

**UNIVERSITE BADJI MOKHTAR
FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE
DEPARTEMENT AMENAGEMENT
LABORATOIRE RESSOURCES NATURELLES ET AMENAGEMENT
LICENCE AMENAGEMENT**

التعرية الريحية

EROSION EOLIENNE

BRAHAMIA KHALED

Le vent est un déplacement horizontal de l'air, produit par une différence de pression. Il peut être défini par sa direction, sa vitesse. Le vent est un agent de l'érosion, il arrache et déplace les particules fines limons sables et graviers. Cette action est appelée, **déflation**.



Photo n°2 Action du vent

1 / Composition minérale et Origine du sable

Le sable est le produit de la décomposition des roches gréseuses, (en majorité de quartz). Au microscope les grains de quartz sont soit anguleux soit irréguliers et émoussés. Résultat des impacts répétés de l'action abrasive du vent.

D'autres minerais peuvent aussi se rencontrer en quantité très faible comme le calcite, le gypse, la magnétite.. etc. Les différentes couleurs du sable sont du aux oxydes. exemple, les oxydes de fer donnent aux grains de sable une couleur rouge.



Photo n° 3 et 4 Les grains de quartz le produit de la décomposition des roches gréseuses

Origine du sable; il provient de deux sources;

- Des courants marins, ils forment des dunes maritimes ou littorales.
- De l'intérieur des terres, cas du Sahara, il forme des dunes continentales.

Et dans ce cas le sable:

- peut être d'origine lointaine et on dit qu'il est allochtone
- peut être locale et on dit qu'il est autochtone.



d'origine lointaine allochtone

2 / Le mécanisme de l'érosion éolienne

Le vent exerce une force sur la surface du sol. La vitesse du vent augment au fur et à mesure que le vent s'éloigne du sol. En effet entre 0.03 et 2.5 mm de la surface d'un sol nu la vitesse est nulle. Cette couche est suivi d'une autre à très faible hauteur où la circulation de l'air est "laminaire" ou régulière. Au dessus de cette couche laminaire on assiste à un mouvement de turbulence entraînant le déplacement des particules du sol. Cette couche de turbulence se crée dès lors que la vitesse du vent dépasse 2 à 3 km à l'heure.

La vitesse du vent donc doit atteindre 15 km/h à la hauteur de 30cm au dessus du sol pour qu'il puisse faire bouger les particules libres d'environ 0.1mm de diamètre. Par contre les particules consolidées même fines nécessitent une vitesse de 20 km/h.

Pour les particules de grandes dimensions (supérieures à 1mm de diamètre), leur déplacement ne peut s'effectuer qu'avec des vents très forts > à 25 km/h. Il est faut signaler que la force érosive du vent augmente avec la vitesse.

Sur le terrain, on peut observer les trois processus suivants lorsque la vitesse du vent dépasse 15 à 25 km/heure (ou 4 à 7 m/sec.) selon la turbulence de l'air (De Ploey, 1980; Mainguet, 1983; Heusch, 1988).

