

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.

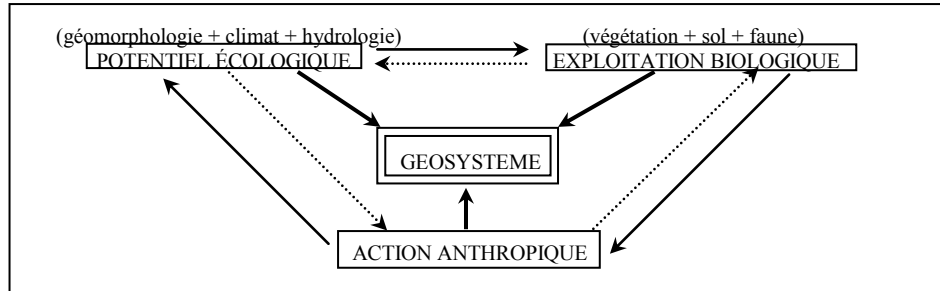


Fig. 1 : Définition théorique du géosystème, d'après G. BERTRAND (1968).

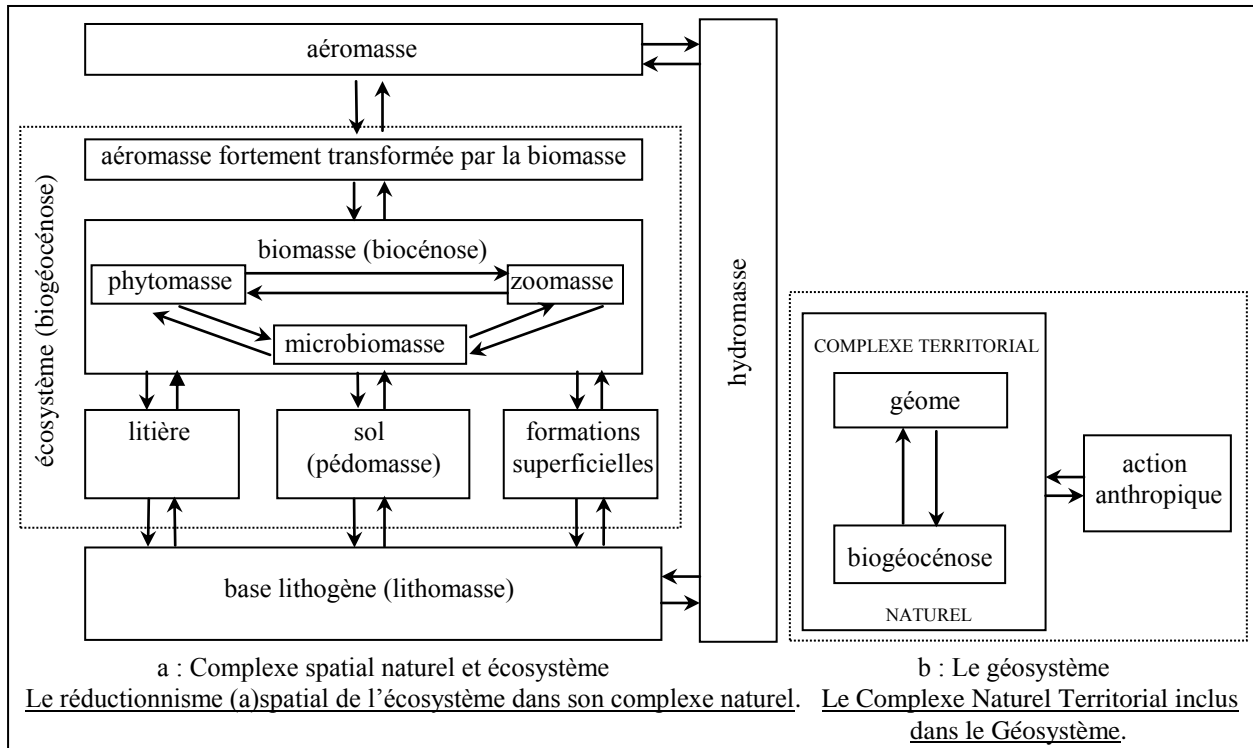


Fig. 2 : La relation d'emboîtement entre les trois entités : écosystème, Complexe Naturel Territorial et géosystème, d'après BEROUTCHACHVILI et MATHIEU (1977).

