

Géomorphologie

GEOMORPHOLOGIE

gê : terre

morphê : forme

logos : discours, étude

GEOMORPHOLOGIE

Chap I. Géomorphologie structurale

Nature /lithologie

Disposition /stratigraphie

Déformation des roches /tectonique

Structures tabulaires

Structures plissées

Structures faillées

Structures cristallines

Géomorphologie dynamique

Érosion, altération, ablation

Transport

Dépôt

lithologie ou pétrologie

La lithologie (lithos =pierre) ou pétrologie (Petra= roche) , comme leurs noms l'indique c'est l'étude des roches.

Les pétrographes classent les roches dans trois familles selon leur origine :

les roches magmatiques ou endogènes;

les roches sédimentaires ou exogènes;

les roches métamorphiques.

Roches magmatiques ou endogènes

Roches magmatiques plutoniques

Refroidissement lent du magma en profondeur

Granite

Roches magmatiques volcaniques

Refroidissement très rapide du liquide magmatique au contact de l'air ou de l'eau

Basalte.

Roches sédimentaires

Elles proviennent de l'accumulation de sédiment qui se déposent en couches, appelées strates.

Calcaire, grès, argile

Roches métamorphiques

Roches formées par la recristallisation (et généralement la déformation) de roches sédimentaires ou de roches magmatiques sous l'action de la température et de la pression qui croissent avec la profondeur dans la croûte terrestre ou au contact d'autres roches.

Marbre, gneiss, schistes

Disposition /Stratigraphie

On appelle stratigraphie l'étude de la succession des strates ou couches sédimentaires. Elle permet avec la sédimentologie de reconstituer l'évolution des dépôts sédimentaires dans l'espace et dans le temps mais aussi la reconstitution de paysages du passé (paléogéographie).

Agent de dépôt : mer, eau courante, vent, glacier...

LES PRINCIPES FONDAMENTAUX DE LA STRATIGRAPHIE

Principe de l'actualisme : les mêmes causes ont les mêmes effets .

Principe de la superposition : les couches géologiques les plus basses sont les plus anciennes, si une couche a est sous une couche b, alors a est plus ancienne que b .

Principe de l'horizontalité : les couches se déposent horizontalement .

Principe de continuité : une couche a le même âge sur toute son étendue .

Principe de recoupement : lorsqu'une couche est recoupée par une faille ou un filon, alors cette couche est plus ancienne que la faille ou le filon.

Principe de l'inclusion : un objet inclus dans une couche est antérieur à cette couche.

EXCEPTIONS NOTABLES À CES PRINCIPES

Pour chacun de ces principes on peut trouver des exceptions. Ces exceptions dépendent du mode de sédimentation et de l'échelle à laquelle on les observe :

les nappes alluviales les plus récentes peuvent être déposées après l'encaissement de la vallée et être plus basses que les alluvions antérieures (néanmoins, les alluvions récentes ne sont pas recouvertes par les plus anciennes) ;

Lacunes/discordance

Une lacune est une discontinuité chronologique entre deux couches.

lacune d'érosion : l'érosion a enlevé des couches, puis la sédimentation a repris en laissant la lacune.

lacune de sédimentation : pendant la période correspondant à la durée de la lacune, la sédimentation s'est interrompue. Cela est peut être dû à une régression marine

▣ GEOMORPHOLOGIE DYNAMIQUE

▣ Notion d'érosion

▣ L'érosion linéaire

▣ L'érosion en masse (les mouvements de terrain)

▣ L'érosion éolienne

▣ L'érosion côtière

▣ L'érosion anthropique

▣ EROSION

▣ Définition

▣ Agent d'érosion

▣ Cycle de l'érosion

▣ L'altération ou météorisation

- ▣ Altération mécanique
- ▣ Altération physico-chimique
- ▣ Altération biologique
- ▣ DEFINITION
- ▣ Erosion vient de "ERODERE", verbe latin qui signifie "ronger".
- ▣ Processus naturel.

- ▣ Phénomène d'usure des roches.
- ▣ Les reliefs montagneux sont peu à peu remplacés par des surfaces plus ou moins planes, de faible altitude, appelées surface d'aplanissement.
- ▣ **Les processus d'érosion**
- ▣ Ravin
- ▣ Glissement de terrain
- ▣ Éboulement
- ▣ Sapement de berge
- ▣ **LES Processus d'accumulation**
- ▣ Terrasse
- ▣ Plaine
- ▣ Plage
- ▣ Dune
- ▣ Delta
- ▣ AGENTS PRINCIPAUX D'EROSION ET D'ACCUMULATION
- ▣ L'eau
- ▣ La glace
- ▣ Le vent
- ▣ La mer
- ▣ L'homme

▣ CYCLE DE L'EROSION

▣ **L'altération ou météorisation**

▣ **Le transport**

▣ **L'accumulation**

▣ L'ALTERATION OU METEORISATION

C'est des mécanismes conduisant à une modification des propriétés chimiques et/ou minéralogiques des roches, ayant comme conséquence leur destruction partielle ou totale.

Trois processus :

- ▣ altération mécanique,
- ▣ altération physico-chimique,
- ▣ altération biologique

▣ ALTERATION MECANIQUE

Fragmentation de la roche en éléments plus petits. On aura :

- ▣ La thermoclastie
- ▣ La cryoclastie ou gélifraction
- ▣ L'hydroclastie
- ▣ L'haloclastie

▣ LA THERMOCLASTIE

▣ Processus de désagrégation mécanique des roches sous l'effet des variations de température.

▣ Changements de températures provoquent la fissuration de la roche et l'apparition d'écailles de desquamation.