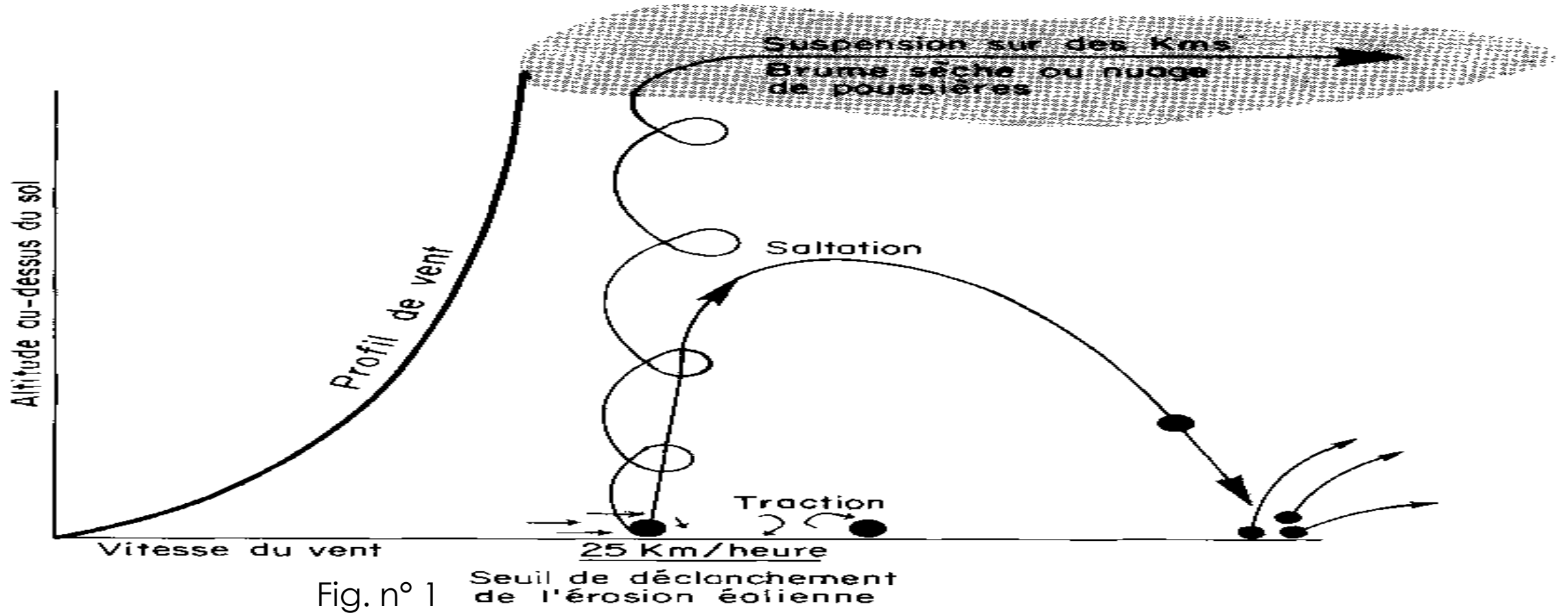
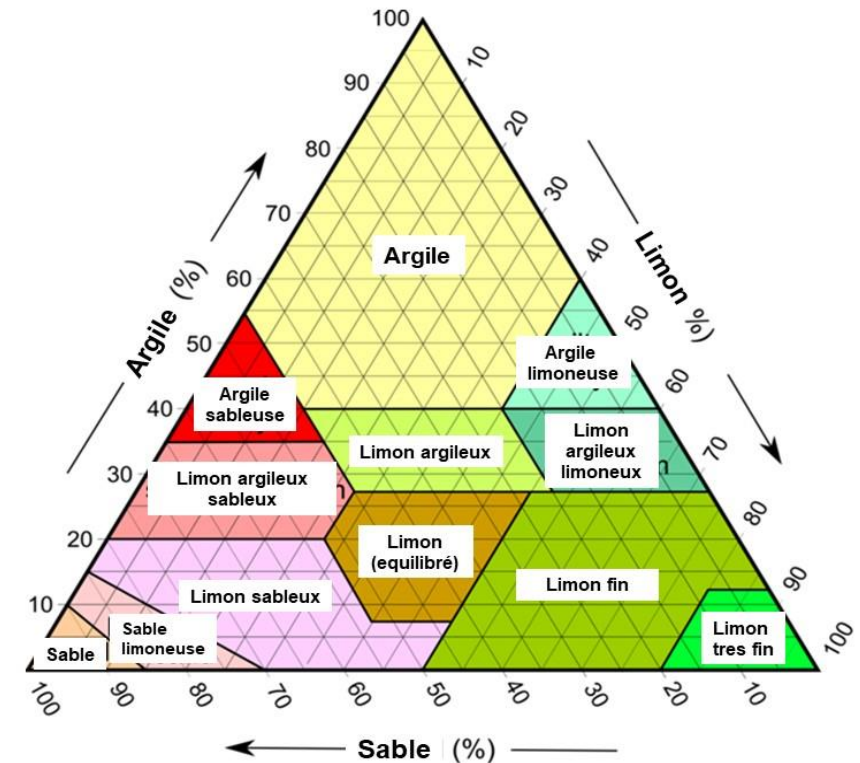
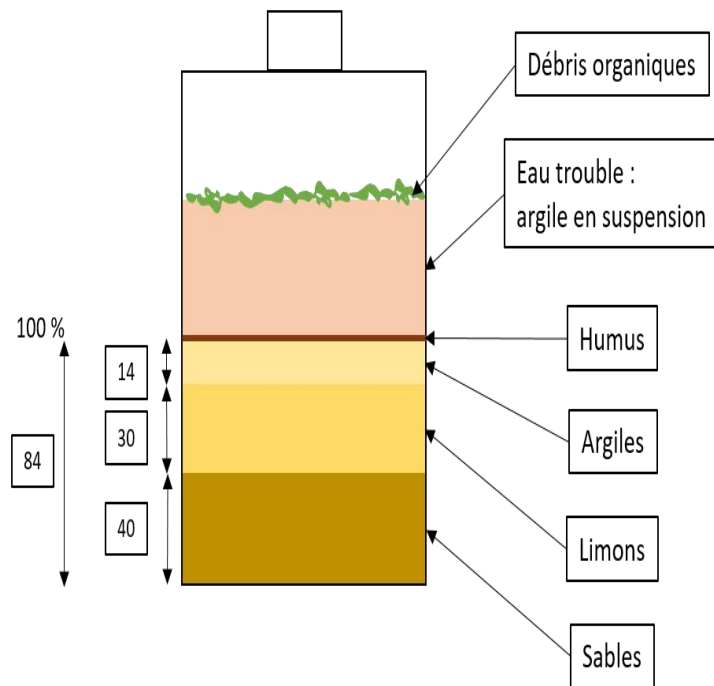


Fig. n° 1

La vitesse du vent, **la taille** et la **densité** des particules, **l'humidité** du sol et le **couvert végétal**, sont les principaux facteurs responsables de l'arrachage, du transport et le dépôt des particules de sols.

Les facteurs de conditionnement

- La **Texture**, Les sols limoneux, limono-argileux et limono-sableux sont généralement plus résistants à l'action des vents. Les sols les plus fragiles sont les sols sableux. Cependant, certaines particules de faible diamètre peuvent résister à l'action érosive du vent et ce, grâce à leur aptitude à la cohésion. Ainsi, l'optimum de la taille des particules du sol pour résister contre l'érosion éolienne se situe autour de 80 μm .



Les facteurs de conditionnement

- **La Structure,** est l'arrangement des particules individuelles du sol en agrégats.
- Les processus d'agrégation dépendent :
 - des conditions climatiques,
 - des phénomènes mécaniques pratiques culturales, piétinement par les animaux, passage d'engins mécaniques, auxquels il faut ajouter l'action abrasive des particules en saltation.
 - La matière organique et les minéraux liants, fer et alumine libre, calcaire),



Centre national de la recherche scientifique (CNRS)
ORSTOM - 34293 Montpellier Cedex 5
Rue de la Terrasse
34293 Montpellier Cedex 5

Evaluation visuelle de la structure du sol (VESS) / Ball et al., 2007, traduction Baize, 2013, hépia laboratoire sols et substrats*

