

2. Comprendre l'ensablement

Il y a ensablement lorsque les grains de sable sont transportés par les vents et s'accumulent sur le littoral, au bord des cours d'eau et sur des terres cultivées ou incultes.

En se déplaçant, les accumulations de sable (dunes) ensevelissent les villages, routes, oasis, cultures, jardins maraîchers, canaux d'irrigation et barrages, entraînant ainsi des dégâts matériels et socio-économiques très importants. Des programmes de lutte contre la désertification doivent alors être mis en œuvre pour endiguer la gravité de cette situation.

Pour établir ces programmes, il est essentiel de connaître les facteurs et de comprendre les processus qui favorisent la formation et le déplacement des masses sableuses, à savoir le vent et le sol.

ÉROSION ÉOLIENNE

Les principales causes de l'érosion éolienne sont:

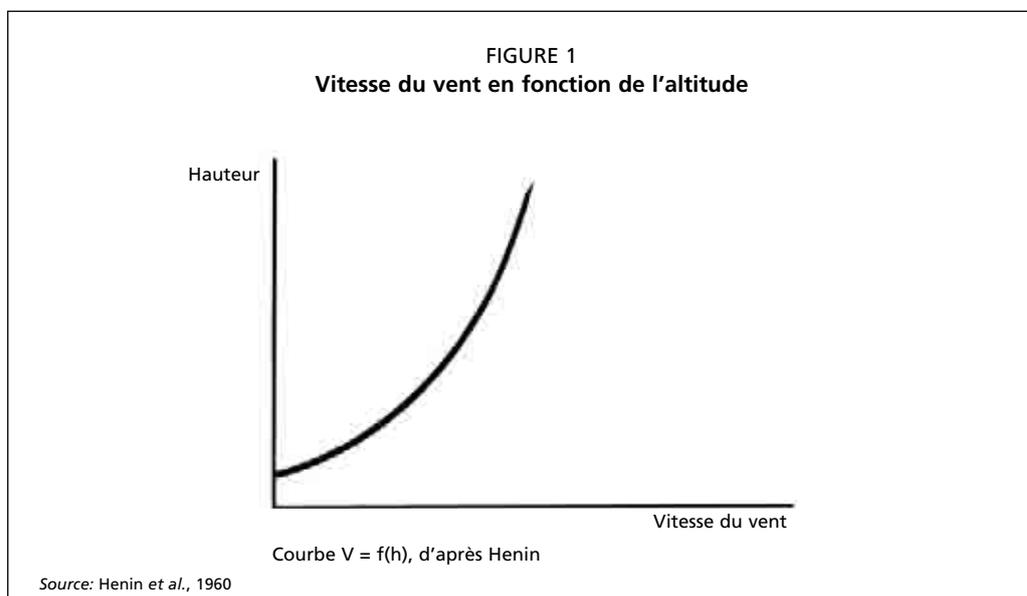
- un vent violent soufflant sur de grandes surfaces;
- une végétation rabougrie ou rare;
- un sol dégradé, meuble, dénudé et sec.

La violence du vent

Le déplacement des particules du sol est lié à la direction, la vitesse et la durée du vent. Lorsqu'un vent souffle avec plus de fréquence dans une direction privilégiée, on parle de vent dominant. Au niveau du sol, la vitesse du vent est nulle. Le vent est d'autant plus fort qu'on s'éloigne de la surface du sol, et sa vitesse augmente comme le logarithme de la hauteur (figure 1).

Un vent ne peut soulever des particules de sable que lorsque sa vitesse, mesurée avec un anémomètre à 30 cm au-dessus du sol, atteint ou dépasse 6 m par seconde. La vitesse du vent est un facteur essentiel, car elle détermine la force d'entraînement du sable. Plus cette vitesse augmente, plus la capacité de transport s'accroît.

Le second facteur est la taille et la densité des particules de sable. Les particules dont le diamètre avoisine 0,1 mm sont entraînées les premières, tandis que les particules plus grosses ne peuvent être déplacées que par des vents violents.



La nature du mouvement des particules varie selon leur dimension (figure 2).

