS Montpellier
- BRAUN-BLANQUET J. et PAVILLARD J.
1928 *Vocabulaire de sociologie végétale* ; S.I.G.M.A., comm. 217, Montpellier
- CAILLE J. 1852 *Les Français à Mogador en 1844*, Syndicat d'initiative et de tourisme, Mogador, 26 p.
- CALLOT Y. et OULEHRI T.
1996 Géodynamique des sables éoliens dans le Nord-Ouest saharien : relations entre aérologie et géomorphologie, *Geodynamica Acta* (Paris), 9, 1, p. 1-12.
- CASTRO ROMAN J. C., NUNEZ GRANADOS M. A. et RECIO ESPEJO J. M.
1997 Dinàmica natural y sedimentacion carbonatada del humedal de merja Boukka (rio Sebou, Kenitra, Marruecos), *Et. Géogr. Phys. Suppl.* n° XXVI, Aix en Provence, p. 119-120.
- CHAHBOUN A. 1988 *Les formations sableuses fluviales, littorales et éoliennes aux embouchures des oueds Tensift, Ksob, et Souss (Atlas atlantique, Maroc)*, Thèse de Doctorat, Géologie du Quaternaire, Paris VI., 187 p.
- CHAMLEY H. 1987 *Sédimentologie*, géosciences, Dunod, 173 p.
- CLARK J. S. 1988 Particle Motion and the Theory of Charcoal Analysis : Source Area, Transport, Deposition, and Sampling, *Quaternary Research* 30, p. 67-80.
- COCHET A. et COMBE M.
1975 Bassin d'Essaouira-Chichaoua et zone côtière d'Essaouira, *Notes et Mémoires du Service Géologique* n° 231, t. 2, p. 433-446.
- COOKE R., WARREN A. et GOUDIE A.
1993 *Desert Geomorphology*, UCL Press, 526 p.
- COQUE R. 1962 *La Tunisie présaharienne, étude géomorphologique*, Thèse Lettres, Armand Colin, Paris, 476 p.
- COQUE R. 1977 *Géomorphologie*, Armand Colin, coll. U, 430 p.
- COQUE R. 1979 Problèmes de corrélation des niveaux quaternaires dans les piémonts nord-sahariens, *Bull. Ass. Géog. Fr.*, 462, p. 215-222
- COUDE-GAUSSIN G., ROGNON P., et WEISROCK A.
1982 Evolution du matériel sableux au cours de son déplacement dans un système dunaire : les barkhanes du Cap Sim au Sud d'Essaouira (Maroc), *C. R. Acad. Sci.*, t. 295, p. 621-624, Paris.

- COUREL M. F., LETERRIER E., LE RHUN J., JAOUEN X., ROLANDO C. et BARRY J.P.
1996 Evolution récente d'un milieu lagunaire mauritanien : les écosystèmes littoraux de l'Aftout-Es-Saheli, *Sècheresse* n° 1, vol. 7, p. 33-39.
- DAUGAS J. P., RAYNAL J. P., BALLOUCHE A., OCCHIETTI S., PICHET P., EVIN J., TEXIER J. P. et DEBENATH A.
1989 Le Néolithique nord-atlantique du Maroc : premier essai de chronologie par le radiocarbone, *C. R. Acad. Sci.*, t. 308, série II, p. 681-687, Paris.
- DELANNOY H. 1980 Remarques sur les brouillards d'été dans quelques stations côtières du Maroc atlantique, *Méditerranée* n°4, Aix en Provence, p.37-48.
- DELANNOY H. 1982 Introduction à l'étude des relations entre les températures des eaux océaniques et les précipitations côtières marocaines, *Norois* n°116, Octobre-Décembre, p. 535-545, Poitiers.
- DELANNOY H. 1988 Précipitations saisonnières du Maroc cisatlantique et téléconnexions dans la circulation atmosphérique, *Bull. Ass. Géog. Franç.*, 5, p.393-406, Paris.
- DELANNOY H. 1998 Les variations des précipitations du Maroc du Centre-ouest, *Méditerranée* n° 1, Aix en Provence, p. 11-17.
- DE ROSNAY J. 1975 *Le macroscopie, vers une vision globale*, éd. Du Seuil, Paris, 346 p.
- DESJACQUES J. et KOEBERLE P.
1955 Mogador et les îles Purpuraires, *Hesperis*, 42, p. 193-202.
- DIESTER-HAAS L., SCHRADER H.J. et THIEDE J.
1973 Sedimentological and paleoclimatological investigations of two pelagic ooze cores off Cape Barbas, North-West Africa, *Meteor Forschung-Ergebnisse*, C(16), p. 19-66.
- DIRECTION des EAUX et FORETS et de la CONSERVATION des SOLS
1993 *Stabilisation des dunes de sables et reboisement*. Actes de l'atelier national de formation, Essaouira, Mai 1993, 134 p.
- DRESCH J. 1941 *L'évolution du relief dans le massif central du Grand Atlas, le Haouz et le Souss*, Thèse de Doctorat, Paris, 712 p.
- DRESCH J. 1984 Les géographes français et la forêt, *Rev. Géog. des Pyrén. et du Sud-Ouest*, tome 55, fasc. 2, p. 301-308.
- DUCHAUFOR P. 1984 *Pédologie*. Masson 220 p.
- EL ABOUDI A. 1990 *Typologie des arganeraies inframéditerranéennes et écophysiologie de l'arganier (Argania spinosa (L. Skeels)) dans le Souss (Maroc)*, Thèse de Doctorat, Grenoble 1, 133 p.
- ELHAÏ H. 1968 *Biogéographie*, Armand Colin, Paris, 404 p.
- EL MAANA B. 1994 *Contribution à l'étude et à la cartographie des types de peuplements et des groupements végétaux de la forêt d'Aïn Tamalokt dans un but d'aménagement (Haut-Atlas occidental, Maroc)* ; mémoire de 3^{ème} cycle, Ecole Nat. For. d'Ingén. de Salé, 147 p.
- EL YOUSFI S.M. 1988 *La dégradation forestière dans le Sud-Ouest marocain : exemple de l'arganeraie d'Admine (Souss) entre 1969 et 1986* ; mémoire de 3^{ème} cycle, Agronomie, Inst. Agron. et Vétér. Hassan II, Rabat, 117 p.
- EL YOUSFI S.M. et BENCHEKROUN F.
1992 La dégradation forestière dans le Sud marocain, exemple de l'arganeraie d'Admine (Souss) entre 1969 et 1986, *Ann. Rech. Forest.*, Maroc, T. 26, p. 43-49.
- EMBERGER L. 1924 A propos de la distribution géographique de l'arganier ; *Bull. Soc. Sc. Nat.* Tome 4, n° 7, p. 151-153