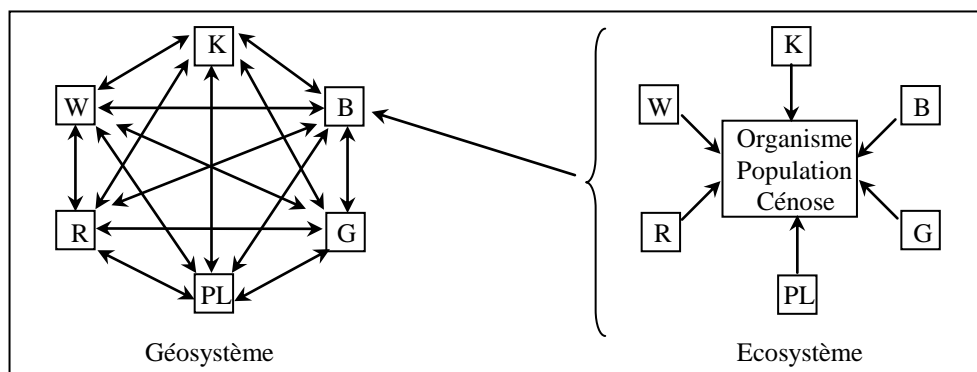


Fig. 3 : L'essence complexe du géosystème et le réductionnisme biocentrique de l'écosystème, d'après PREOBRAJENSKI (in ROUGERIE et BEROUTCHACHVILI, 1991).

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 décimètres 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 décimètres 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'infiltrent 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 dominante "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).

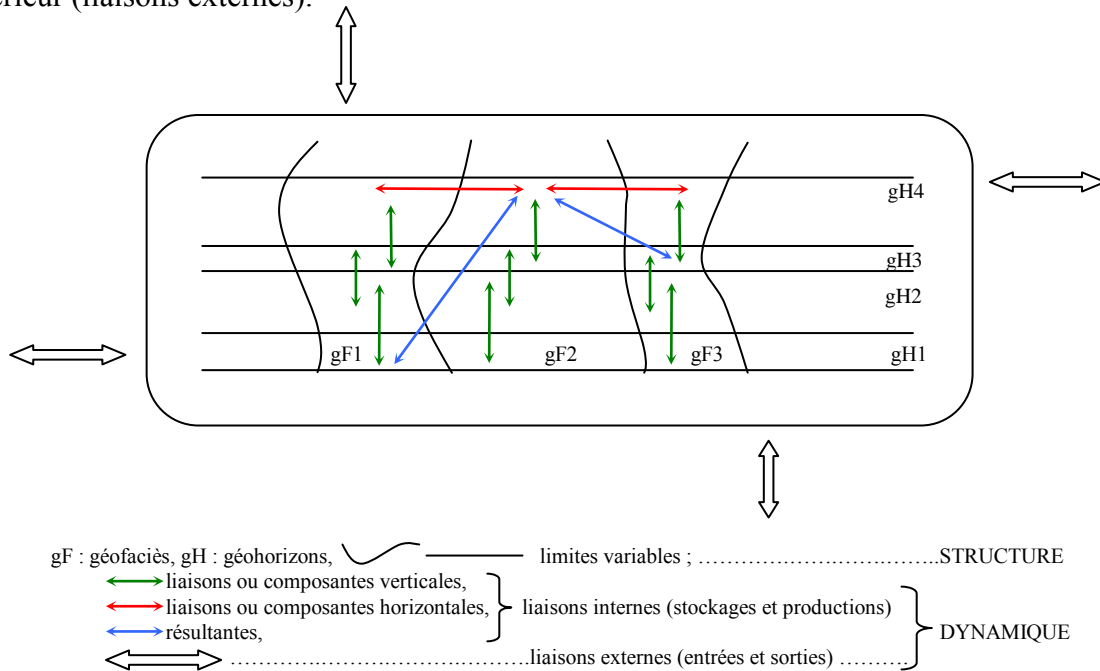


Fig. 4 : Modélisation du géosystème en coupe verticale.