- Les plus grosses particules roulent ou glissent à ras de terre; c'est le phénomène de reptation. Les grains de sable qui se déplacent de cette façon ont un diamètre compris entre 0,5 et 2 mm, suivant leur densité et la vitesse du vent. Lorsqu'ils commencent à avancer plus difficilement, suite à l'effet de freinage de la masse sableuse, le mécanisme de saltation devient possible.
- Les particules du sol de dimension moyenne (de 0,5 à 1,1 mm de diamètre) avancent par bonds successifs, selon un mécanisme appelé saltation. Après avoir sauté, ces particules retombent sous l'effet de la pesanteur; 90 pour cent d'entre elles atteignent une altitude ne dépassant pas 30 cm, avec une amplitude au sol comprise en moyenne entre 0,5 et 1 m. Le phénomène de saltation est primordial pour déclencher l'érosion éolienne.
- Les particules très fines, d'un diamètre égal ou inférieur à 5 microns, sont projetées en l'air sous forme de poussière par l'impact des grains plus gros. Ces particules restent en suspension et peuvent être entraînées très loin sous forme de nuage de poussière, atteignant souvent 3 000 à 4 000 m d'altitude.

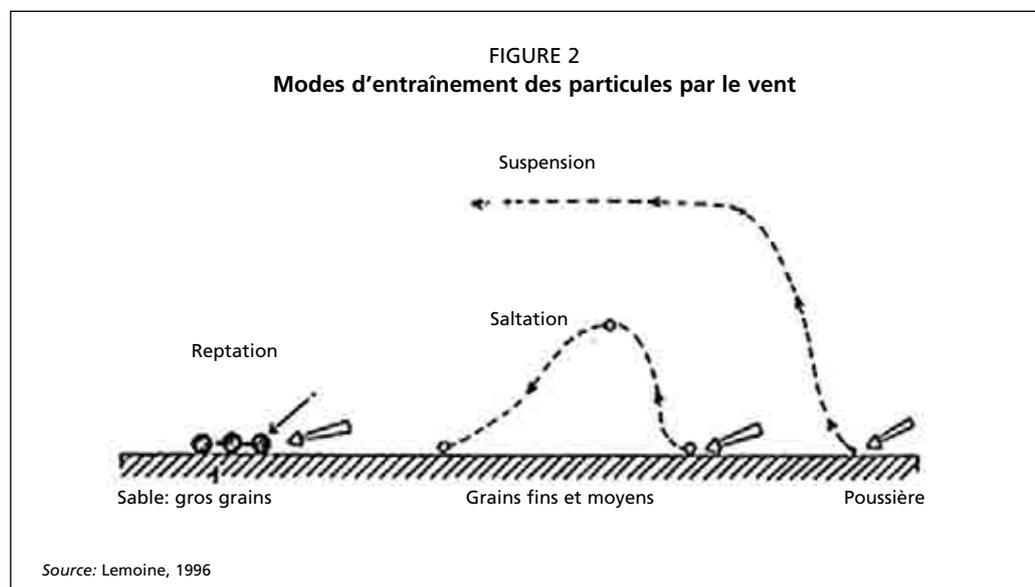
Les mécanismes des mouvements globaux

Les particules en mouvement sont le siège d'interactions, dont les principales sont l'effet d'avalanche, le triage et la corrasion.

L'effet d'avalanche est la conséquence de la saltation. En retombant, les grains de sable provoquent le déplacement d'une quantité plus importante de particules. Ainsi, plus le phénomène causé par le vent est intense, plus le nombre de particules mises en mouvement augmente, jusqu'à ce qu'un maximum (saturation) soit atteint, où la quantité perdue est égale à la quantité gagnée à chaque instant. La distance nécessaire pour atteindre cette saturation va dépendre de la sensibilité du sol à l'érosion. Ainsi, sur un sol très fragile, elle peut se produire sur une cinquantaine de mètres, et demander plus de 1 000 m sur un sol de bonne cohésion.

Le triage concerne le déplacement par le vent des particules les plus fines et les plus légères, alors que les plus grosses restent sur place. Cet effet entraîne progressivement l'appauvrissement du sol puisque la matière organique formée d'éléments fins et légers est la première à être emportée.

La corrasion est l'attaque mécanique de la surface sur laquelle souffle un vent chargé de sable. Dans les régions arides, elle est la cause aggravante de l'érosion des sols et se traduit par des stries parallèles ou par un polissage des roches.



L'état de la végétation

La végétation maintient la cohésion de la couche superficielle du sol, retient les particules, s'oppose à l'effet d'avalanche et constitue la meilleure protection contre les effets néfastes du vent. C'est pourquoi l'érosion éolienne est à craindre dans les régions arides et semi-arides, où les formations végétales naturelles (arborées, arbustives et herbacées) sont clairsemées, rabougries ou inexistantes, et où la pluviométrie est faible et irrégulière.