▣ La couleur de la roche est un paramètre important contrôlant l'ampleur des variations thermiques.

▣ La thermoclastie est un des nombreux processus de météorisation œuvrant à la surface de la Terre.

▣ LA CRYOCLASTIE OU GELIFRACTION

▣ Du grec ancien κρύος/kruos, « froid », et κλασις/klasis, « briser, rompre ».

- ▣ Processus provoqué par les cycles de gel et de dégel de l'eau.
- ▣ L'eau pénètre dans les fissures des roches quand elle gèle, son volume augmente de 1/10 et la fissure s'élargit, séparant les blocs.
- ▣ Les roches massives sont brisées suivant les réseaux de fissures, libérant des géli fractas.
- ▣ On les retrouve en régions froides et humides, essentiellement les zones périglaciaires
- ▣ L'HYDROCLASTIE
- ▣ Altération mécanique liée aux changements de la teneur en eau des matériaux rocheux.
- ▣ Infiltration de l'eau qui dans les fissures de la roche

Gonflement de certains minéraux capable d'absorber cette eau.

Argiles (gonflement de 60 % pour la montmorillonite, par exemple).

- ▣ L'HALOCLASTIE
- ▣ Du grec *halos*, sel
- ▣ Présence de sels dissous dans les eaux d'infiltration
- ▣ Météorisation par des cristallisations salines
- ▣ Croissance de cristaux (hydratation)-provoquent une désintégration granulaire.
- ▣ Régions arides ou littorales, efficace dans les roches poreuses.
- ▣ ALTERATION PHYSICO-CHIMIQUE

Transformation chimique, sous effet de l'air et de l'eau, des minéraux d'une roche. On obtient des produits meubles et des minéraux secondaires (de néo-formation), dits altérites.

- ▣ Oxydation
- ▣ Réduction
- ▣ Mécanisme d'échange de cations
- ▣ Dissolution
- ▣ ALTERATION BIOLOGIQUE

Rôle important dans la météorisation, du point de vue :

- ▣ mécanique : racines qui aboutit a des fissurations
- ▣ chimique : acides organiques, réactions et activité microbienne.
- ▣ LES STRUCTURES CRISTALLINES
- ▣ SOMMAIRE

Introduction

I - Les structures cristallines

A – La structure intrusive

B – La structure métamorphique ou cristallophyllienne

C – La structure effusive ou volcanique

II – Le relief des régions cristallines

III – Le relief en structure volcanique

- ▣ INTRODUCTION
- ▣ Les structures cristallines affleurent sur une part importante de la surface des continents.
- ▣ On classe les structures cristallines en trois catégories :
 - La structure intrusive d'origine interne.
 - La structure métamorphique ou cristallophyllienne.
 - La structure effusive ou volcanique.
- ▣ LA STRUCTURE INTRUSIVE

Elle est constituée de roches appelées « plutoniques », lentement consolidées en profondeur.

Les roches sont en général massives et plus rarement feuilletées. On aura une texture grenue et microgrenue

Présence de diaclases ou de fissures.

On aura des massifs et des filons.

- ▣ Les massifs à bords francs, c'est-à-dire des batholites essentiellement granitiques.
- ▣ Les filons : ce sont des annexes émises par les batholites principaux. Ils sont souvent constitués de granite.
- ▣ LA STRUCTURE MÉTAMORPHIQUE OU CRISTALLOPHYLLIENNE
- ▣ Les caractéristiques de cette structure sont intermédiaire entre celles précédemment décrites et celles des structures sédimentaires.
- ▣ L'enfoncement de ces dernières a pour conséquence un métamorphisme lié à des phénomènes thermiques (cuissons) et dynamiques (pressions).

Elle est parfois massive mais le plus souvent feuilletée.

Selon leur affleurement, on peut distinguer deux modes de gisement :

- ▣ Le métamorphisme local ou de contact : auréoles autour des batholites et des filons, au voisinage des coulées et émissions volcaniques.
- ▣ Le métamorphisme régional ou général : autour de vastes massifs granitique, on aura plus des auréoles à l'échelle kilométrique, mais de vastes ceintures ou zone couvrant tout une région.
- ▣ LA STRUCTURE EFFUSIVE OU VOLCANIQUE

Son caractère dominant est sa mise en place par effusion et projection.

- ▣ LE GISEMENT

On deux grands types de gisement :

- ▣ Les épanchements : on aura d'une part, les matériaux qui se répandent plus ou moins loin autour de la zone d'émission (coulées basaltiques), d'autre part, ces matériaux peuvent être projetés dans les airs et retombés tout alentour à la surface du sol (projection).

- ▣ Les interstratifications : la montée des matériaux volcaniques se trouve parfois arrêtés avant d'avoir atteint la surface du sol. Les roches encore fluides s'insinuent alors entre les plans de stratification des roches sédimentaires encaissantes.

▣ LA TEXTURE

Les roches volcaniques sont caractérisées par leur texture microlitique ou vitreuse résultant d'un refroidissement rapide.

▣ LES ÉDIFICES VOLCANIQUES

▣ Les matériaux

- ▣ Les laves :
 - Laves visqueuses : rhyolites, dacite et trachytes
 - Laves très fluides : basaltes

▣ Les projections :

- Cendres : inférieur à 4 mm,
- Lapilli : entre 4 mm et 5 à 10 cm
- Blocs : supérieur à 10 cm.