- EMBERGER L. 1939 Aperçu général sur la végétation du Maroc, commentaire de la carte phytogéographique du Maroc (1/1 500 000) ; *Mém. Soc. Sc. Nat. du Maroc*, n° hors série.
- EMBERGER L. et BOUDY P.
1934 *La végétation et la flore du Maroc*, La Science au Maroc, Le Maroc vivant ; les plantes et les animaux, p. 196-206.
- F.A.O. et D.A.N.I.D.A.
1993 *Guide des techniques de lutte contre l'ensablement*, projet régional PNUD/FAO RAB 89/034, « Stabilisation des dunes de sable et reboisement », 91 p.
- FENNANE M. 1987 *Etude phytoécologique des tétraclinaies marocaines*, thèse doct. d'Etat, Aix-Marseille III, 147 p. + annexes.
- FENNANE M., IBN TATTOU M., MATHEZ J., OUYAHYA A. et EL OUALIDI J.
1999 *Flore pratique du Maroc* (manuel de détermination des plantes vasculaires), Inst. Scient.-Univ. Mohammed V, Rabat, vol. 1, 558 p.
- FERCHICHI A., ZAAFOURI M.S., KHORCHANI T. et HAMMADI M.
1994 Aménagement sylvo-pastoral en milieu aride, *Désertification et Aménagement*, MED.CAMPUS n° 8, édité par Goudé-Gaussen G. et Rognon P., Caen, p. 215-235.
- FONTUGNE M. 1991 *Fiabilité des datations « absolues » pour le Pléistocène supérieur des milieux désertiques ou semi-arides*, PICG 252-coll. : Paléomil. et Peupl. Préhist. Sahar. au Pléist. Sup., Solignac, 19 p.
- FREDLUND G.G. et TIESZEN L.L.
1994 Modern phytolith assemblages from the North American Great Plains, *Journal of Biogeography*, 21, p. 321-335.
- FREDLUND G.G. et TIESZEN L.L.
1997a Calibrating grass phytolith assemblages in climatic terms : Application to late Pleistocene assemblages from Kansas and Nebraska, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 136 p. 199-211.
- FREDLUND G.G. et TIESZEN L.L.
1997b Phytolith and Carbon Isotope Evidence for Late Quaternary Vegetation and Climate Change in the Southern Black Hills, South Dakota, *Quaternary Research* 47, p. 206-217.
- GAMEZ P. et WEISROCK A.
1978 La grotte de Tiguert un exemple de spéléogénèse littorale au Quaternaire récent dans l'Atlas atlantique marocain, *Méditerranée* n°^{os} 1 et 2, Aix en Provence, p.57-69.
- GENTILE W. 1997 *Caractérisation et suivi d'un champ dunaire par analyses sédimentologiques et télédétection : Essaouira – cap Sim (Maroc atlantique)*, Thèse de Doctorat, Univ. de Provence (Aix-Marseille I), 322 p. + annexes, Aix en Provence.
- GIGOUT M. 1952 La transgression flandrienne a dépassé de 2 m le niveau actuel de la mer, à Rabat (Maroc), *C. R. somm. de la S.G.F.*, p. 78-79.
- GIGOUT M. 1959 Ages, par radiocarbone, de deux formations des environs de Rabat (Maroc), *C.R. des séances de l'Ac. Sc.*, t. 249, p. 2803.
- GROUPE CHADULE
1987 *Initiation aux pratiques statistiques en géographie*, Masson, Paris, 189 p.
- HANDER M. 1993 *Contribution à l'étude de la bioclimatologie humaine au Maroc : l'exemple d'Essaouira*, Thèse de Doctorat, Paris-IV, 356 p.