De plus, l'exploitation irrationnelle de ces formations à croissance lente provoque une dégradation rapide du sol, qui est alors soumis à l'action des vents car il n'est plus protégé.

La nature et l'état du sol

L'érosion éolienne est la conséquence de l'attaque du sol par le vent. Cette érosion se produit si le sol présente les particularités suivantes :

- il est meuble, sec et finement émiétté (à texture grossière, riche en sable fin, pauvre en argile et en matière organique);
- il a une surface uniforme, dépourvue d'obstacles naturels ou artificiels;
- la couverture végétale est rare ou inexistante;
- il couvre une zone suffisamment étendue, allongée dans le sens du vent.

Les sols desséchés durant une longue période sont surtout présents dans les zones arides et semi-arides.

La sensibilité du sol à l'érosion peut être aggravée par de mauvaises pratiques culturales (défrichement sur des surfaces importantes) ou pastorales (surpâturage avec ameublissement et émiettement du sol) et par des prélèvements abusifs dans les périmètres forestiers, ce qui rend le sol très sensible à l'action du vent.

En Mauritanie, les sols sont généralement profonds, fragiles et à dominance sableuse. Ils se trouvent le plus souvent dans des zones où les précipitations annuelles sont inférieures à 100 mm.

ORIGINE DU SABLE

Lorsque le sable est apporté par des courants marins et que son accumulation sur le rivage est importante, il forme des dunes littorales.

S'il provient de l'intérieur des terres, il forme des dunes continentales. Dans ce cas, le sable peut être allochtone (d'origine lointaine), avec un diamètre des particules inférieur à 0,05 mm, ou autochtone (d'origine locale), pouvant provenir de la décomposition des roches (grès) de montagne, de la désagrégation de sols alluvionnaires suite à la disparition du couvert végétal, ou des limons charriés par les oueds en raison d'une érosion hydrique de leurs bassins versants.

L'ensablement a longtemps été considéré en Mauritanie comme la conséquence des apports d'origine lointaine ou locale. Cependant, selon Raunet (1985) et Khatteli (1989), les apports allochtones seraient insignifiants par rapport aux apports autochtones.

EFFETS DE L'ÉROSION ÉOLIENNE

Sur le sol

Le vent entraîne en premier lieu les parties fines du sol, c'est-à-dire le limon, le sable fin et la matière organique. Il détériore ainsi la structure du sol, qui devient plus sableuse, donc plus sensible à son action, et il diminue sa capacité de rétention d'eau. La coloration du sol passe du gris au blanc puis au rouge, au fur et à mesure de son décapage. De petites buttes se créent autour de la végétation ligneuse et herbacée, rendant ainsi le terrain accidenté. Le sol devient progressivement impropre à la culture.

Sur la végétation

L'action du vent sur la végétation est à la fois mécanique et physiologique.

- **Effets mécaniques.** Les particules de sol transportées heurtent les tiges et les feuilles avec force, entraînant l'abrasion de leurs tissus. Dans les zones où les particules sont

prélevées, les racines se déchaussent et la végétation risque d'être déracinée. Dans les zones où elles sont déposées, la végétation est progressivement ensevelie.

- **Effets physiologiques.** Le vent augmente l'évaporation et dessèche les plantes, principalement pendant la saison sèche. Le pouvoir évaporant de l'air est proportionnel à la racine carrée de la vitesse du vent. De plus, la capacité de rétention d'eau du sol est diminuée et conduit à un déficit hydrique. La masse d'air sec ambiant ou en mouvement a tendance à absorber toute l'humidité et à creuser le déficit de saturation. Or c'est ce déficit qui modèle le plus la végétation locale, car cette dernière doit s'adapter au manque d'eau sévère.

ACCUMULATIONS ÉOLIENNES

Lorsque le vent faiblit, il perd sa force d'entraînement des particules sableuses, et ces dernières se déposent. Les formes d'accumulation sableuse sont très variées et dépendent de la topographie du terrain, de la nature du sol sur lequel elles progressent, de la présence ou non de végétation, et de la dimension des grains de sable.

Les principales formes d'accumulation rencontrées en Mauritanie sont les voiles éoliens, les nebkas, les barkhanes, les dunes linéaires, les cordons longitudinaux, les dunes pyramidales, les aklés et les ergs.