▣ Les types d'éruptions

- ▣ Hawaïen
- ▣ Strombolien
- ▣ Vulcanien
- ▣ Type péléen

▣ LE RELIEF DES RÉGIONS CRISTALLINES

- ▣ Une monotonie fréquente.
- ▣ Des vallées étroites à versants convexes.
- ▣ Une structure rigide et faillée.

▣ LE RELIEF EN STRUCTURE VOLCANIQUE

Les principaux types de formes sont :

- ▣ Des reliefs plus ou moins coniques sur l'emplacement des bouches d'émission,
- ▣ Des champs de scories qui recouvrent une surface d'étendue variable,
- ▣ Des coulées de laves qui constituent des plateaux.
- ▣ Les STRUCTURES faillées
- ▣ SOMMAIRE

I - La structure faillée : la cassure

A – Définition

B – Les éléments d'une faille

C – Les types de failles

▣ LA STRUCTURE FAILLEE : LA CASSURE

Définition:

- ▣ La faille est produite par la mauvaise transmission d'une poussée ou d'un effort tectonique dans un matériel rigide inapte à la déformation souple ou au plissement (série dite incompétente).
- ▣ C'est une rupture de la continuité de terrains primitivement situés au même niveau.
- ▣ Elle se traduit par un contact anormal entre des couches d'âge différent (couches sédimentaire) et par une dénivellation entre deux compartiments séparés par un miroir de faille.
- ▣ A ce mouvement vertical peut s'associer un déplacement latéral des blocs, que l'on nomme décrochement.
- ▣ **En d'autres termes** : une faille est un plan de rupture le long duquel les deux blocs rocheux issus de la fracture se déplacent l'un par rapport à l'autre. Ne pas confondre avec diaclase.
- ▣ Les failles ont des dimensions pouvant aller de quelques millimètres (échelle microscopique) jusqu'à des centaines de kilomètres (à l'échelle des plaques tectoniques)
- ▣ LES ÉLÉMENTS D'UNE FAILLE

Il existe toute une terminologie autour de la faille :

- ▣ Compartiments
- ▣ Lèvres
- ▣ Regard
- ▣ Plan de faille
- ▣ Rejet de faille
- ▣ Miroir de faille
- ▣ Toit
- ▣ Mur
- ▣ Compartiments : blocs rocheux séparés par une faille, l'un est « soulevé », l'autre « affaissé »
- ▣ Lèvres : Surfaces de contact engendrées par la cassure sur chacun des blocs séparés, donc se sont les bords des deux compartiments décalés
- ▣ Regard : côté vers lequel plonge la lèvre du compartiment soulevé
- ▣ Plan de faille : surface de glissement, verticale ou oblique, d'un compartiment par rapport à l'autre
- ▣ MIROIR DE FAILLE
- ▣ La zone rocheuse mise à jour lors du mouvement des blocs rocheux est appelée miroir de faille. C'est une section du plan de faille ayant subi par frottement un polissage mécanique ou affecté de stries, de rayures orientées dans le sens du déplacement.
- ▣ REJET DE FAILLE
- ▣ Rejet de faille : ampleur du déplacement relatif d'un compartiment par rapport à l'autre le long du plan de faille

Exemple d'un miroir de faille

Miroir de faille strié

Des éléments striateurs ont creusé des rainures dans la roche.

- ▣ TOIT ET MUR D'UNE FAILLE
- ▣ La partie située au-dessus du plan de faille est nommée le toit ; la partie située en dessous est nommée le mur.

▣ LES TYPES DE FAILLES

Suivant le type de mouvement relatif, on définit trois types de failles :

▣ Faille normale

▣ Faille inverse

▣ Décrochement

▣ FAILLE NORMALE

▣ Les failles normales sont dues à un mouvement d'extension (étirement) de la roche. Un des compartiments va s'abaisser par rapport à l'autre pour combler l'espace créé par l'extension.

▣ FAILLE INVERSE

▣ Les failles inverses sont dues à des mouvements de compression (rapprochement) des roches. Un des compartiments va se soulever par rapport à l'autre pour permettre la réduction de l'espace créé par la compression.

▣ DÉCROCHEMENT

▣ Les failles de décrochement sont dues à des mouvements de cisaillement de la roche. Le plan de rupture (plan de faille) reste vertical et les deux blocs issus de la fracture vont glisser l'un contre l'autre. Il n'y a pas de décalage vertical mais simplement un glissement latéral d'un bloc par rapport à l'autre.

▣ LE RELIEF EN STRUCTURE FAILLÉE

▣ **Le cas des failles sans abrupts**

▣ **Les escarpements de faille originels**

Les STRUCTURES plissées

SOMMAIRE

Introduction

I - Les structures plissées

A – Le pli

1 – Le pli harmonique

2 – Le pli dysharmonique

B – Le style de plissement

1. Style congruent

2. Style éjectif
3. Style déjectif
4. Style isoclinal
5. Style en éventail

II – Les reliefs en structures plissées

A – Les formes structurales élémentaires

- 1 – Les formes dégagées dans les anticlinaux
- 2 – Les formes dégagées dans les synclinaux
- 3 - Les formes en rapport avec le réseau hydrographique

INTRODUCTION

La structure plissée :

Déformations du matériel rocheux,

L'élément fondamental est le pli.