- HARROUNI M. C. 1994 Les adaptations de la végétation à la sécheresse ; *Désertification et Aménagement*, MED.CAMPUS n° 8, édité par Goudé-Gaussen G. et Rognon P., Caen, p. 39-47.
- HOUMIMYD M. et ALLAM M.
1990 *Etude de protection contre l'ensablement de la liaison routière entre Moulay Bouzerktoun et Essaouira*, M.A.R.A., D.E.F.C.S., 36 p.
- HOURLIMECHE A. 1988 *Etude sédimentologique et géomicrobiologique des dépôts carbonatés quaternaires de la région d'Essaouira (Maroc)*, Thèse de Doctorat, Paris VI., 218 p.
- HOUZARD G. 1984 Aménagements et évolution des forêts l'exemple d'Ecouves, *Rev. Géog. des Pyrén. et du Sud-Ouest*, tome 55, fasc. 2, p. 294-300.
- HUGOT G. 1977 *Un secteur du Quaternaire lacustre mauritanien : Tichitt (Aouker) éléments pour servir à une étude géomorphologique*, Mémoires de l'Institut mauritanien de la Recherche Scientifique (section préhistoire), vol. n° 1, 190 p.
- I.N.R.A. 1995 *Référentiel pédologique*, INRA éd., 332 p.
- IONESCO T. et SAUVAGE C.
1962 Les types de végétation au Maroc : essai de nomenclature et de redéfinition ; *Revue de Géographie du Maroc*, n° 1 et 2, Rabat, p. 75-86.
- JALAL M., BAHIR M., MENNANI A., BLAVOUX B. et BELLION Y.
1996 Caractérisation hydrochimique et isotopique des différentes résurgences de l'oued Igrounzar (bassin d'Essaouira-Maroc), *13^{ème} Colloque des Bassins Sédimentaires Marocains*, 19-22 Mars, Marrakech.
- JEFTIC L., MILLIMAN J. D. et SESTINI G.
1992 *Climatic change and the mediterranean*, UNEP (Un. Nat. Envir. Prog.), Arnold, vol. 1, 673 p.
- JODIN A. 1957 Note préliminaire sur l'établissement pré-romain de Mogador, *Bull. Arch. Maroc.*, t. II, p. 10-40.
- JODIN A. 1966 *Mogador comptoir phénicien du Maroc atlantique*, éd. Maroc. et Internat., Tanger, 211 p.
- JODIN A. 1967 *Les établissements du roi Juba II aux îles purpuraires (Mogador)*, éd. Maroc. et Internat., Tanger, 282 p.
- JOLY F. 1954 Elevage, ovins et caprins, *Atlas du Maroc*, section X – géog. écon., élevage, Rabat, 46 p.
- KACHKAROV D. N. et KOROVINE E. P.
1942 *La vie dans les déserts*, Payot, Paris, 63 fig., 63 fotogr., 360 p.
- KELLY E.F. 1990 *Methods for extracting opal phytoliths from soil and plant material*, Internal report, Department of Agronomy, Colorado State University, Fort Collins, U.S.A. 10 p.
- KURMANN M.H. 1985 An opal phytolith and palynomorph study of extant and fossil soils in Kansas (U.S.A.), *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 49, p. 217-235.
- LACOSTE A. et SALANON R.
1993 *Elements de biogéographie et d'écologie* ; Nathan-Université, 189 p.
- LAMB H. F., DAMBLON F. et MAXTED R. W.
1991 Human impact on the vegetation of the Middle Atlas, Morocco, during the last 5000 years, *Journ. of biogeography*, vol. 18, p. 519-532.

- LAMB H. F., GASSE F., BENKADDOUR A., EL HAMOUTI N., VAN DER KAARS S., PERKINS W. T., PEARCE N. J. et ROBERTS C. N. 1995 Relation between century-scale Holocene arid intervals in tropical and temperate zones, *Nature*, vol. 373, p.134-137.
- LAMB H. F. et VAN DER KAARS S.
1995 Vegetational response to Holocene climatic change : pollen et palaeolimnological data from the Middle Atlas, Morocco, *The Holocene*, 5,4 p. 400-408.
- LAMB H.H. 1977 *Climates : Present, Past and Future*, 2 vol., Methuen, London.
- LAMB P.J. et PEPPLER R.A.
1988 *Large-scale atmospheric features associated with drought in Morocco*, p. 103-127, in Drought, Water Management and Food Production ; conference Proceedings, Agadir, 362 p.
- LECOMPTE-BARBET O.
1975 Introduction à une étude de l'endémisme végétal au Maroc ; *Etude de certains milieux du Maroc et de leur évolution récente III*, CNRS, travaux de la R.C.P. 249, p. 15-46
- LEON l'AFRICAIN dit Jean
Vers 1524 *Description de l'Afrique*, t. I, 2^{ème} partie, Royaume de Marrocos, Hea, région occidentale, nouv. Ed. trad. de l'Ital. par A. Epaulard, 1981, Pub. Inst. Haut. Et. Maroc., n° LXI, Libr. d'Amér. et d'Orient
- LE ROY LADURIE E.
1983 *Histoire du climat depuis l'an Mil*, vol. 1, Flammarion, Paris, 287 p.
- LOPEZ PARDO F. 1987 *Mauritania tingitania : del mercado colonial punico a provincia periferica romana*, Tesis Doctoral, 684 p.
- LOVERING 1959 Significance of accumulator plants in rock weathering, *Society of American bulletin*, 70, p. 781-800.
- LOZET L. et MATHIEU C.
1990 *Dictionnaire de Science du sol*. Technique et Documentation Lavoisier, 2ème éd., 384 p.
- MADELLA M. 1998 Understanding archaeological structures by means of phytolith analysis : a test from the Iron Age site of Kilise Tepe (Turkey), sous presse, *deuxième Congrès International de Recherche sur les Phytolithes*, Aix en Provence, 27-28-29 Août 1998.
- MALEK C. 1989 *Diagnostic du paysage à partir des données satellitaires, application au Sahel-Oudalan (Burkina Faso)*, Thèse de Doctorat, Géomorph. et dyn. Mil. Phys., Paris VII, 205 p.
- MARTIN D. L. et NAIRN A. E. M.
1975 The wind directions of the pleistocene dunes near Essaouira, Morocco, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 17, p. 173-176.
- MENNANI A., BAHIR M., JALAL M., BLAVOUX B. et BELLION Y.
1996 Apport de l'hydrochimie et de l'isotopie à la caractérisation hydrodynamique des aquifères plio-quadernaire et turonien du bassin synclinal d'Essaouira (Maroc), *13^{ème} Colloque des Bassins Sédimentaires Marocains*, 19-22 Mars, Marrakech.
- MEYERS et ISHIWATARI
1991 *Biogeochemistry*, UCL Press, 388 p.
- MINISTERE de l' AGRICULTURE et de la MISE en VALEUR AGRICOLE (MAMVA)
1994 *Programme budgétaire pour l'année 1995*, Direction Provinciale de l'Agriculture d'Essaouira, 166 p.