Les voiles éoliens

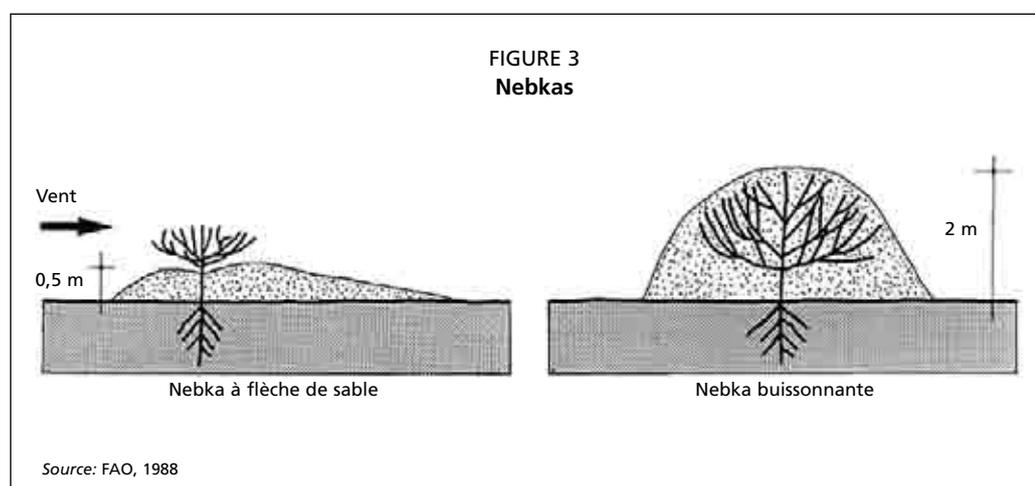
Les particules de sable sont transportées sur des surfaces dures à topographie plane et uniforme, où elles forment des voiles sableux de plus ou moins grande épaisseur, qui constituent un danger permanent pour les villages, routes, voies ferrées et canaux d'irrigation. Ce type d'accumulation éolienne est à l'origine de l'ensablement superficiel présent un peu partout dans le pays et il prend de l'extension suite aux défrichements, aux feux de brousse et au surpâturage.

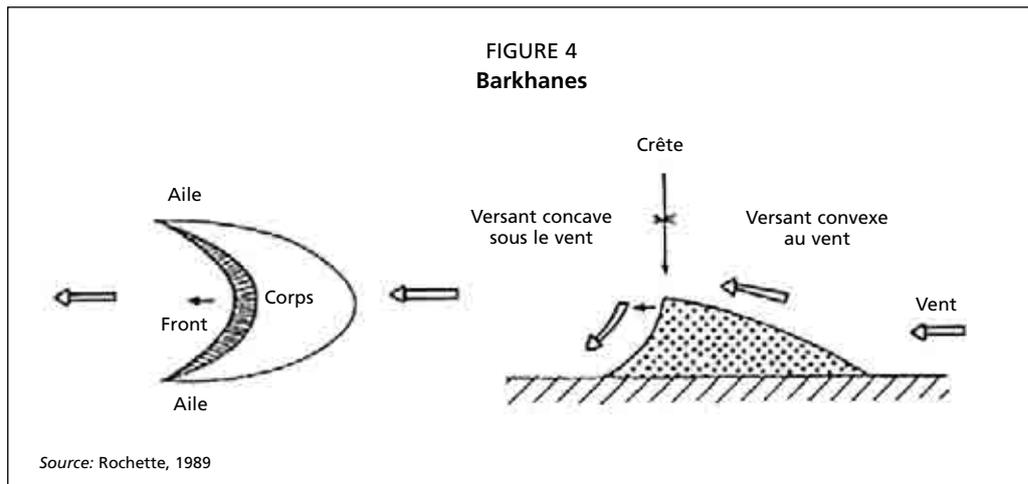
Les nebkas

Ces accumulations sont dues à la présence d'un obstacle rocheux, végétal ou autre sur la trajectoire des particules sableuses en mouvement. On distingue deux types de nebkas: les nebkas à flèche de sable, qui sont des formes dunaires ovoïdes de petites dimensions (50 cm de hauteur, 150 cm de longueur et 40 cm de largeur), allongées dans le sens du vent dominant; et les nebkas buissonnantes, du même genre que les précédentes, mais pouvant atteindre 2 m de hauteur et 3 à 4 m de longueur (figure 3).