On retrouve ces structures plissées au niveau des :

Chaînes de montagne

Socles

Le relief de ces structures est en fonction de :

La diversité des conditions lithologique

La complexité des conditions tectoniques

L'action plus au moins poussée de l'érosion

LE PLI

Les éléments descriptifs d'un pli

1: élévation structurale

2 : plan axial

3: flanc du pli

4: charnière anticlinale

5 : charnière synclinale

6 : inclinaison du plan axial

TYPES DE PLI

LE PLI HARMONIQUE

Les caractères transversaux

Élévation structurale

Inclinaison du plan axial bissecteur

La pente des flancs

- Symétrique
- Dissymétrique

ÉLÉVATION STRUCTURALE

INCLINAISON DU PLAN AXIAL

Pli droit : plan axial vertical, affleurements symétriques et largeurs identiques

Pli déjeté : plan axial incliné de moins de 45°

Pli déversé : l'inclinaison du plan axial est égal ou supérieur à 45° (les affleurements sont alors dissymétriques et de largeurs différentes)

Pli couché : plan axial horizontal

PLIS SYMÉTRIQUES

Plis droit : flancs symétriques par rapport au plan axial

Pli coffré : flancs parallèles et verticaux, le sommet de l'anticlinal est plat

Pli normal : flancs convergent vers le sommet du pli

Pli en éventail : flancs convergent vers le bas (pendages dirigés vers le cœur de l'anticlinal)

PLIS DISSYMÉTRIQUES 1

Plis déjeté, pli déversé, pli couché : flancs dissymétriques par rapport au plan axial

Pli en genou : flancs sont dissymétriques, flanc horizontal dominant le flanc vertical

Plis déversé, pli couché : flancs dissymétriques par rapport au plan axial, inclinés dans la même direction. Le flanc supérieur est appelé flanc normal, le flanc inférieur est dit flanc inverse

Pli étiré : amincissement des couches du flanc inverse (Phénomène d'étirement)

PLIS DISSYMÉTRIQUES 2

Pli laminé : disparition des couches étirées du flanc inverse (phénomène de laminage)

Pli-faille : flanc inverse s'est faillé lors du plissement

Pli chevauchant : une rupture affecte le flanc inverse, le flanc normal vient le recouvrir plus au moins largement (phénomène de chevauchement)

Pli retourné : anticlinal très élevé structuralement, son sommet bascule dans un synclinal voisin

LE PLI DYSHARMONIQUE 1

Les plis diapir : entrainement et injection de couches plastiques (couches salines) à la faveur d'un plan de rupture affectant un pli

Extrusion : quand les efforts tectoniques fassent percer un noyau de roches rigides à travers une masse de terrains plastique

LE PLI DYSHARMONIQUE 2

Les charriages : lorsqu'un chevauchement a une grande amplitude, (jusqu'à des dizaines de Km), on l'appelle nappe de charriage. Cette dernière peut être aussi des vastes plis couchés dont l'axe a parcouru une grande distance.

Le vocabulaire des nappes de charriage:

Front de chevauchement

Klippes

Tête plongeante

Fenêtre et demi-fenêtre

Phénomène de biseautage

NAPPES DE CHARRIAGE

Le style de plissement

On a un plissement régulier où les cassures sont des accidents secondaires. Il peut être caractérisé par la :

Largeur des ondulations : style congruent, éjectif et déjectif

Symétrie ou dissymétrie des plis : style isoclinal et en éventail

STYLE DE PLISSEMENT CONGRUENT

STYLE DE PLISSEMENT ÉJECTIF

STYLE DE PLISSEMENT DÉJECTIF

STYLE DE PLISSEMENT ISOCLINAL

STYLE DE PLISSEMENT EN ÉVENTAIL

LES RELIEFS EN STRUCTURES PLISSÉES

Les formes structurales élémentaires

Les formes dégagées dans les anticlinaux

Les formes dégagées dans les synclinaux

Les formes en rapport avec le réseau hydrographique

LES FORMES DÉGAGÉES DANS LES ANTICLINAUX : LES MONTS

LES FORMES DÉGAGÉES DANS LES ANTICLINAUX : LES COMBES

LES FORMES DÉGAGÉES DANS LES ANTICLINAUX : LES CRÊTS

LES FORMES DÉGAGÉES DANS LES ANTICLINAUX : LES COMBES

LES FORMES DÉGAGÉES DANS LES SYNCLINAUX

LES FORMES EN RAPPORT AVEC LE RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE

Réseau hydrographique en structure plissée :

Adapté aux données tectoniques :

- Rivières synclinales
- Ruz ou rûs

Adapté aux données lithologiques

- Rivières anticlinales
- Torrents anaclinaux.

Inadapté aux données tectoniques

- Cluse

LES FORMES EN RAPPORT AVEC LE RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE: CLUSE

▣ Les STRUCTURES TABULAIRES

▣ SOMMAIRE

Introduction

I - Les structures tabulaires

A - Structure horizontale

B - Structure monoclinale

C - Les relations entre structure horizontale et monoclinale

II - Les formes de reliefs en structures tabulaires

A – définition et types d'abrupts d'érosion à corniche

1 – Définition

- ▣ Au point de vu topographique
- ▣ Au point de vu structural
- ▣ Au point de vu hydrographique

2 – Différents types d'abrupts d'érosion à corniche

- ▣ INTRODUCTION

Les structures tabulaires sont par définition :

- ▣ Sédimentaires, en générale;
- ▣ Alternées, le plus souvent, quant à la résistance des terrains : elles présentent une superposition de couches de dureté variable;
- ▣ Peu ou pas dérangées par les mouvements tectoniques.

- ▣ STRUCTURES TABULAIRES

- ▣ **Topographies planes**

- ▣ plaines

- ▣ plateaux

- ▣ **Formes verticales (talus)**

- ▣ Escarpement

- ▣ rebords de plateaux

- ▣ falaises

▣ FORMES DES STRUCTURES TABULAIRES

▣ **tectonique**

▣ Couches horizontales

▣ Couches inclinées

▣ **lithologique**

Différence de résistance des roches

Érosion différentielle

▣ STRUCTURE HORIZONTALE

▣ Absence de pendage pour les couches sédimentaire.