- MINISTÈRE de l'AGRICULTURE et de la MISE en VALEUR AGRICOLE
1996 Eléments pour une stratégie nationale forestière. *Colloque National sur la Forêt*, Administration des Eaux et Forêts et de la Conservation des sols, Rapport de modules, atelier n°1, Ifrane, Mars 1996, 28 p.
- MINISTÈRE de l'INTERIEUR et de l'INFORMATION
1989 *La province d'Essaouira en chiffres*.
- MIRAMONT C. 1998 *Morphogénèse, activité érosive et détritisme alluvial holocènes dans le bassin de la moyenne Durance (Alpes françaises du Sud)*, Thèse de Doctorat de Géog. Phys., Université de Provence (Aix-Marseille I), Aix en Provence, 287 p.
- MONNIER Y. 1965 Les problèmes actuels de l'arganeraie marocaine, *Rev. Forest. Fr.* n° 11, p. 750-767.
- MONOD T. 1958 *Majâbat Al-Koubrâ contribution à l'étude de l'« empty quarter » ouest-saharien*, Mémoires de l'Institut Français d'Afrique Noire n° 52, IFAN-Dakar, 393 p.
- MOUNIR O. 1988 *Forêt d'Essaouira : histoire d'une forêt marocaine*, Actes des Journées d'Etudes organisées les 15 et 16 Avril par la SOMADE et Faculté des Sc. Jur. Econ. et Soc. de Casablanca, p. 111-114.
- MOUSANNIF A. 1976 *Inventaire et évaluation des ressources en eau du synclinal d'Essaouira-Chichaoua (Maroc)*, Thèse de Doctorat de Spécialité (hydrogéologie), Montpellier, 125 p.
- NAFAA R., LAOUINA A. et WATFEH A.
1997 Les formations superficielles carbonatées de la Mamora, indicateurs de milieux et de phases d'évolution dans la Mamora occidentale, *Et. Géogr. Phys. Suppl.* n° XXVI, Aix en Provence, p. 115-118.
- OZENDA P. 1982 *Les végétaux dans la biosphère*, Doin.
- OZENDA P. 1986 *La cartographie écologique et ses applications*, Masson, 160 p.
- PALMER P.G. 1976 Grass cuticles : a new paleoecological tool for East african lake sediments, *Canadian Journal of Botany*, 54(15), p. 1725-1734.
- PANAREDA CLOPES J. M.
1973 Estudio del paisaje integrado. (Ejemplo del Montseny), *Revista de Geografia*, vol. VII, n° 1-2, p.157-165, Dep. de Geog. de la Univ. de Barcelona.
- PAQUET H. 1970 Evolution géochimique des minéraux argileux dans les altérations et les sols des climats méditerranéens tropicaux à saisons contrastées, *Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lorr.*, Strasbourg, 30, 212 p.
- PELTIER J.P. 1982 *La végétation du bassin versant de l'oued Souss (Maroc)* ; Thèse de Doctorat Sciences, Université de Grenoble, 201 p.
- PIPERNO D.R. 1988 Phytolith analysis. An archaeological and geological perspective, *Ed. Academic Press*, New York, 280 p.
- PIPERNO D.R. et BECKER P.
1996 Vegetationnal history of a site in the central Amazon basin derived from phytolith and charcoal records from natural soils, *Quaternary Research*, 45, p. 202-209.
- PLINE l'ANCIEN I^{er} siècle *Histoire naturelle*, livre V, 1-46, l'Afrique du Nord, prem. part., trad. et commenté par J. Desanges, Paris, 1980
- PRAT H. 1932 L'épiderme des Graminées. Etude anatomique et systématique, *Annales de Sciences Naturelles de Botanique*, 10e série, 325 p.