Les barkhanes

Il s'agit de dunes massives en forme de croissant à convexité au vent (figure 4). Leur formation passe par plusieurs stades: le bouclier sableux, puis le bouclier barkhanique,





Barkhanes isolées



Champ barchanique ou barkhanes jointives

suivi du dièdre barkhanique et enfin l'état de barkhane. En général, les barkhanes ne restent pas isolées; elles peuvent se rejoindre et former des ensembles complexes, allant des trains barkhaniques à de véritables massifs dunaires.

La migration des barkhanes requiert trois conditions: un vent constant monodirectionnel, une source de sable importante et de granulométrie allant de 0,12 à 0,25 mm de diamètre, et une surface plane et dure. Les barkhanes étant des constructions instables, mobiles et sans cesse remodelées par le vent, leur vitesse de déplacement peut atteindre plusieurs dizaines de mètres par an.

Les dunes linéaires ou sifs

Les dunes linéaires sont des accumulations de sable, de forme allongée, étirées sur toute la longueur comme une épée (appelée *sif* en arabe) (figure 5). La longueur est toujours de huit à dix fois plus importante que la largeur. En moyenne, ces dunes ont de 1 à 2 km de longueur et de 50 à 200 m de largeur. Elles sont parfois réunies, et leurs formations peuvent mesurer de 20 à 40 km de longueur, par exemple le long de la Route de l'espoir.

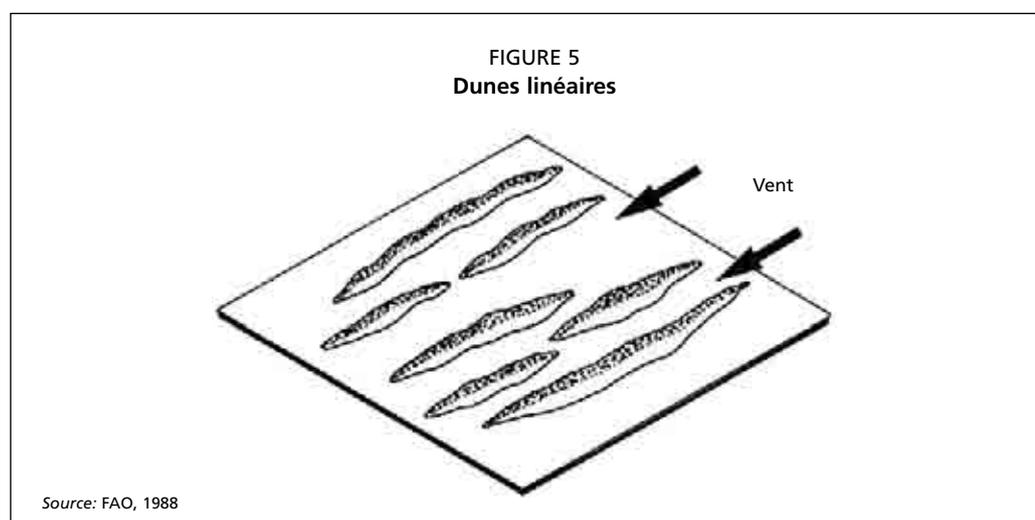
Ce type d'accumulation éolienne se produit dans un environnement aride parcouru par deux vents dominants de direction différente (nord-est et sud-ouest, par exemple) ou par un seul vent dominant dont les écoulements d'air ont été divisés par des irrégularités topographiques. La direction de ces dunes est oblique par rapport à la résultante des vents dominants. Le mouvement d'une dune linéaire se fait par allongement, au fur et à mesure des nouveaux apports de sable par le vent.

Les cordons longitudinaux ou sand ridges

Ces cordons sont des monticules sableux larges et volumineux, de forme longitudinale, situés côte à côte et séparés par des couloirs de déflation (figure 6). Ils sont plus ou moins stables et peu mobiles. Ils s'alignent dans la direction des vents dominants, contrairement aux dunes linéaires, qui sont obliques par rapport à la direction résultante annuelle. La déstabilisation de ces cordons est liée à la disparition du couvert ligneux et herbacé. Ce type de formation peut être observé de chaque côté de la Route de l'espoir, avec des cordons orientés nord-est sud-ouest.