▣ Pendage faible inférieur à 1°

▣ STRUCTURE MONOCLINALE

▣ Inclinaison ou pendage des couches sédimentaire dans une seule direction.

▣ Pendage faible dans les bassins sédimentaires: 2 à 10 %

▣ Pendage fort au niveau du contact entre les bassins sédimentaires et les chaînes plissées

▣ Inclinaison peut être interrompue ou varié

▣ Les relations entre structure horizontale et monoclinale

On peut trouver les structures tabulaires dans les :

▣ bassins sédimentaire (la majorité),

▣ Massifs ancien de type sédimentaire (Tassili du Hoggar),

▣ Fosses océaniques comblés par des sédiments.

En générale, les deux structures sont associées, mais elles peuvent exister indépendamment l'une de l'autre.

▣ LES FORMES DE RELIEFS EN STRUCTURES TABULAIRES

Les formes de reliefs en structures tabulaires sont:

▣ Les surfaces planes

▣ Les vallées

▣ Les abrupts d'érosion à corniche

▣ DÉFINITION D'ABRUPTS D'ÉROSION À CORNICHE

Les abrupts d'érosion à corniche sont des talus modelés dans un type particuliers de structure. Il convient de les définir à triples point de vue:

- ▣ Au point de vu topographique
- ▣ Au point de vu structural
- ▣ Au point de vu hydrographique

Au point de vu topographique:

- ▣ Revers
- ▣ Front
- ▣ Dépression

Au point de vue structural

- ▣ Revers et Front : roches dures
- ▣ Dépression : roches tendres

Au point de vu hydrographique

- ▣ Les rivières cataclinales
- ▣ Les rivières orthoclinales
- ▣ Les rivières anaclinales

▣ DIFFÉRENTS TYPES D'ABRUPTS D'ÉROSION À CORNICHE

Le classement des abrupts d'érosion à corniche est en fonction de deux facteurs:

- ▣ la valeur et le sens du pendage
- ▣ la superposition des couches sédimentaires : structure concordante et structure discordante
- ▣ Les abrupts d'érosion à corniche

a, b : coteaux c : cuesta d : crêt e: barre

▣ TECTONIQUE

- ▣ Définition
- ▣ Structure interne de la terre
- ▣ Plaques tectonique

- ▣ Plaques principales
- ▣ Plaques secondaires
- ▣ Zones de divergence
- ▣ Zones de convergence
- ▣ Zone de décrochage
- ▣

TECTONIQUE/DÉFORMATION DES ROCHES

La **TECTONIQUE**, du grec *tektōn* signifiant « bâtisseur », « charpentier », est l'étude des structures géologiques d'échelle kilométrique et plus, telles les chaînes de montagnes ou les bassins sédimentaires, et des mécanismes qui en sont responsables. Cette discipline est directement rattachée à la tectonique des plaques.

- ▣ STRUCTURE INTERNE DE LA TERRE
- ▣ SCHEMA DES PLAQUES TECTONIQUES
- ▣ PLAQUES PRINCIPALES
 - ▣ Plaque africaine
 - ▣ Plaque antarctique
 - ▣ Plaque australienne (parfois intitulée indo-australienne ou australo-indienne)
 - ▣ Plaque eurasiennne
 - ▣ Plaque nord-américaine
 - ▣ Plaque pacifique
 - ▣ Plaque sud-américaine
- ▣ PLAQUES SECONDAIRES
 - ▣ Plaque arabe
 - ▣ Plaque caraïbe
 - ▣ Plaque de Cocos
 - ▣ Plaque Juan de Fuca
 - ▣ Plaque de Nazca
 - ▣ Plaque philippine

- ▣ Plaque Scotia

- ▣ LES DIFFÉRENTES ZONES DE CONTACT ENTRE LES PLAQUES TECTONIQUES

- ▣ Zones de divergence

- ▣ Zones de convergence

- ▣ Zones de décrochage

- ▣ ZONES DE DIVERGENCE

Les zones de divergence sont des zones où les plaques s'écartent, créant une dorsale qui peut être océanique (dorsale Atlantique) ou continentale (le rift d'Afrique orientale).

- ▣ ZONES DE CONVERGENCE

Les zones de convergence sont des zones où les plaques se rapprochent. On aura des :

- ▣ Zones de subduction

- ▣ Zones de collision continentale.

- ▣ ZONES DE SUBDUCTION I

Subduction intra-océanique : c'est la rencontre entre deux plaques océaniques. La plus ancienne et donc la plus froide et lourde va précipiter sous l'autre.

- ▣ ZONES DE SUBDUCTION II

Subduction de la lithosphère océanique sous la marge continentale : c'est la rencontre entre une plaque continentale et une plaque océanique. Cette dernière plus dense va se précipiter sous la plaque continentale (on parle alors de marge active).

- ▣ ZONES DE COLLISION CONTINENTALE

Rapprochement entre deux plaques continentales (même densité)

Collision continentale

Formation d'une chaîne de montagne.

- ▣ ZONES DE DÉCROCHAGE

- ▣ déplacement latéral d'une plaque contre une autre plaque.

- ▣ Généralement entre deux plaques continentales.

Faille (ex: la faille de San Andreas en Californie et la faille nord-anatolienne en Turquie)

Violent séisme

Chap II. L'érosion hydrique

Si de la terre est arrachée lors du ruissellement, on parle alors d'**érosion hydrique** des sols. L'érosion hydrique provoque un déplacement de sol de l'amont vers l'aval.