- RAFIK A. 1989 *Problématique du développement de l'espace socio-économique Essaouira-Haha*, mémoire de D.E.S. ès Sciences Economiques, Univ. Hassan II, Fac. Sc. Jur. Econ. Soc. Casablanca, 201 p.
- RAMADE F. 1987 *Les catastrophes écologiques*, Mc Graw-Hill, 318 p.
- REYNAUD A. 1971 *Epistémologie de la géomorphologie*, Masson, Paris, 125 p.
- RICHARD J. F. 1975 Paysage, écosystème et environnement, une approche géographique, *Espace Géog.*, 2, p. 81-92, Paris.
- RICHARD J. F. 1978 *La constitution d'un schéma intégrateur transdisciplinaire*, in Recherche d'un langage transdisciplinaire pour l'étude du milieu naturel (Tropiques humides) , ORSTOM, Paris, p.55-72.
- RICHARD J. F. 1985 La science du paysage ; relations, dépendances et autonomies, *Rev. Géogr. De l'Est*, 4, p. 347-353.
- RIQUIER 1960 Les phytolithes de certains sols tropicaux et des podzols, *7th International Congress of soil Science*, Madison, Wisconsin, U.S.A., 60, p. 425-431.
- RISER J. 1978 *Le Jbel Sarho et sa retombée saharienne (S-E marocain) étude géomorphologique*, Thèse Doct. d'Etat, Univ. Aix en Provence, 358 p.
- RISER J. 1987 *Paléformes et paléoclimats au Sahara occidental*, 41 p., Inst. Sup. Sc. Nouakchott, Univ. Avignon et Univ. Nice.
- RISER J. (sous la dir. de)
1996 *Le bassin de Tarfaya (Maroc atlantique, 28 ° N.): Paléoenvironnements, Paléanthropologie, Préhistoire*, l'Harmattan, Paris, 284 p.
- RISER J. 1999a *Géographie physique de l'Afrique occidentale et centrale*, Ellipses, Paris, coll. Universités.géographie, 160 p. ill. cart.
- RISER J. (sous la direction de)
1999b *Le Quaternaire : géologie et milieux naturels*, Dunod, 320 p.
- ROBERT-CHALEIX D.
1985 *Une production millénaire : la céramique*, le Grand Atlas de l'Archéologie, Encyclopaedia Universalis , Paris.
- ROUGERIE G. 1973 Le paysage sous l'angle de sa dynamique, *L'Espace Géographique*, p.163-164.
- ROUGERIE G. 1988 *Géographie de la biosphère*, Armand Colin, Paris, 279 p.
- ROUGERIE G. et BEROUTCHACHVILI N.
1991 *Géosystèmes et paysages, bilan et méthodes*, Armand Colin, Paris, 302 p.
- ROSENBERGER B.
1970 Les vieilles exploitations minières et les anciens centres métallurgiques du Maroc, *Rev. Géog. Maroc* n° 18, p. 59-103.
- ROVNER I. 1971 Potential of opal phytoliths for use in paleoecological reconstruction, *Quaternary Research*, 1, p. 343-359.
- SALAMA M., DECONINCK J. N., RISER J. et LOFTY M. F.
1991 L'ensablement de Nouakchott : exemple de l'aéroport, *Sècheresse* 2, p. 101-109.