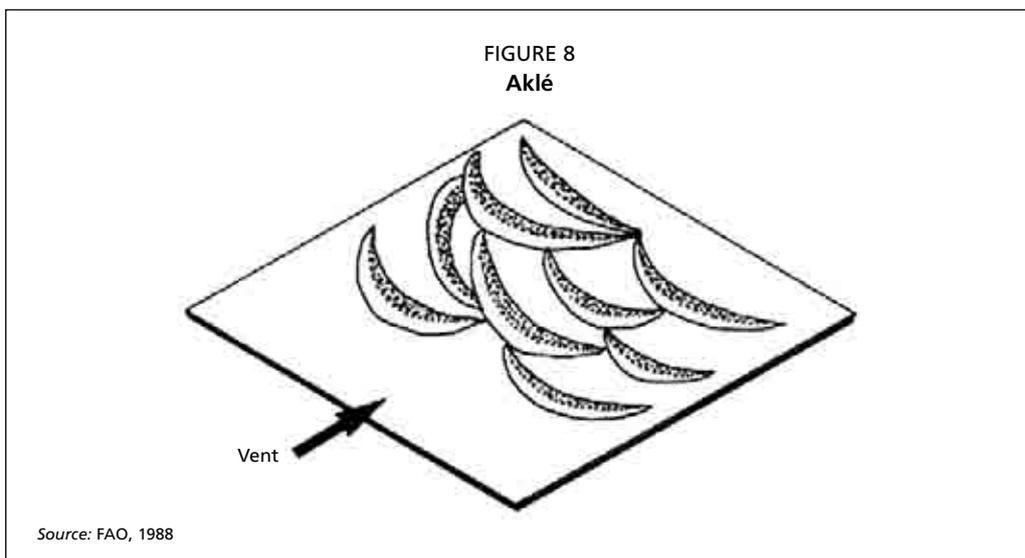
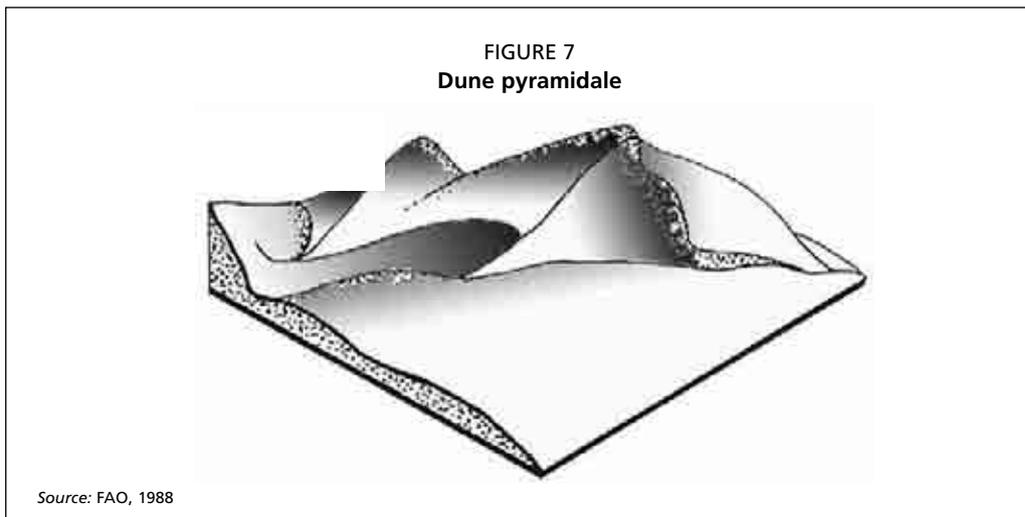
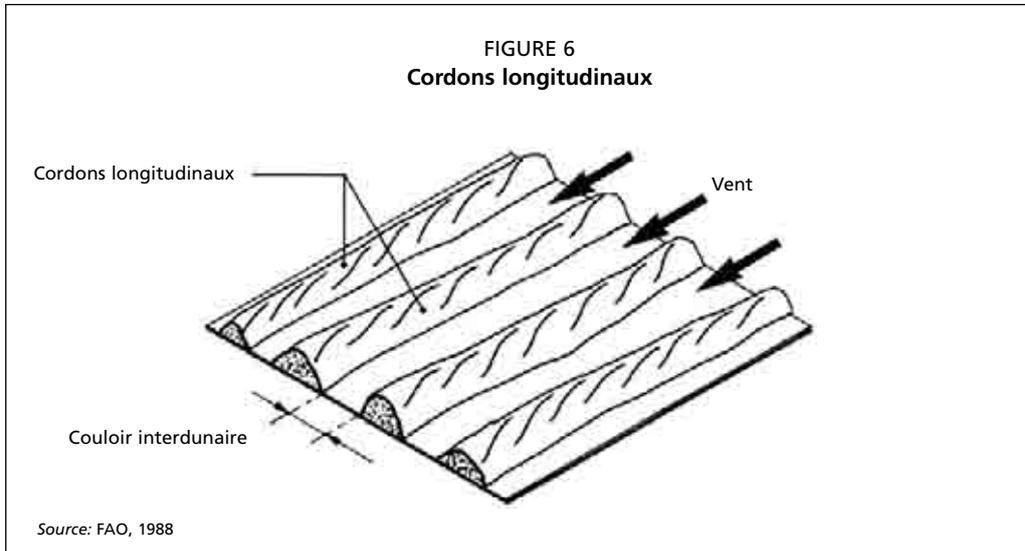
Les dunes pyramidales ou *ghourds*