Qualité de la Structure	Taille et Apparence des Agrégats	Porosité Visible et Racines	Apparence après rupture : divers sols	Apparence après rupture : même sol, différentes modalités de travail du sol	Traits distinctifs	Apparence des fragments (naturels ou obtenus par rupture) de ≈ 1.5 cm de diamètre
Sq1 Friable Agrégats friables entre les doigts	La plupart des agrégats < à 6mm après émiettement.	Très poreux. Les racines ont colonisé le sol.			Agrégats Fins	 L'action de briser le bloc est suffisante pour les relever. Les gros agrégats sont composés de plus petits, maintenus par les racines.
Sq2 Intact Agrégats se brisent facilement avec la main	Mélange d'agrégats poreux, arrondis de 2mm à 7cm. Aucune motte présente.	La plupart des agrégats sont poreux. Les racines colonisent entièrement le sol.			Forté porosité des agrégats	 Les agrégats obtenus sont arrondis, fragiles, se cassent très facilement et sont très poreux.
Sq3 Ferme La plupart des agrégats se brisent avec la main	Mélange d'agrégats poreux de 2mm-10cm. Moins de 30% <1cm. Présence possible de fragments angulaires non poreux (mottes).	Présence de macropores et de fissures. Présence de pores et de racines à l'intérieur des agrégats.			Faible porosité des agrégats	 Les agrégats/fragments sont plutôt faciles à obtenir. Ils ont peu de pores visibles et sont arrondis. Les racines poussent habituellement à travers les agrégats.
Sq4 Compact Exige un gros effort pour briser les agrégats avec la main	Principalement mottes >10 cm, sub-angulaires, non poreuses ; moins de 30% <7cm ; structure lamellaire possible.	Peu de macropores et de fissures. Toutes les racines sont localisées dans les pores et autour des agrégats.			Macropores Visibles	 Les agrégats/fragments sont faciles à obtenir quand le sol est humide. Ils se présentent en cubes avec des formes anguleuses et des fissures internes.
Sq5 Très Compact Agrégats vraiment difficile à briser	Principalement mottes angulaires et non poreuses ; >10cm, très peu de fragment <7cm.	Très faible porosité. Des macropores peuvent être discernables. Anoxie possible. Peu de racines et localisées dans les fissures.			Couleur gris-bleu	 Le sol peut être fragmenté lorsqu'il est humide, mais peut exiger un effort important. Habituellement, pas de pores ou de fissures visibles à l'œil.

<https://agriculture-de-conservation.com/Evaluation-Visuelle-de-la-structure-d-un-sol.html>

- **Couvert végétal** : réduit la vitesse du vent à la surface du sol, et par conséquent protège les sols contre l'érosion éolienne. Généralement les sols ont besoin d'une couverture végétale d'au moins de 30% pour prévenir l'action de l'érosion éolienne. Les chaumes et les résidus de culture étalés sur le sol pourraient anticiper une éventuelle érosion éolienne.

- **L'humidité du sol** augmente la cohésion des particules du sol, rendant ceux-ci temporairement indisponibles pour l'arrachage et le transport par l'érosion éolienne.

- **L'aridité du climat** : l'érosion éolienne se manifeste là où les pluies sont < à 600 mm sur des sols dénudés et en présence des vents avec des vitesses



2 / Les modes de transport du sable

Le mouvement initial des particules du sol est une série de sauts. Il existe trois modes différents d'entraînement des particules:

2-1 / La reptation en surface

Les particules de plus grande dimension roulent ou glissent à la surface du sol. Trop lourdes pour être soulevées, leur mouvement est déclenché par l'impact des particules en saltation plutôt que par l'action du vent. Les particules qui se meuvent ainsi ont des diamètres compris entre 0,5 et 2 mm suivant leur densité et la vitesse du vent.

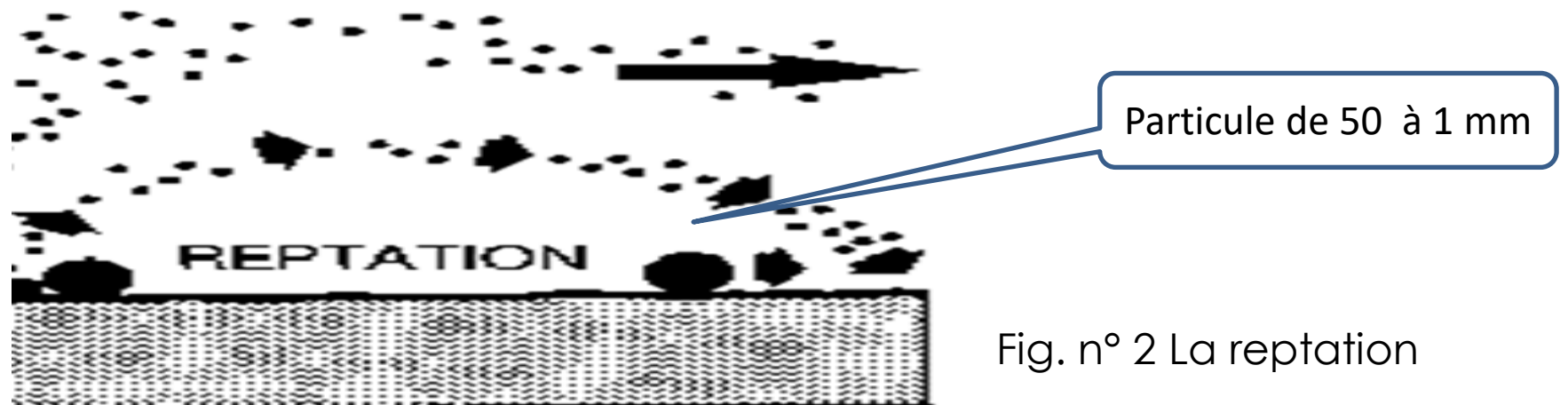


Fig. n° 2 La reptation

2-2 / La saltation:

Le diamètre des particules en saltation est compris entre 0,5 et 1,1 mm. Après avoir sauté, les particules retombent sous l'action de la pesanteur. La partie descendante de la trajectoire est très inclinée vers le sol et pratiquement rectiligne. Peu de particules atteignent une altitude supérieure à 1 m et environ 90 % d'entre elles font des sauts inférieurs à 30 cm. L'amplitude horizontale d'un saut est généralement comprise entre 0,5 et 1 m.