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. PEPPLER (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.

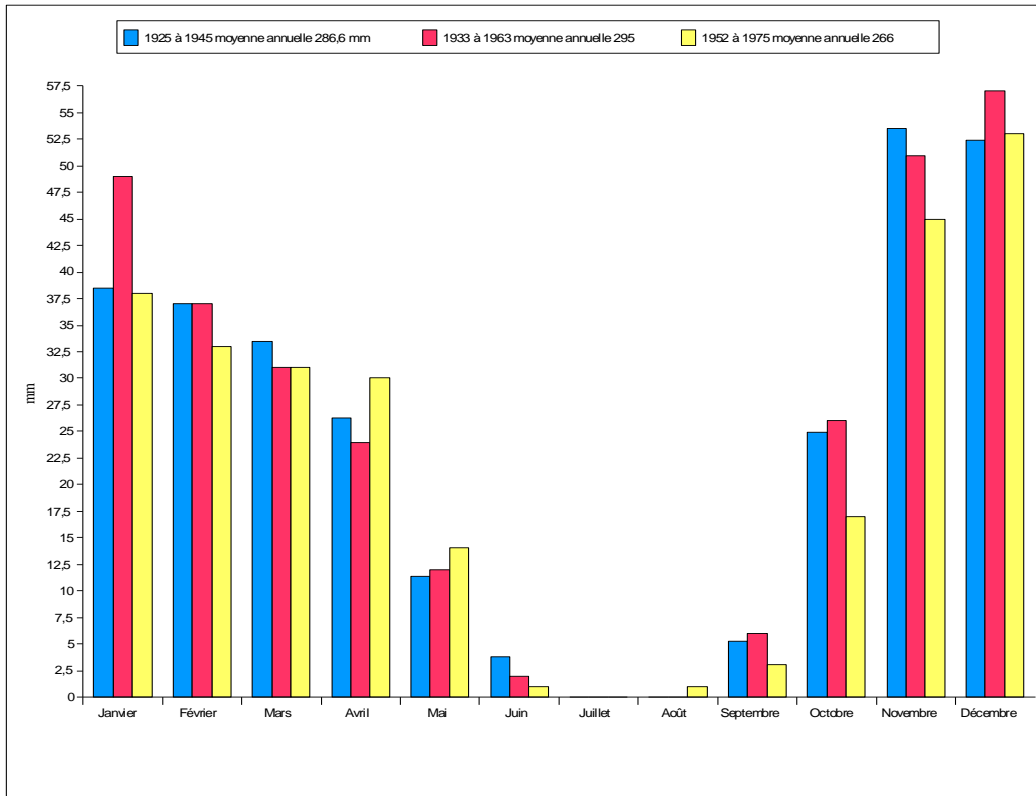


Fig. 5 : Pluviométrie moyenne mensuelle à Essaouira, d'après M. HOUMIMYD et M. ALLAM (1990), modifié, 1925 à 1945, Métro (1952), 1933 à 1963, Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire, 1952 à 1975, F. Zyadi (1986).

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).