- SANGSTER A. G. et HODSON M. J.
1998 Silicon and aluminium codeposition in the cell wall phytoliths of gymnosperm leaves, sous presse, *deuxième Congrès International de Recherche sur les Phytolithes*, Aix en Provence, 27-28-29 Août 1998.
- SCHÖNFELDER I. et SCHÖNFELDER P.
1989 *Guide de la flore méditerranéenne*, Hatier, 314 p.
- SIMONE Y.C. 1996 Essaouira : naissance d'une ville et impact de ses activités sur le milieu, *Impact de l'homme sur les milieux naturels, Perceptions et Mesures*, 7^{èmes} journées scientifiques de la S.E.H., Aix en Provence, 19-20 mai 1995, Trav. Soc. d'Ecol. Hum., éd. Scient. : P. BAUDOT, D. BLEY, B. BRUN, H. PAGEZY et N. VERNAZZA-LICHT, éd. De Bergier, p. 115-125.
- SIMONE Y.C., MEUNIER J.D., ALEXANDRE A. et BALLAIS J.L.
1999 Les phytolithes comme marqueurs paléoenvironnementaux dans l'Atlas atlantique (Maroc), *Et. De Géog. Phys.* N° XXVIII, Actes du Colloque " La montagne méditerranéenne : paléoenvironnements, morphogénèse, aménagements ", Aix en Provence, 8-10 octobre 1998, textes réunis par J. RISER, p. 67-74.
- STEARNS C. E. 1976 The wind directions of the pleistocene dunes near Essaouira, Morocco : a discussion, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 19, p. 255-256.
- STRABON 1^{er} siècle ? Livre XVIII, 3, 4, in Le Maroc chez les auteurs anciens, trad. R. Roget, *Les Belles Lettres*, Paris, 1924, 51 p.
- TERRASSE M. 1985 *Les routes du commerce*, le Grand Atlas de l'Archéologie, Encyclopaedia Universalis, Paris.
- TEXIER J. P., RAYNAL J. P. et LEFEVRE D.
1986 Essai de chronologie du Quaternaire marocain, *Bull. d'Archéol. Maroc.*, XVI, p. 11-26.
- TEXIER J. P., LEFEVRE D. et RAYNAL J. P.
1994 Contribution pour un nouveau cadre stratigraphique des formations littorales quaternaires de la région de Casablanca (Maroc), *C. R. Acad. Sci.*, Paris, t. 318, série II, p. 1247-1253.
- TROIN J. F. 1968 Cultures céréalières, *Atlas du Maroc*, section X – géog. écon., agriculture, Rabat, 140 p.
- TWISS P.C. 1983 Dust deposition and opal phytoliths in the Great Plains, *Trans. Nebraska Acad. Sci.* 11, p. 73-82.
- TWISS P.C. 1987 Grass-opal phytoliths as climatic indicators of the Great Plains Pleistocene, in Johnson W.C. (Eds), *Quaternary environments of Kansas*, Kansas Geology Surv. Guidebook Ser. 5, p. 179-188.
- TWISS P.C. 1992 Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths, in *Phytolith Systematics, Emerging Issues*, Plenum Press, (éd. par G. Rapp jr. et S.C. Mulholland), New York, p. 113-128.
- TWISS P.C., E. SUESS et R. M. SMITH
1969 Morphological Classification of Grass Phytoliths, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, vol. 33, p. 109-115.
- VALLEE S. 1995 L'arganier, providence du Souss, *Le Temps du Maroc* n° 1, 2 p., in Journées d'Etude sur l'Arganier, GERPE (Group. d'Et. et de Rech. pour la Prom. d'Essaouira), Rev. de Presse, Essaouira, 29-30 sept.
- VAUDOUR J. 1997 Carbonates continentaux et milieux carbonatés méditerranéens : avancées récentes, problèmes et perspectives de recherche, *Et. Géogr. Phys. Suppl.* n° XXVI, Aix en Provence, p. 11-13.

- VEYRET Y. (sous la coordination de), BALLAIS J.L., MARRE A., MIETTON M., MIOSSEC A., MORIN S. et VALADAS B. 1998 *L'érosion entre nature et société*, Dossiers des Images Economiques du Monde, SEDES.
- VRYDAGHS L., COCQUYT C., DE DAPPER M., DEVLIERGHER B., DE JAEGER C., DEGRAEVE A., HOMES-FREDERICQ D., FREBUTTE C. et MERTENS J.
1998a Phytolitharian taphonomy and landscape reconstruction at Lehun, Jordan, Sous presse, *deuxième Congrès International de Recherche sur les Phytolithes*, Aix en Provence, 27-28-29 Août 1998.
- VRYDAGHS L., DOUTRELEPONT H., BEECKMAN H., et HAERINCK E.
1998b Identification of new *Phoenix dactylifera* L. phytoliths in archaeological context, Sous presse, *deuxième Congrès International de Recherche sur les Phytolithes*, Aix en Provence, 27-28-29 Août 1998.
- WATSON L., CLIFFORD H.T., et DALLWITZ M.J.
1985 The classification of Poaceae : subfamilies and supertribes ; *Aus. J. Bot.*, 33, p. 433-484.
- WEISROCK A. 1973 Note sur les glacis et terrasses d'Argana (Haut-Atlas occidental), *Etude de certains milieux du Maroc et de leur évolution récente I*, CNRS, Travaux de la R.C.P. 249, p. 41-57.
- WEISROCK A. 1978 Rapports entre plages marines et dépôts continentaux à Tamghart (Atlas atlantique marocain), *Etude de certains milieux du Maroc et de leur évolution récente IV*, CNRS, Travaux de la R.C.P. 249, p. 38-66.
- WEISROCK A. 1980 *Géomorphologie et paléoenvironnements de l'Atlas atlantique (Maroc)*, Thèse Doct. d'état, Paris I, 837 p.
- WEISROCK A. 1982 Signification paléoclimatique des dunes littorales d'Essaouira – Cap Sim (Maroc), *Revue de Géomorphologie Dynamique*, T. XXXI, p. 91-107.
- WEISROCK A. 1984 Nappes alluviales et basses terrasses du Maroc atlantique, *Bull. de l'Ass. Fr. pour l'ét. du Quater.* 1-2-3, p. 181-185.
- WEISROCK A. 1985 Les galets calcaires de l'oued Tidzi (SW du Maroc) existe-t-il un façonnement « semi-aride » ? *Rech. Géogr. a Strasbourg*, n° spécial 22/23, p.165-178.
- WEISROCK A. 1985 Les falaises de la côte atlantique marocaine de Safi à Bedouzza (Cap Cantin), *Bull. Assoc. Géog. Franç.*, 2, Paris, p. 94-104.
- WEISROCK A. 1987 Oulja et Ouljien au Maroc atlantique, les Milieux et les Hommes dans les Pays Méditerranéens, hommage à Gérard Maurer, *Etudes Méditerranéennes*, fasc. 11, p. 175-187, 2 pl.-photos, Poitiers.
- WEISROCK A. 1993 *Géomorphologie et paléoenvironnements de l'Atlas atlantique (Maroc)*, Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc, n° 332, 487 p.
- WEISROCK A. et BREBION P.
1974 Niveaux marins quaternaires de la côte des Haha à Imsouane (Sud-Ouest du Maroc) et leur faune à gastéropodes, *Etude de certains milieux du Maroc et de leur évolution récente II*, CNRS, Travaux de la R.C.P. 249, p. 79-100.
- WEISROCK A. et MISKOVSKY J.C.
1988 Nouvelles précisions sur le stratotype holocène de Makhfamane (Haut-Atlas occidental, maroc), *Bull. de l'Ass. Franç. pour l'Et. du Quater.* 4, p. 205-214.
- WEISROCK A., OUAMMOU A., et AÏT HSSAINE
1991 Erosion et sédimentation dans les oueds du Sud-Ouest marocain à l'Holocène, *Physio-Géo.*, n°22/23, p.95-100.