Le phénomène de saltation est indispensable pour amorcer l'érosion éolienne.

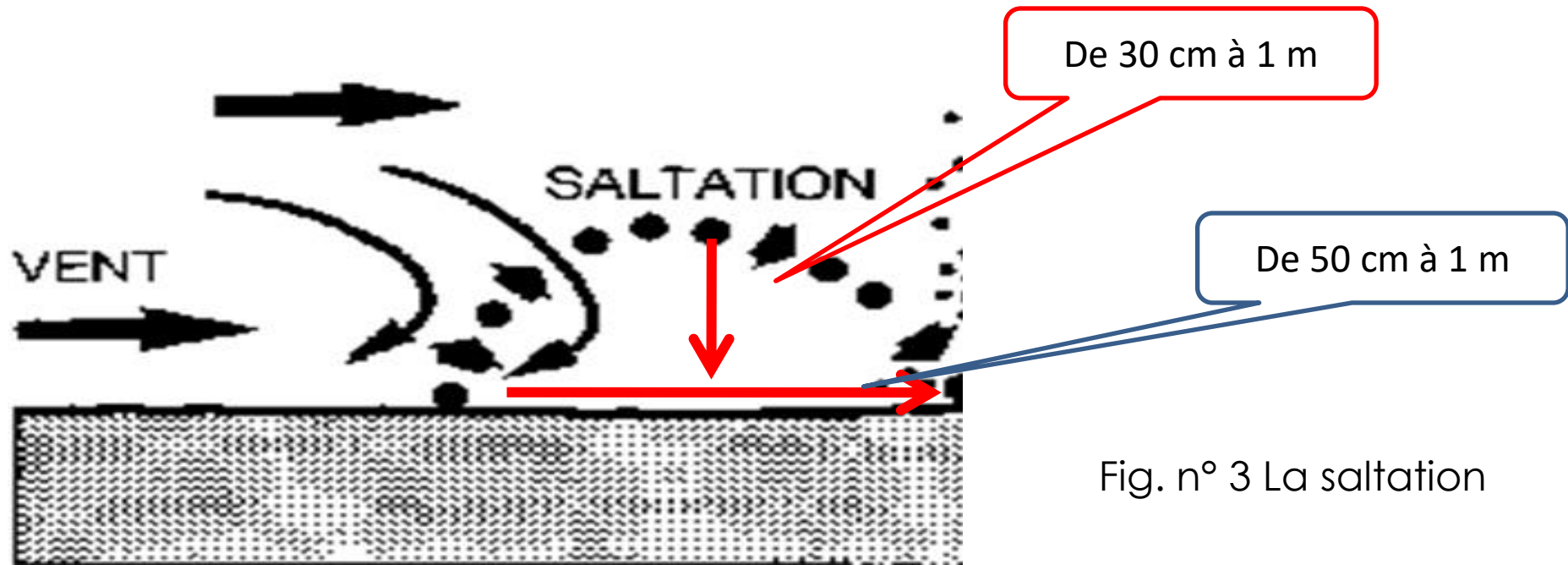


Fig. n° 3 La saltation

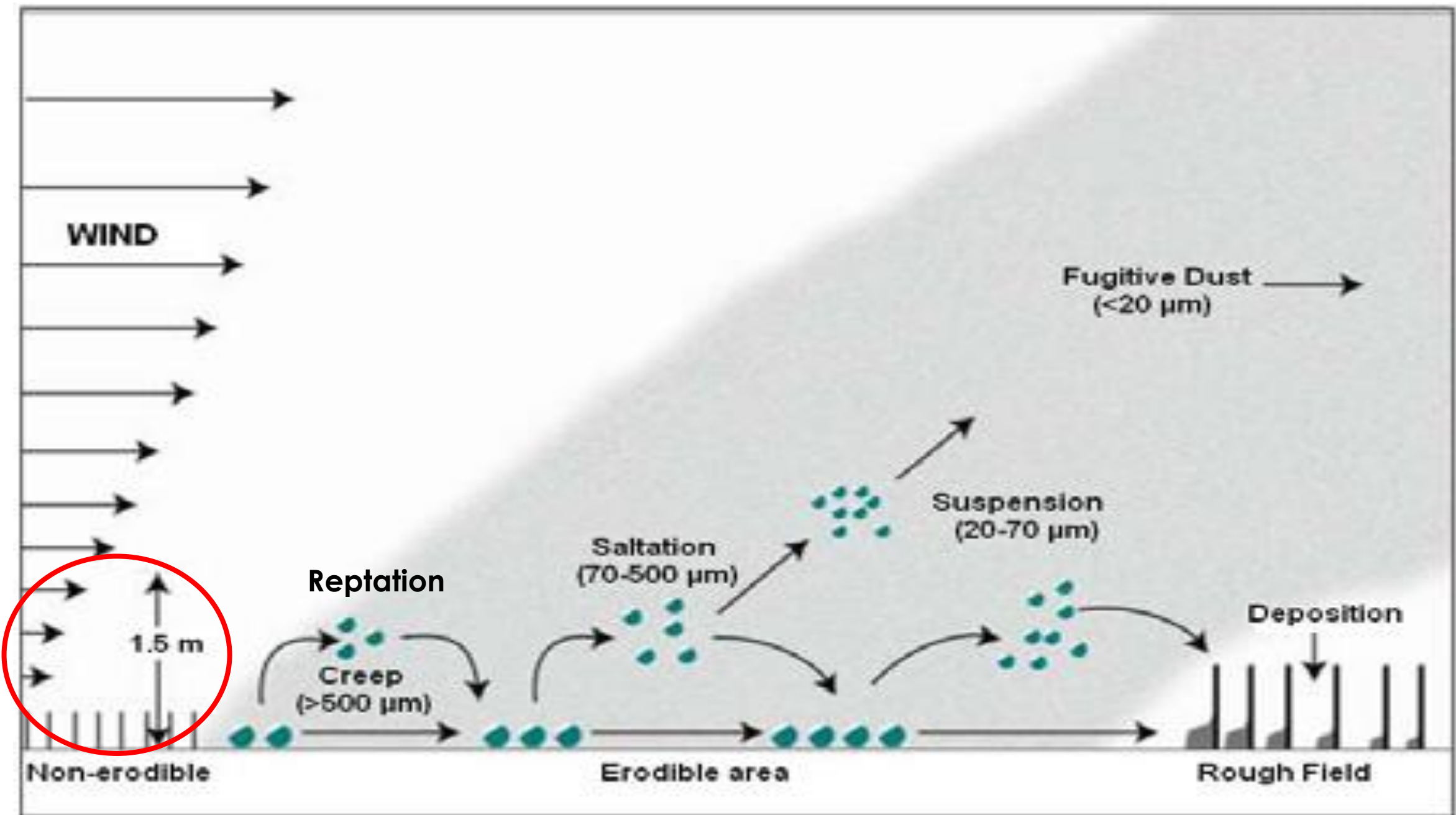


Fig. n° 4 les modes de transport de sable

2-3 / La suspension

Le sable peut être transporté par le vent sur de grande distance.

Ce transport à grande distance porte exclusivement sur des particules dont le diamètre est inférieur à 0,05 mm. D'une façon générale les fines poussières ne peuvent être emportées que si elles ont été projetées dans l'air par l'impact des grains plus gros. Une fois parvenues dans la couche turbulente elles peuvent être soulevées à de grandes hauteurs par les courants d'air ascendants et former des nuages de poussière atteignant fréquemment des altitudes de 3 à 4.000 mètres.



<https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/7552/depot-eolien>

2-4 / Le dépôt

Lorsque le vent faiblit et perd sa vitesse d'entraînement du sable, celui-ci se dépose.

La forme des accumulations sableuses est très complexe, non seulement en raison de la structure du courant éolien, mais aussi de la nature de la surface du sol, de la topographie, de la végétation et de la dimension des grains de sable.



3 / Les effets du transport de sable

3 -1/ L'effet avalanche

il est la conséquence de la saltation. Les particules en retombant, provoquent le départ de particules fines. Des particules facilement transportables par le vent, la charge du vent en particules augmente sans cesse jusqu'à atteindre un maximum tel que la quantité perdue est égale à la quantité gagnée à chaque instant.

3-2 / Le triage