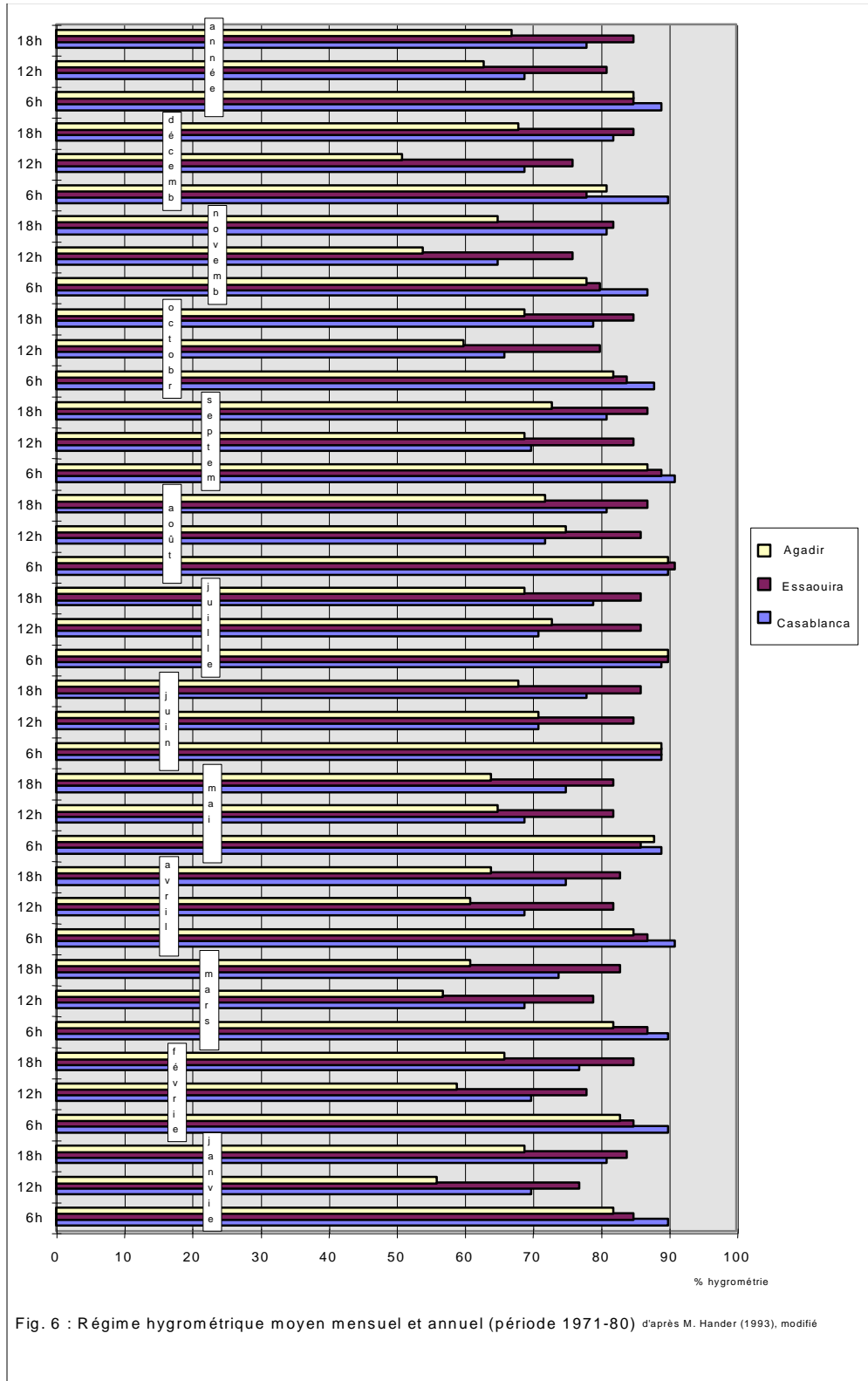
Ce premier élément climatique est renforcé par une humidité relative élevée très caractéristique à Essaouira. Toujours supérieure à 75 %, elle a deux origines : les brumes côtières périodiques et les alizés qui se chargent en vapeur d'eau sur l'océan Atlantique. Les premières sont les plus pourvoyeuses 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'aérologie.

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>Calmes sur 10 ans</i> | <i>moyenne</i> | <i>%</i> | <i>% de jours venteux</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) supérieures 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 occidentale). 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 s'agit 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.