Ce sont des collines de sable, souvent en forme de pyramide étoilée, pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres de hauteur (figure 7). Elles naissent à la convergence de plusieurs flux éoliens et sont pratiquement stables et immobiles. Elles deviennent donc des sources de sable qui peuvent donner naissance à des barkhanes ou à des dunes linéaires, comme dans les *wilayas* (divisions administratives) du Tagant et de l'Adrar.



Les aklés

Ce type de formation, présent dans les *wilayas* de l'Inchiri et de l'Adrar, est un assemblage complexe de dunes qui se chevauchent (figure 8).



Les ergs

Il s'agit de vastes étendues couvertes de dunes. Ce type de formation est très ancien (de 15 000 à 20 000 ans) et stable. Il ne présente aucun danger pour les agglomérations, le réseau routier ou les cultures.

IDENTIFICATION DES SITES ENSABLÉS

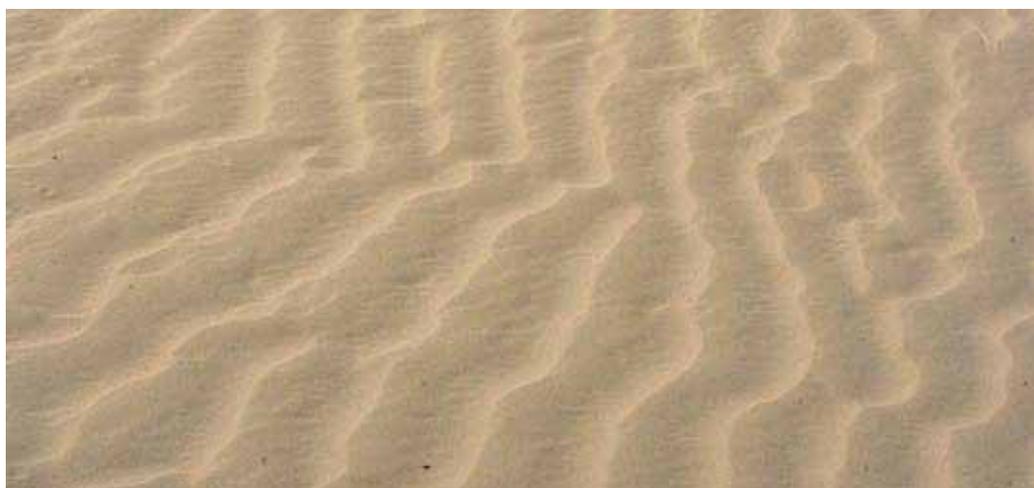
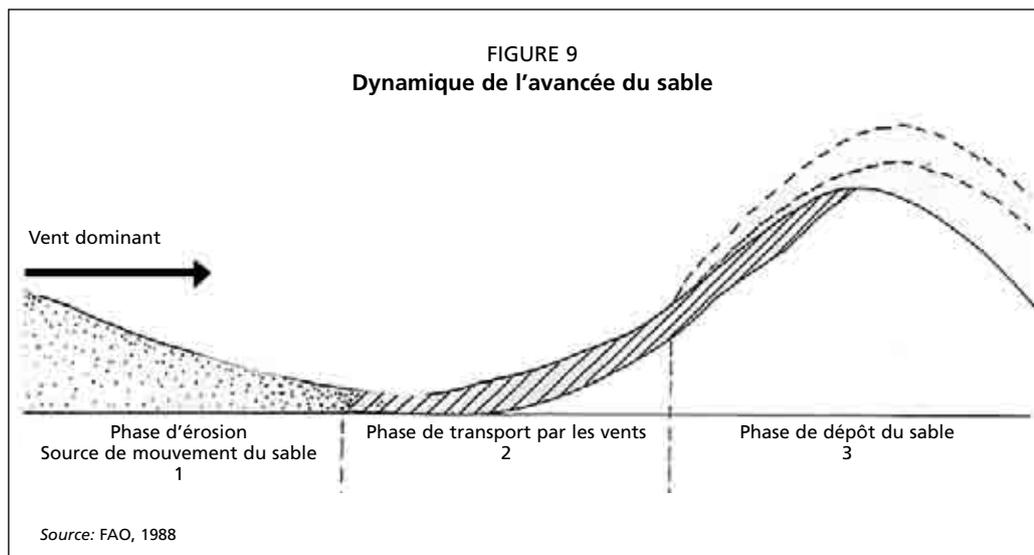
Observations sur le terrain