- WEISROCK A. et BARRADA M.
1998 Morphogénèse éolienne littorale au Pléistocène supérieur (Soltanien) et à l'Holocène dans les Chtouka-Ouest, Maroc atlantique, *Quaternaire*, 9, p. 117-131.
- WEISROCK A., FONTUGNE M., BARRADA M. et ADELE B.
1998 Génèse et anthropisation des dunes holocènes des Chtouka (Maroc), *Bull. Ass. Géog. Fr.*, 2, p.201-212.
- WEISROCK A., OCCHIETTI S., HOANG C.-T., LAURIAT-RAGE A., BREBION P. et PICHET P.
1999 Les séquences littorales pléistocènes de l'Atlas atlantique entre Cap Rhir et Agadir, Maroc ; *Quaternaire*, 10, (2-3), p. 227-244.
- WILDING L.P. et DREES L.R.
1971 Biogenic opal in Ohio soils, *Soil Sciences Society of America proceeding*, 35, p. 1004-1010.
- WILDING L.P. et DREES L.R.
1974 Contributions of forest opal and associated cristallines phases to fine silt clay fractions of soils, *Clay and Clay Minerals*, p. 295-306.

INDEX DES TABLEAUX

	page
I :	Pluviométrie totale moyenne annuelle..... 23
II :	Variation des précipitations annuelles en fonction de la latitude..... 23
III :	Nombre moyen de jours de brouillard..... 25
IV :	Températures annuelles en ° C..... 27
V :	Moyennes des températures maxima des mois d'été en ° C (1925-1949)..... 27
VI :	Moyennes des températures minima des mois d'hiver en ° C (1925-1949)..... 27
VII :	Vitesse moyenne des vents en km/h..... 28
VIII :	Les jours calmes et venteux à Essaouira..... 28
IX :	Classement des vents en fréquence et intensité selon les douze mois pour les années 1958 à 1967..... 29
X :	Indices d'aridité de quelques stations régionales..... 31
XI :	Description générale des sols à la périphérie d'Essaouira..... 45
XIIa :	Correspondance des codes couleurs Cailleux et Munsell au profil interdunaire..... 53
XIIb :	Correspondance des codes couleurs Cailleux et Munsell aux sols régionaux et aux sables éoliens..... 54
XIII :	Taux de recouvrement et hauteur des groupements végétaux sur les dunes maritimes d'Essaouira..... 64
XIV :	Taux de carbonates de calcium contenus dans les dunes et le substratum..... 94
XV :	Température, pH et conductivité des eaux lagunaires..... 99
XVI :	Mesures hydrochimiques le long d'un deuxième transect perpendiculaire au trait de côte..... 100
XVII :	Mesures hydrochimiques le long d'un troisième transect perpendiculaire au trait de côte (basse vallée de l'oued Ksob)..... 100
XVIII :	Classification et répartition des morphotypes de phytolithes produits par les <i>Poaceae</i> 105
XIX :	Description des ensembles phytogéographiques échantillonnés..... 109
XX :	Genres dominants de la végétation actuelle..... 109
XXI :	Détermination et comptage détaillé des morphotypes de phytolithes actuels..... 110
XXII :	Valeurs des index phytolithiques calculés pour la période actuelle..... 114
XXIII :	Programme d'action de la Direction Provinciale de l'Agriculture d'Essaouira pour l'année 1995..... 122
XXIV :	Superficies et productions des parcours en Afrique du Nord..... 125
XXV :	Recensement du cheptel de la province d'Essaouira..... 128
XXVI :	Paramètres granulométriques par rapport à la moyenne..... 152
XXVII :	Paramètres granulométriques par rapport à la médiane..... 152
XXVIII :	Distribution granulométrique des quantiles en µm..... 152
XIVbis :	Taux de carbonates contenus dans les dunes et le substratum..... 157