Le vent déplace les particules très fines et très légères beaucoup plus rapidement que les grosses. Plus les particules sont fines, plus leur vitesse est grande et plus la distance qu'elles parcourent et les hauteurs qu'elles atteignent sont importantes. Le vent sépare ainsi les différents éléments du sol en catégories suivant leurs dimensions: mottes non érodables, gravier, sable, argile et loess. Il emporte ainsi les éléments fins et ne laisse sur place que les éléments grossiers.



Le triage

3-3/ La corrosion

La corrosion est l'attaque mécanique de la surface sur laquelle souffle un vent chargé de particules.

Dans un matériau cohérent et homogène la corrosion se traduit par /

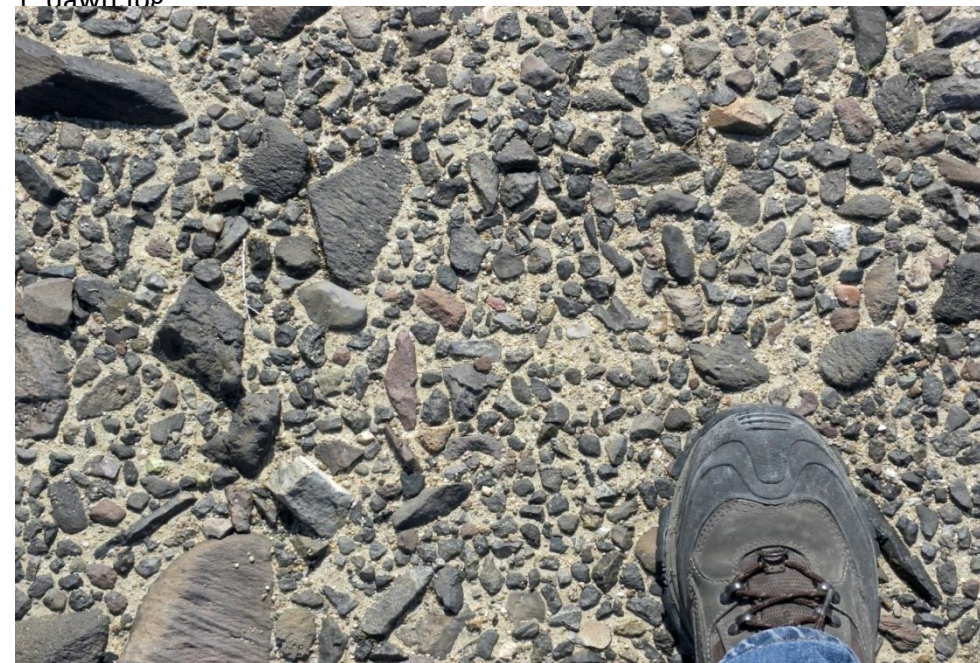
1/Des **stries** parallèles ou
par un remarquable **poli**.





2/ Les vents de sable associés aux effets des amplitudes thermiques donnent aux buttes résiduelles découpées dans des couvertures gréseuses, des formes de champignons.

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ad/Arbol_de_Piedra_at_dawn.jpg



3/ Le polissage affecte les affleurements comme les cailloux des regs, plus ou moins alvéolés ou façonnés en facettes.

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/90/DesertPavementMojave2010.JPG>

4/ La corrosion délimite des buttes allongées aux profils longitudinaux aérodynamiques, hautes parfois de plusieurs mètres appelées "yardangs". Il s'agit de formes façonnées sur des roches par le vent transportant des grains de sable. Les yardangs sont séparés par des **couloirs de déflation**, généralement précédés d'une petite cuvette de déflation et souvent suivis d'une **traînée sableuse**. Leur base est rongée comme celle des champignons gréseux.



