



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'Ensamblage 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 re-fixation 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.

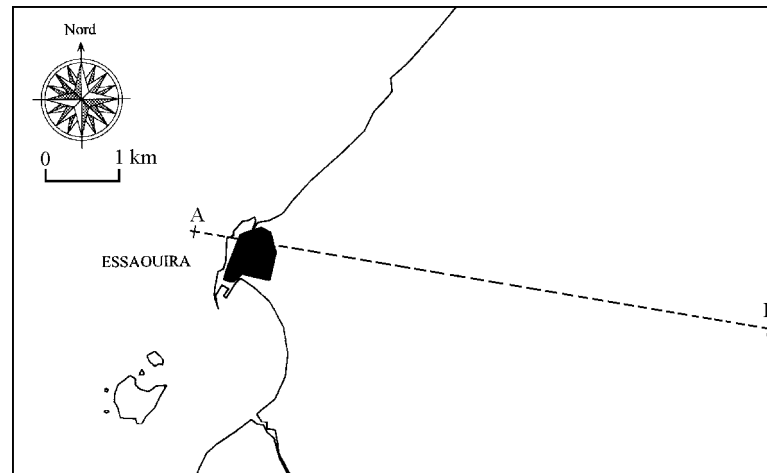
Les éléments biotiques représentés principalement par la phytocénose ayant été pour la majeure partie introduits sont considérés comme anthropiques et intégrés à l'équilibre précaire du système qui dépend des activités humaines développées.

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

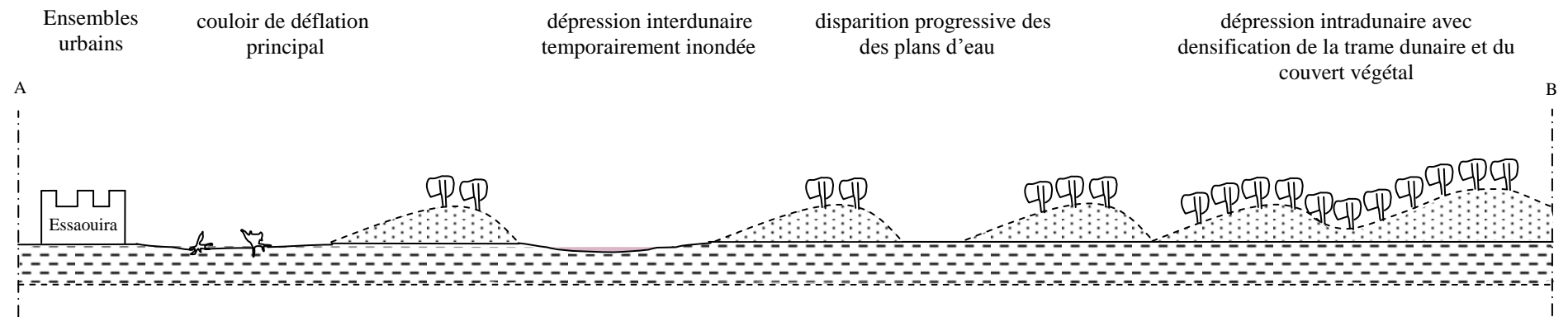


Fig. 46 : Evolution du modelé dunaire en fonction du gradient de pression anthropique le long d'un transect AB perpendiculaire au trait de côte et à la direction de l'alizé.

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 moghrébiennes) 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.