INDEX DES FIGURES

	page
1 : Définition théorique du géosystème.....	12
2 : La relation d’emboîtement entre les trois entités : écosystème, Complexe Naturel Territorial et géosystème	12
3 : L’essence complexe du géosystème et le réductionnisme biocentrique de l’écosystème...	12
4 : Modélisation du géosystème en coupe verticale	15
5 : Pluviométrie moyenne mensuelle à Essaouira.....	24
6 : Régime hygrométrique moyen mensuel et annuel (période 1971-80).....	26
7 : Fréquence et intensité des vents efficaces (force > 6) à Essaouira (1958-1967).....	30
8 : Coupe schématique du relief littoral.....	34
9 : Les principales formes marines quaternaires.....	38
10 : Localisation schématique du massif dunaire en coupe.....	42
11 : Comparaison de certains critères pédologiques entre les sols dunaires et le substrat nu.....	49
12 : Arénosol dunaire 1.....	50
13 : Arénosol dunaire 2.....	50
14 : Sol salin (profil interdunaire).....	51
15 : Régosol sableux d’apport éolien.....	51
16 : Régosol sableux d’altération.....	51
17 : Calcisol.....	52
18 : Modèle théorique du géosystème.....	69
19 : Application du modèle théorique au géosystème littoral d’Essaouira.....	69
20 : Localisation des sites d’échantillonnage en coupe.....	74
21 : Site d’extraction de la carotte sédimentaire DEP.....	74
22 : Distribution des phases minérales dunaires et interdunaires.....	77
23 : Granulométrie des dunes et du soubassement.....	79
24 (a, b) : Relations stratigraphiques hypothétiques entre sédiments interdunaires et sédiments dunaires.....	80
25 : Phases phyllosilicatées suivant la direction de l’alizé.....	81
26 : Ampleur de l’ablation de sédiments en 50 ans.....	84
27 (a, b, c) : Mise à nu de racines d’eucalyptus et d’acacias.....	85
28 (a, b) : Versants sous le vent de barkhanes boisées.....	90
29 (a, b, c) : Arbres et arbustes asphyxiés à la suite d’inondations prolongées.....	95
30 : Transects NE/SW (E1-E6) et NW/SE (E3-E3b) établis pour les mesures de température, pH et conductivité des eaux lagunaires.....	98
31 : Comparaison de la conductivité entre transects.....	102
32 : Localisation des aires d’échantillonnage pour l’extraction des phytolithes.....	107
33 : Morphotypes de particules de silice biogène les plus représentées dans les sols actuels...	110
34 : Les assemblages de phytolithes pour la période actuelle.....	111
35 : Distribution taxonomique des phytolithes dans les sols actuels.....	112

36 : Les phytolithes, traceurs biogéographiques de la période actuelle à partir des trois index calculés.....	113
37 : Index climatiques fondés sur les phytolithes à travers les Grandes Plaines états-uniennes.....	116
38 : Chèvres paissant sur les dunes.....	126
39 : Croissance de la population d'Essaouira.....	129
40 : Nouveaux ensembles urbains au contact du massif dunaire.....	129
41 (a, b, c) : Amas dunaires bloquant l'entrée des habitations situées en bordure du couloir de déflation principal.....	130
42 : Couloir de déflation principal entre le nouveau quartier résidentiel et le géosystème dunaire.....	131
43 : Entame des dunes pour l'approvisionnement en sable utilisé dans la construction urbaine.....	132
44 (a, b) : Extraction d'argiles du substratum destinées à la production de briques.....	135
45 : Couleur artificielle et couleur « naturelle » de l'eau contenue dans les bassins.....	136
46 : Evolution du modelé dunaire en fonction de la pression anthropique le long d'un transect AB perpendiculaire au trait de côte et à la direction de l'alizé.....	140
47 : Fonctionnement général du géosystème dunaire d'Essaouira suivant la direction de l'alizé.....	142
48 : Fonctionnement général du géosystème dunaire sous l'emprise anthropique actuelle	143
49 (a, b) : Distribution granulométrique de dep55.....	149
50 (a, b) : Distribution granulométrique de dep50.....	149
51 (a, b) : Distribution granulométrique de dep45.....	149
52 (a, b) : Distribution granulométrique de dep40.....	149
53 (a, b) : Distribution granulométrique de dep35.....	150
54 (a, b) : Distribution granulométrique de dep30.....	150
55 (a, b) : Distribution granulométrique de dep25.....	150
56 (a, b) : Distribution granulométrique de dep20.....	150
57 (a, b) : Distribution granulométrique de dep15.....	151
58 (a, b) : Distribution granulométrique de dep10.....	151
59 (a, b) : Distribution granulométrique de dep5.....	151
60 (a, b) : Distribution granulométrique de sd.....	151
61 : Coupe du substratum limono-argileux.....	155
62 : Evolution de paramètres géochimiques le long du profil sédimentaire et interprétation climatique.....	159
63 (a, b) : Surfaces désertiques entre l'oued Ksob et le cap Sim.....	164
64 (a, b) : Arganeraie de Sidi Yacine et croûte carbonatée utilisée comme carrière de calcaire.....	174
65 (a, b) : Patûrage caprin et ovin sous arganeraie à faible phytomasse.....	175
66 : Distribution dans le temps et l'espace de l'ensemble des facteurs qui contrôlent la dynamique dunaire.....	186

INDEX DES CARTES

	page
1 : Localisation de la zone étudiée.....	10
2 : Etagement du relief dans la région d'Essaouira.....	35
3 : Les affleurements locaux.....	39
4 : Distribution spatiale des types de sols locaux.....	46
5 : Etats de surface du contact massif dunaire / urbanisation au 10 Août 1953.....	88
6 : Etats de surface du contact massif dunaire / urbanisation en décembre 1984.....	89
7 : Evolution des travaux de fixation des dunes littorales d'Essaouira (1918-1998).....	176
8 : Localisation des sites d'échantillonnage et des sites photographiés.....	181