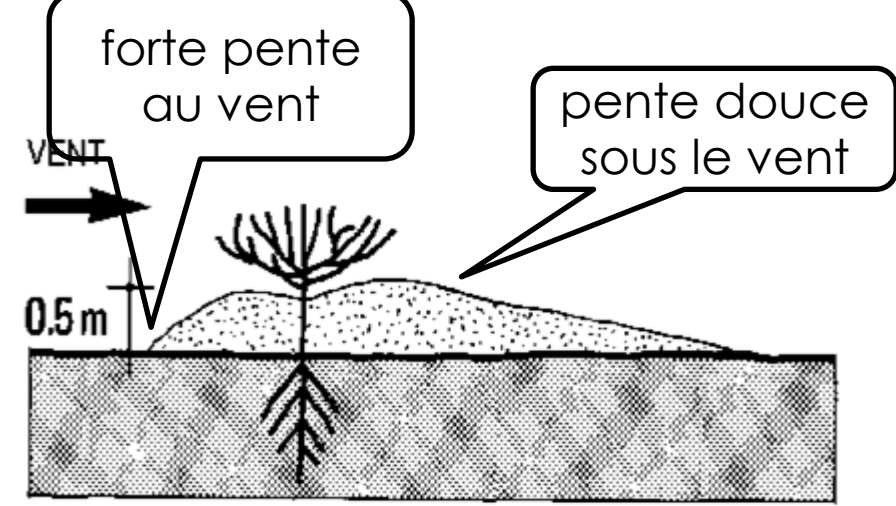
Image satellite Google Earth de 2010 ; L = 1 200 m

4 / Les formes d'accumulation ou dépôt:

4-1 / Nebka

C'est un dépôt sableux provoqué par un obstacle (végétal, rocheux...) sur la trajectoire des particules sableuses en mouvement.

On distingue deux types de nebkas: nebka à flèche de sable et nebka buissonnante (figure). Une nebka présente une pente douce sous le vent et une forte pente au vent. Vue en plan, leur forme est ovoïde avec la pointe la plus fine sous le vent. La dimension d'une nebka est de quelques décimètres de hauteur et de 1 à 4 m de long. Une nebka s'édifie rapidement en quelques jours de vent fort de direction constante. Elles peuvent se détruire aussi rapidement, certaines sont de formes fugitives caractéristiques du dernier vent de sable. Elle indique une mobilité du sable à l'échelle locale.



Nebka à flèche de sable



Photo n° Nebkha



4-2 / Une barchane est une dune de la forme d'un croissant allongé dans le sens du vent. Elle naît là où l'apport de sable est faible et sous des vents unidirectionnels. Leur crête sépare le dos de la dune, incliné de 5 à 20° et le front nettement plus raide (32 à 35°) qui se prolonge par deux cornes dans la direction du vent.

4-2 / Dunes linéaires ou sif

Une dune linéaire ou sif du mot arabe saff (sable) est un édifice allongé, étroit, de forme étirée sur toute sa longueur. Il possède deux côtés à pentes fortes qui se rejoignent en une crête active. Sa longueur est toujours plusieurs fois plus grande que sa largeur. En moyenne les sifs ont de 2 à 3 kms de long et 30 à 150 mètres de large. Quelquefois ils peuvent être discontinus et assemblés en rides pouvant atteindre 30 à 40 kms de longueur.



Photo n° DUNE LINEAIRE

Les dunes linéaires se produisent sous l'effet de deux vents dominants de direction différente, ou par un seul vent dominant dont les filets d'air ont été divisés par des irrégularités topographiques.

La direction de ces dunes est oblique par rapport au vent annuel.

Le mouvement d'une dune linéaire se fait par allongement.

Le vent chargé de sable en rencontrant une dune linéaire dépose une partie du sable sur la face de la dune au vent, l'autre partie franchit la crête jusqu'à la face sous le vent

Le sable accroché à la dune migre comme le long d'un rail parallèlement à l'édifice qui s'allonge selon sa propre direction.

4-3 / Les dunes en pyramide

Ce sont des collines de sable souvent en forme de pyramide étoilée avec trois ou plusieurs bras s'étalant à partir du sommet. Pouvant atteindre 300 mètres de hauteur, ces dunes signifient l'absence de vents dominants. Elles naissent à la convergence de plusieurs flux éoliens et sont pratiquement immobiles. Elles constituent une source et peuvent donner naissance à des barkhanes ou à des dunes linéaires.

Photo n° départ de sable sur une dunes en pyramide



Photo n° dunes en pyramide



<http://www.zarzora.com/hol01.php?eid=3>

Mervet Azmi©

4-4 / Aklé

Dense assemblage de dunes qui se tassent et tendent à grimper l'une sur le dos de la précédente (figure 8).



Photo n° Dune Aklé

<https://www.posterlounge.co.uk/aerial-view-of-the-dunes-of-the-namib-desert-namibia-africa-pr568950.html>

4-5 / Dune parabolique

C'est une dune dissymétrique en forme de fer à cheval à concavité au vent souvent, plus ou moins fixée par la végétation (Photo 2).

Sa disposition par rapport à la direction du vent est inverse de celle de la barkhane.

La dune parabolique est peu mobile et généralement ne migre guère une fois qu'elle est formée.



Photo n° Dune parabolique

<http://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/desert/>

5/ Méthodes estimation de l'érosion éolienne

5-1/ Méthode de piquets repères

Il s'agit de planter un réseau de piquets en fer gradués sur une parcelle, identifiée au préalable selon un protocole expérimental. Des mesures périodiques servent à quantifier les apports/pertes en sol (ensablement/érosion) soit en hauteur ou en masse poids kg ces mesures sont faites sur la base des fluctuations du niveau du sol à partir d'un état initial pris comme origine.