C'est l'une des principales dégradations des sols en France et en Europe (source site internet UE). On calcule la gravité de l'érosion des sols en tonnes de terre érodée par hectare et par an.

L'érosion hydrique des sols est un phénomène naturel dû aux précipitations. Toutefois, de nombreuses pratiques humaines, principalement agricoles, peuvent déclencher et/ou renforcer l'érosion hydrique des sols.

Il existe deux grands **types d'érosion**, liés à deux grands types de ruissellement :

- **L'érosion diffuse.** La lame d'eau qui ruisselle est de faible épaisseur avec une vitesse d'écoulement faible. Cette lame d'eau n'est pas capable d'arracher des particules de terre, seules les particules issues de la désagrégation due aux gouttes de pluie (effet splash) sont entraînées. C'est une érosion qui concerne de grandes surfaces [cf illustration].
- **L'érosion concentrée.** Si la vitesse du ruissellement est forte, des incisions se forment dans le sol. Les particules de sol sont arrachées par cette lame d'eau concentrée, et forment des rigoles, voire des ravines [cf illustration].

Les deux types d'érosion peuvent se rencontrer dans un même bassin versant [cf illustration].

Photographies : Différents types d'érosion



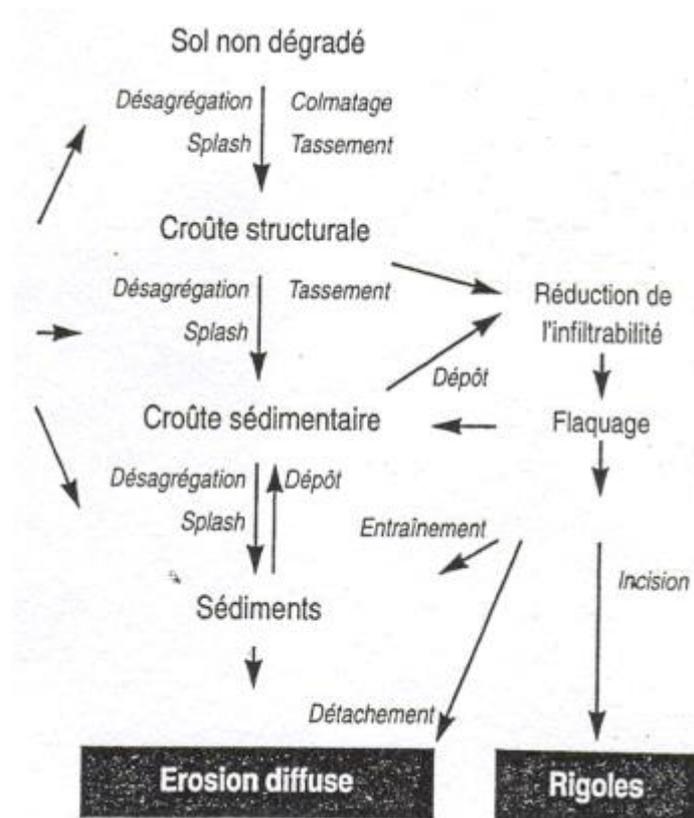


Schéma : Mécanisme de l'érosion

L'érosion du sol : causes et effets

Introduction

Quel que soit le relief du terrain, tous les sols sont naturellement soumis à l'érosion. En agriculture, l'érosion du sol renvoie à l'amincissement de la couche arable d'un champ sous l'effet des forces érosives naturelles de l'eau (figure 1) et du vent (figure 2), ou sous l'effet des activités agricoles comme le travail du sol.

Que la cause de l'érosion soit l'eau, le vent ou le travail du sol, dans tous les cas, le sol : se détache, se déplace, puis se dépose. La couche arable, qui est fertile, vivante et riche en matière organique, est emportée ailleurs sur le terrain – où elle s'accumule

avec le temps – ou hors du terrain, dans les réseaux de drainage. L'érosion du sol abaisse la productivité de la terre et contribue à la pollution des cours d'eau, des terres humides et des lacs adjacents.

Le phénomène peut être lent et passer relativement inaperçu. Il peut aussi se produire à un rythme alarmant et causer alors de lourdes pertes de terre arable. Le compactage du sol, l'appauvrissement du sol en matière organique, la dégradation de la structure du sol, un mauvais drainage interne, des problèmes de salinisation et d'acidification du sol sont d'autres causes de détérioration du sol qui en accélèrent l'érosion.

La présente fiche technique s'attarde aux causes et aux effets de l'érosion des terres agricoles par l'eau, le vent et le travail du sol.

Érosion hydrique

Compte tenu de l'ampleur du problème et de la gravité de ses répercussions sur le terrain et hors du terrain, l'érosion hydrique est au cœur des efforts de conservation des sols en Ontario.

La vitesse et l'ampleur de l'érosion causée par l'eau dépendent des facteurs suivants :

Intensité des précipitations et volumes de ruissellement

Plus grandes sont l'intensité et la durée d'une tempête de pluie, plus grand est le risque d'érosion. L'impact des gouttes de pluie sur la surface du sol peut briser les agrégats et disperser les particules de sol. Les particules les plus légères, dont les particules très fines de sable, de limon, d'argile et de matière organique, qui se détachent sous l'effet des éclaboussures d'eau de pluie sont facilement transportées par les eaux de ruissellement. Il faut que l'énergie transmise par les gouttes de pluie et l'écoulement soient plus importants pour emporter les particules plus grossières de sable et de gravier.