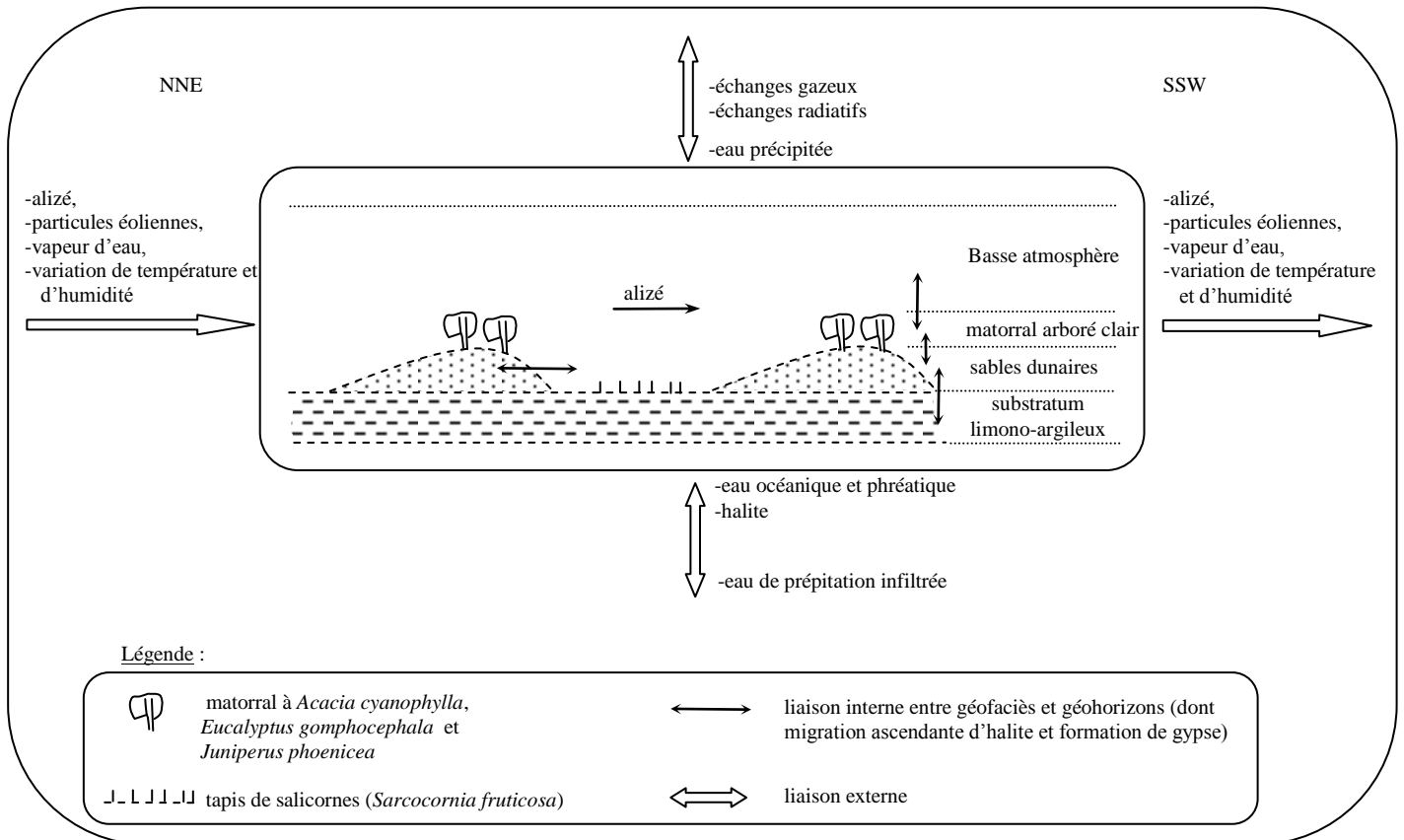


Fig. 47 : Fonctionnement général du géosystème dunaire d'Essaouira suivant la direction de l'alizé.

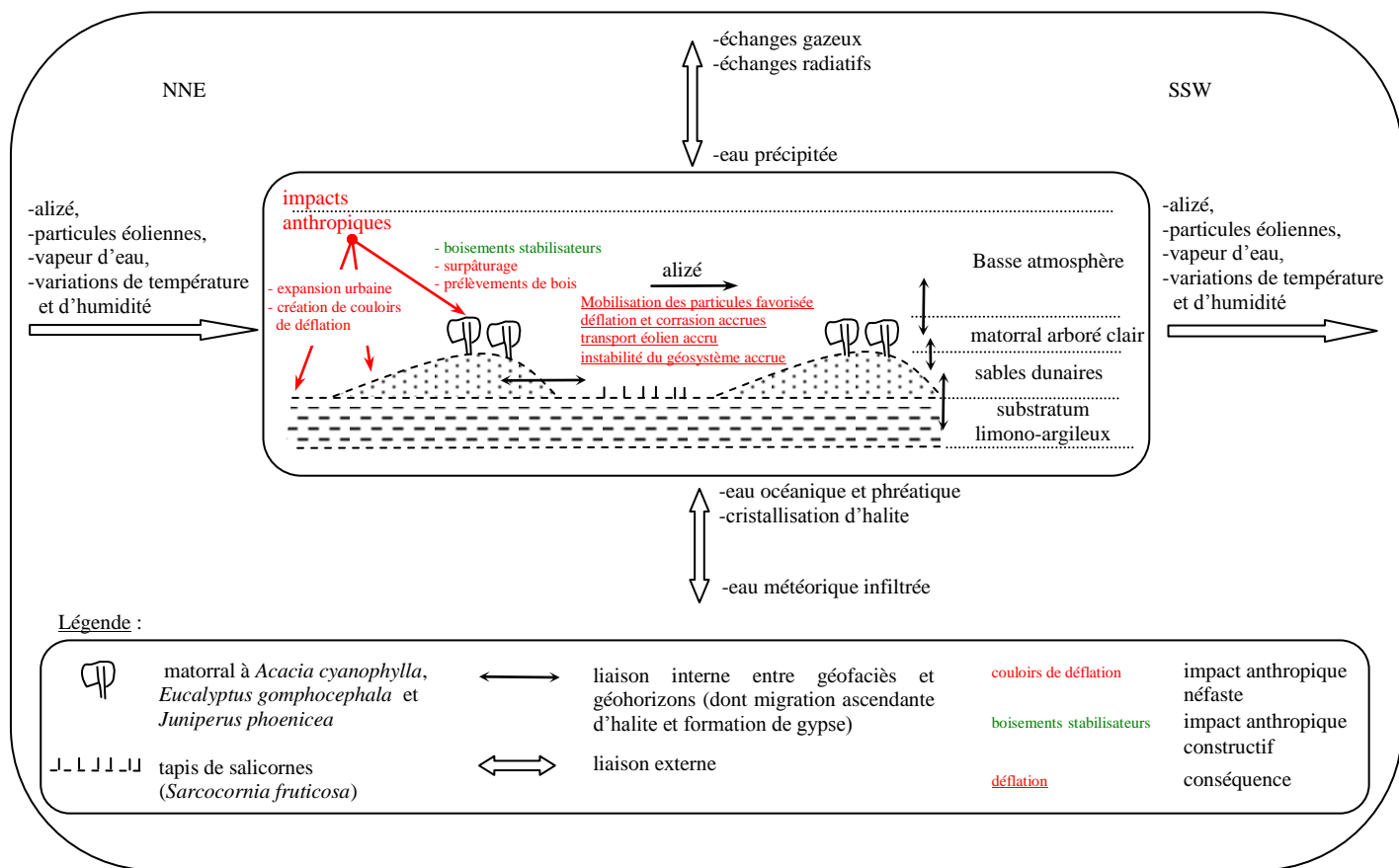


Fig. 48 : Fonctionnement général du géosystème dunaire sous l'emprise anthropique actuelle.

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.