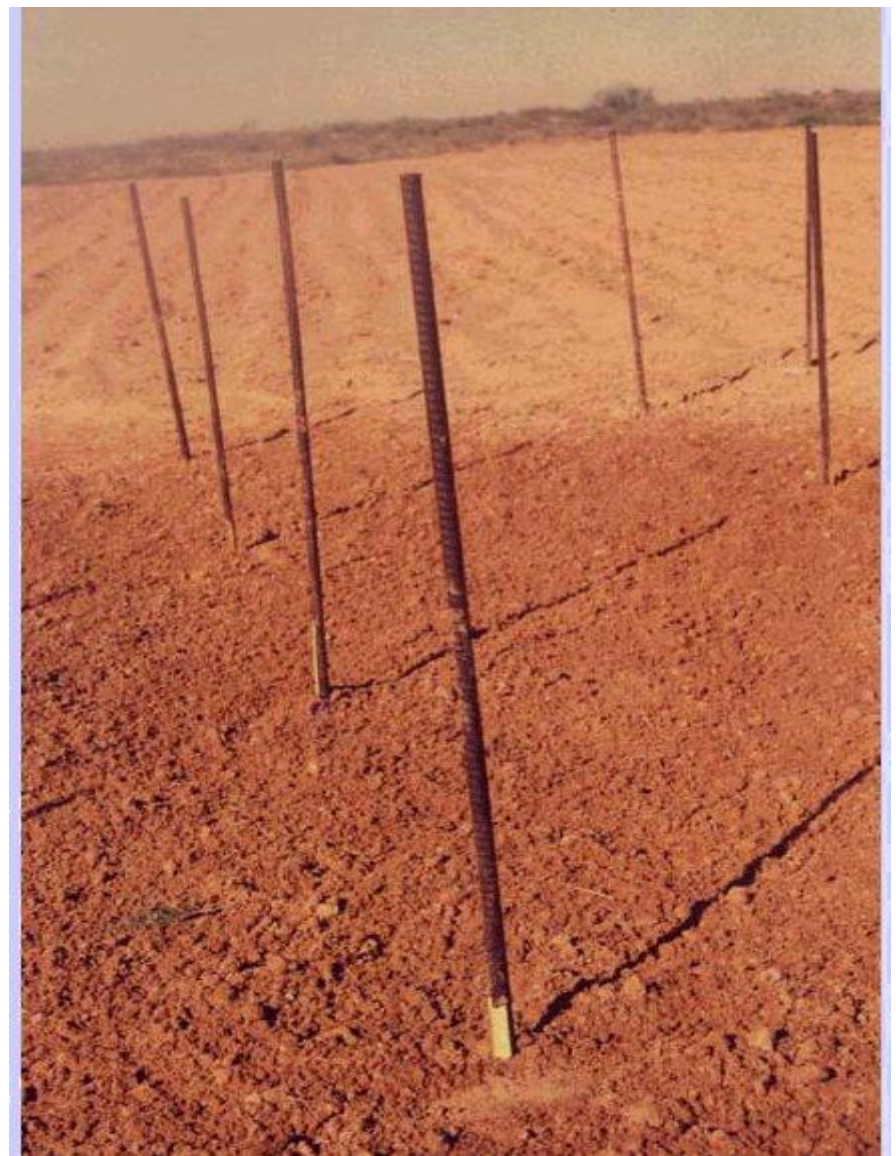


Fig. n° de piquets repères

5-2/ Méthode de pièges à sable

Il s'agit de pièges à sable disposés à différentes hauteurs au dessus du sol.



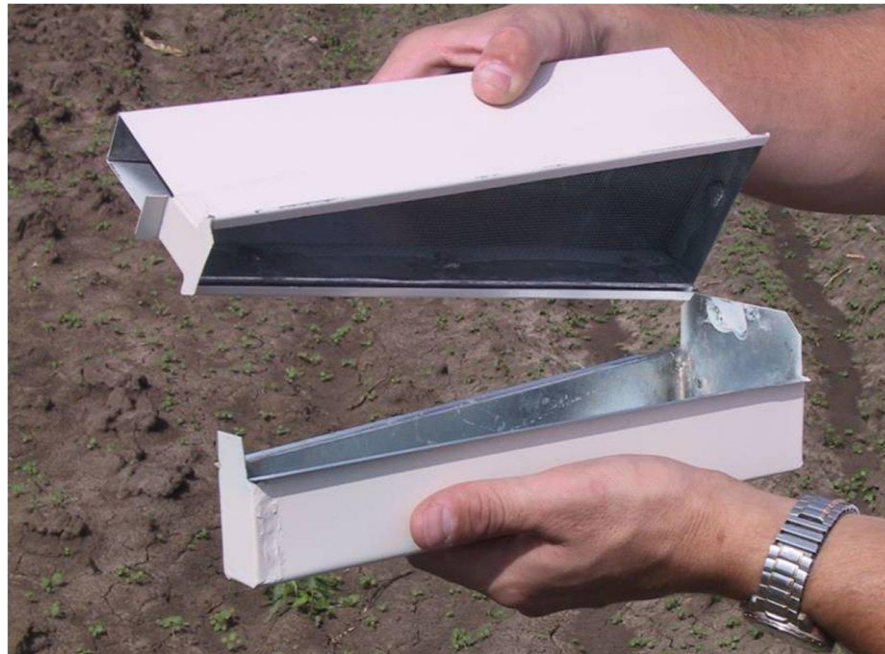
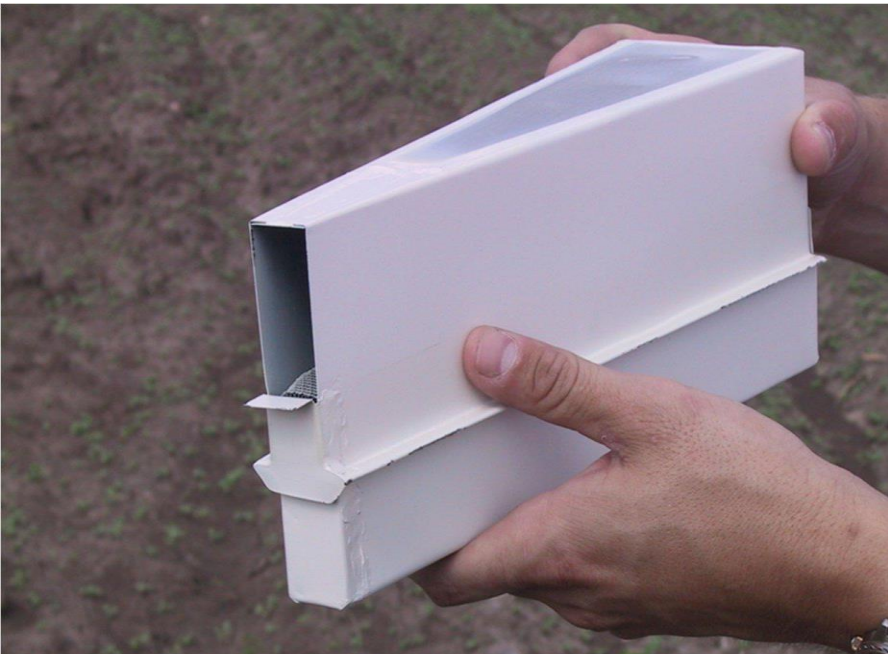
Fig. n° pièges à sable mobile de type BSNE (Big Spring Number Eight; Fryrear, 1986). C'est un instrument pour mesurer les flux de saltation. Le BSNE sont utilisé dans une configuration à plusieurs étages, les ouvertures s'orientent face