Le détachement du sol causé par la pluie (les éclaboussures d'eau) est habituellement plus grand et plus facilement observable lorsque le sol dénudé est exposé à des orages brefs et violents. Même si l'érosion provoquée par des averses de longue durée et de moindre intensité n'est habituellement pas aussi spectaculaire ni manifeste que celle qui est produite par les gros orages, elle peut néanmoins entraîner des pertes de sol considérables surtout lorsqu'elle s'aggrave à la longue ou que ces averses surviennent pendant que le couvert végétal protégeant le sol est restreint.

Sur les terrains en pente, l'eau commence à ruisseler à la surface du sol lorsque l'excédent d'eau ne peut plus s'infiltrer dans le sol ou que l'eau forme une mare à la surface. La probabilité de ruissellement augmente lorsque le taux d'infiltration diminue sous l'effet du gel, de l'encroûtement ou du compactage du sol. Sur les terres agricoles, le ruissellement le plus considérable est observé vers la fin de l'hiver et le début du printemps alors que, normalement, les sols sont saturés, la neige fond, et le couvert végétal et la croissance végétative sont minimaux.

Érodabilité du sol

L'érodabilité d'un sol est une estimation, fondée sur les caractéristiques physiques du sol, de la vulnérabilité de ce sol à l'érosion. L'érodabilité est surtout influencée par la texture du sol, mais elle l'est également par sa structure, sa teneur en matière organique et sa perméabilité. En général, les sols qui affichent une plus grande résistance à l'érosion sont ceux dans lesquels l'eau s'infiltré plus rapidement, ceux qui sont riches en matière organique et ceux dont la structure est améliorée. Les sables, les loams sableux et les sols loameux ont tendance à être moins vulnérables à l'érosion que les limons, les sables très fins et certains sols argileux.

Les pratiques aratoires et culturales qui appauvrissent le sol en matière organique, nuisent à la structure du sol ou provoquent le compactage du sol contribuent à accroître l'érodabilité. Par exemple, les couches de sol compactées sous la surface peuvent faire obstacle à l'infiltration de l'eau et favoriser le ruissellement. La formation d'une croûte de sol, qui a tendance à « sceller » la surface, nuit aussi à l'infiltration de l'eau. Si, à certains endroits, l'encroûtement peut réduire les pertes de sol causées par l'impact des gouttes de pluie et des éclaboussures d'eau, il entraîne quand même une augmentation correspondante du volume des eaux de ruissellement qui risque de provoquer des problèmes d'érosion plus graves encore.

L'érosion antérieure influe aussi sur l'érodabilité du sol. En effet, il arrive bien souvent que les couches de sol sous-jacentes à la couche arable qui se trouvent exposées ont tendance à être plus vulnérables à l'érosion que les couches de sol originales en raison de leur moins bonne structure et de leur faible teneur en matière organique. Elles sont aussi moins fertiles, ce qui se répercute sur le rendement des cultures. La couverture végétale de plantations étant alors généralement plus clairsemée, la protection du sol offerte par les cultures se trouve compromise.

Pente et longueur de pente

Plus la pente d'un champ est raide et longue, plus les risques d'érosion sont grands. L'érosion hydrique augmente aussi avec la longueur de la pente compte tenu de l'accumulation accrue de l'eau de ruissellement et de l'énergie associée à celle-ci. La fusion de petits champs pour en faire de plus grands a souvent pour conséquence d'allonger les pentes. Le débit de l'eau étant alors plus rapide, le transport des sédiments s'accroît, ce qui donne lieu à des risques accrus d'érosion et d'affouillement. Les systèmes de gestion des cultures faisant appel à des techniques de culture en courbes de niveau et de culture en bandes rompent les longues pentes et aident à réduire davantage l'érosion.

Cultures et végétation

Le risque d'érosion augmente si le sol n'est pas suffisamment protégé par le couvert végétal ou une couche de résidus de culture. Les résidus et la végétation protègent le sol de l'impact des gouttes de pluie et des éclaboussures d'eau. Ils ont aussi tendance à réduire la vitesse d'écoulement de l'eau, ce qui prolonge la durée d'infiltration de l'eau dans le sol.

L'efficacité de la végétation et des résidus à réduire l'érosion dépend du type, de l'étendue et de la densité du couvert végétal. La meilleure façon de combattre l'érosion est de miser à la fois sur un couvert végétal et sur des résidus de culture (par exemple, forêts et pâturages permanents) qui couvrent complètement le sol et qui interceptent les gouttes de pluie à la surface du sol et près de celle-ci. Les résidus partiellement incorporés et les vieilles racines ont aussi leur importance, parce qu'ils facilitent l'infiltration.

L'efficacité d'un couvert végétal à réduire l'érosion dépend aussi de la protection qu'il offre à différentes périodes de l'année en fonction de l'importance des précipitations érosives reçues au cours de ces périodes. Les cultures qui procurent un couvert végétal complet durant la majeure partie de l'année (par exemple, luzerne et cultures de couverture d'automne) permettent de bien mieux maîtriser l'érosion que les cultures qui laissent le sol nu pendant plus longtemps (par exemple, cultures en rangs), particulièrement pendant les périodes de précipitations très érosives, comme le printemps et l'été. Pour freiner l'érosion dans les cultures en rangs annuelles, il est recommandé de laisser des résidus couvrant plus de 30 % de la surface du sol ou d'implanter une culture de couverture (par exemple, du trèfle rouge dans un champ de blé ou de l'avoine à la suite de maïs à ensilage) durant les mois d'hiver.

