

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) :

$$C = U_{\text{ma}}^3 / (P-E)^2,$$

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 lettes 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.