pièges à sable



Fig. n° collecteurs mobiles de sables



5-3/ Mesures indirectes : La modélisation

L'évaluation de l'érosion éolienne peut se faire indirectement par l'utilisation de l'équation universelle de l'érosion éolienne (Wind erosion model).

$$E = f(I, K, C, L, V)$$

E perte potentielle du sol exprimée en T /ha/an

I: érodabilité du sol qui est fonction de la texture de la structure

K: indice de rugosité du terrain

C: facteur climatique qui est fonction du vent et de la température

L: distance couverte par le vent sur le champ dénudé

V: couverture végétale équivalente.

les travaux de Fryrear (1985) montrent qu'avec un recouvrement de 20% de la surface du sol à l'aide des résidus de culture (l'équivalent de 600 kg/ha de tiges de maïs), une réduction de 57% des pertes du sol. De plus, il est également à signaler que les résidus sur pied sont plus efficaces que les résidus étendus sur la surface du sol.

5-4/ Méthode commune:

$$E = K \times P$$

E érosion éolienne

K: Facteur de climat qui dépend de:

1/ vitesse du vent (énergie cinétique),

2/ force d'entraînement du vent et

3/ effet du vent sur le dessèchement du sol (degré d'humidité)

P: Facteur de résistance du sol.

5-5/ Méthodes complexes:

-modèle de chepil et woordruff (1954) avec la formule suivante:

$$W = 491,3 \times I / (R \times K)^{0,835} \text{ avec}$$

W: érosion éolienne (T/acre)

I: Facteur d'agrégation du sol (teneur en particules > 0,84 mm)

R: facteur des résidus des cultures

K: facteur de rugosité de la surface du sol.

5-6/ Le modèle de chepil (1959) avec l'équation suivante:

$E = I \times R \times K \times F \times B \times W \times D$ avec : **E**: érosion éolienne

I: facteur d'agrégation du sol (teneur en particules > 0,84 mm)

R: facteur des résidus de culture

K: facteur de rugosité

F: facteur d'arabilité du sol

B: facteur des brises vents

W: facteur de l'étendue de terrain

D: facteur de direction du vent.

6/Conséquences de l'érosion éolienne

- l'une des conséquences les plus fâcheuse est le tri car elle élimine constamment les particules plus fines. ce processus risque de diminuer la productivité du sol, les sols soumis à cette à action se transformeront ultérieurement en dunes instables.
- Les formes les plus spectaculaires l'ensevelissement des oasis et des cités.
- La dégradation des croûtes de sédimentation à la surface des sols dénudés ou encore la désagrégation des roches, à leur base, au niveau de leur contact avec le sol (abrasion).
- Les nappes de sable à faible altitude (30 à 50 m) peuvent dégrader les végétaux (en particulier les jeunes semis).
- Dessèchement du milieu et perte de la capacité du stockage des nutriments et de l'eau dans le sol.
- Pertes du sol et éléments nutritifs.

- Asphyxie des semis.
- Problème de pollinisation/pulvérisation (vents trop violents).
- Lacération du feuillage
- Susceptibilité accrue aux maladies
- Diminution de la qualité.
- Baisse possible de rendement

Charles L. Bielders, Jean-Louis Rajot, Karlheinz Michels L'érosion éolienne dans le Sahel nigérien : influence des pratiques culturelles actuelles et méthodes de lutte. *Sécheresse* 2004 ; 15 (1) : 1–14

H. Rostad et G. Padbury Risque d'érosion éolienne *Méthodologie*

Skidmore, E.L. 1994. Wind Erosion. pp 265-293 in *Soil Erosion, Research Methods*, 2nd edition, edited by Rattan Lal.

Woodruff, N.P. and Siddoway, F.H. 1965. A wind erosion equation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28(5):602-608.

Ters Mireille. Méthodes et techniques modernes en géomorphologie. In: *L'information géographique*, volume 24, n°4, 1960. pp. 156-165; doi : <https://doi.org/10.3406/ingeo.1960.2005> https://www.persee.fr/doc/ingeo_0020-0093_1960_num_24_4_2005

Merci