Lorsqu'un site est menacé d'ensablement, il est nécessaire d'identifier avec soin les sources de sable, les zones de transport et les secteurs d'accumulation (figure 9).

Les sources de sable peuvent être d'origine locale ou mixte (autochtone ou allochtone). Le sable peut également provenir de la dégradation du couvert végétal, d'anciennes dunes remises en mouvement, d'apports actuels provenant des épandages de crues, des terrasses alluviales ou des oueds. Une bonne localisation des étendues de sources de sable permet de bien définir les techniques de stabilisation à adopter.

Les zones de transport sont des surfaces sur lesquelles le sable se déplace par saltation et roulage, en laissant sur son passage des traces telles que les voiles éoliens et les nebkas. L'orientation de ces traces indique la direction de déplacement du sable vers les zones de dépôt.

Les secteurs d'accumulation ou les zones de dépôt sont d'importantes masses de sable, comme les barkhanes, les dunes linéaires, les cordons longitudinaux, etc. Ces



Zone de déflation et de transport

masses sableuses sont très dangereuses pour les villages, les infrastructures routières, les périmètres maraîchers et les palmeraies. Ces masses se transforment en fronts de dunes lorsqu'elles rencontrent un obstacle placé sur leur trajectoire. Les crêtes de ces fronts signifient qu'elles constituent des pièges à sable, qui peuvent se développer sur plusieurs mètres de haut en risquant de tout ensevelir à mesure qu'elles avancent. Les secteurs d'accumulation constituent également d'importantes masses de matériel sableux qui, transporté par le vent, risque d'envahir d'autres sites.

La cartographie des zones ensablées

Les sites ensablés doivent être inventoriés, répertoriés et cartographiés, et leurs coordonnées géographiques bien précisées. Les études feront ressortir les directions de l'ensablement, les secteurs de dépôt sableux, ainsi que les types de traitement proposés.

En Mauritanie, tous les sites ensablés dans les diverses *wilayas* ont été inventoriés et répertoriés en 1990 sur une carte d'ensemble du Programme multisectoriel de lutte contre la désertification (PMLCD). Ces données sont disponibles à la Direction de la protection de la nature du Ministère de l'environnement et du développement durable.

TYPES DE TRAITEMENT

Pour fixer des dunes mobiles, il est nécessaire d'étudier la composition et les caractéristiques du sable, la force, la fréquence et la direction du vent, la quantité, la durée et la fréquence des pluies, ainsi que l'existence ou non de végétation naturelle sur ces dunes.

Le principe fondamental de la fixation des dunes est d'empêcher le sable de se déplacer pendant un laps de temps suffisant pour permettre à une végétation naturelle ou plantée de s'y établir. Pour maîtriser l'ensablement, il faut réduire le phénomène de saltation, soit en stabilisant le sol, soit en atténuant le gradient de vitesse du vent près de la surface du sol. On peut également utiliser la vitesse du vent dans les techniques de gestion du sable et des masses dunaires; le vent en grande vitesse prend du sable et dégage ainsi les sites ensablés. Au contraire, il se déleste quand sa vitesse diminue, et dépose alors le sable. À partir de ces principes généraux, on distingue deux types de fixation.

La fixation primaire permet soit de stabiliser mécaniquement les masses sableuses en ralentissant leur vitesse et leur déplacement, soit d'empêcher la formation de ces masses sableuses par:

- la mise en place de palissades et de clayonnages perpendiculaires au vent dominant;
- l'épandage d'un produit ou matériau pouvant couvrir uniformément le sol (mulching);
- le profilage de l'obstacle pour maintenir ou augmenter la vitesse du vent; cette technique accroît la capacité de mobilisation et de transport du sable.

La fixation définitive ou biologique se fait par la mise en place et la protection d'une couverture végétale ligneuse et/ou herbacée permanente (semis direct, plantation, mise en défens, gardiennage).