Pratiques culturales

L'érosion hydrique est influencée par les techniques culturales, notamment par la profondeur de travail du sol, le sens dans lequel celui-ci se fait, le moment des labours, le type d'instruments aratoires et le nombre de passages. Généralement, moins le travail du sol perturbe la végétation ou la couche de résidus en surface ou près de la surface, moins le travail du sol engendre d'érosion hydrique. Le travail réduit du sol et le semis direct sont des moyens efficaces de limiter ce type d'érosion.

Au contraire, les pratiques aratoires réalisées dans le sens de la pente peuvent accélérer l'érosion hydrique en offrant des voies d'écoulement aux eaux de ruissellement.

Formes d'érosion hydrique

Érosion en nappe

L'érosion en nappe s'entend du déplacement des particules de sol provoqué par le choc des gouttes de pluie et les eaux de ruissellement. Elle se produit habituellement d'une manière égale sur un terrain en pente uniforme et passe inaperçue jusqu'à ce que la quasi-totalité de la couche arable productive soit enlevée. Le sol fertile détaché par l'érosion se retrouve au bas de la pente (figure 3) ou dans des terres basses. On reconnaît aussi ce type d'érosion à la couleur claire du sol sur les buttes, aux changements dans l'épaisseur des couches de sol et aux faibles rendements sur les épaulements et les buttes.

Érosion en rigoles

On assiste à l'érosion en rigoles quand les eaux de ruissellement se concentrent et forment des filets ou rigoles (figure 4). Ces dépressions bien définies, qui résultent de

l'enlèvement du sol par la force de l'eau qui coule, sont néanmoins suffisamment petites pour ne pas nuire au travail de la machinerie. Dans bien des cas, ces rigoles sont comblées chaque année par le travail du sol.

Ravinement

Le ravinement, ou érosion en ravins, est un stade avancé de l'érosion en rigoles. Le sol est alors si profondément entaillé que les dépressions qui se forment nuisent aux activités normales de travail du sol (figure 5). Sur certaines fermes de l'Ontario, le ravinement est responsable chaque année de la perte de grandes quantités de sol arable et de sous-sol. L'écoulement superficiel qui amène la formation de ravins ou l'élargissement de ravines est souvent le résultat d'une mauvaise conception des exutoires des réseaux de drainage de surface et souterrain. L'instabilité des talus des ravins, habituellement associée au suintement des eaux souterraines, provoque l'érosion puis l'effondrement des talus. De tels effondrements surviennent généralement au printemps lorsque les conditions d'humidité du sol sont supérieures.

Sans mesures correctives bien pensées et efficaces, la formation de ravins est difficile à prévenir. Les mesures de contrôle adoptées doivent prendre en considération la cause de l'augmentation du débit de l'eau sur le terrain et permettre de diriger l'écoulement vers un exutoire convenable. Le ravinement fait perdre des superficies considérables de terres productives, occasionne l'élimination d'une grande partie de la charge sédimentaire des terres cultivées et représente un danger pour les opérateurs de machinerie agricole.

Érosion des berges

Les cours d'eau naturels et les canaux de drainage servent d'exutoires aux eaux de ruissellement et aux effluents des réseaux de drainage souterrain. L'érosion fait son œuvre sur les berges au fur et à mesure du sapement, de l'affouillement et de l'effondrement de celles-ci (figure 6). Des aménagements déficients, le manque d'entretien, le libre accès du bétail et la trop grande proximité des superficies cultivées sont autant de facteurs en cause.

On peut aussi pointer du doigt la conception des sorties de drainage souterrain. Certaines ne remplissent pas convenablement leur rôle faute d'un tuyau de sortie rigide, ou parce qu'aucun bloc antiérosif n'a été installé ou parce que celui-ci ne convient pas, ou encore parce que les tuyaux de sortie ont été endommagés par l'érosion, la machinerie ou le sapement de la base de la berge.

Les conséquences directes de l'érosion des berges sont, entre autres : la perte de terre arable; le sapement de la base des ouvrages, comme les ponts; les exigences accrues de nettoyage et d'entretien des canaux de drainage; et le ravinement des voies de circulation et des superficies longeant les clôtures.

Effets de l'érosion hydrique

Sur le terrain

Les répercussions de l'érosion des sols vont au-delà de la perte de sol arable. La levée, la croissance et le rendement des cultures sont directement affectés par l'appauvrissement du sol en éléments nutritifs et en engrais. L'érosion peut déplacer ou carrément emporter les semences et les plants. Du fait de leur légèreté, la matière organique présente dans le sol, les résidus à la surface et le fumier épandu peuvent facilement être emportés hors du champ, particulièrement à la fonte des neiges, et entraîner avec eux des pesticides.

Les pertes de sol peuvent nuire à la qualité, à la structure, à la stabilité et à la texture du sol. Le morcellement des agrégats et l'enlèvement des particules plus fines ou de couches entières de sol ou de matière organique peuvent altérer l'intégrité de la structure du sol ce qui peut, à son tour, compromettre la capacité de rétention d'eau du sol et exposer davantage celui-ci à des conditions extrêmes telles que la sécheresse.

Hors du champ

Les répercussions de l'érosion hydrique ne sont pas toujours aussi apparentes hors du champ que sur les lieux mêmes où elle se produit. Le sol érodé, déposé au bas des pentes, empêche ou retarde la germination, enterre les jeunes pousses et oblige à ressemer les zones dégarnies. De plus, des sédiments peuvent s'accumuler hors du champ au bas des pentes et contribuer à la détérioration des routes.

Les sédiments qui atteignent des cours d'eau peuvent accélérer l'érosion des berges, ensabler les fossés de drainage et les cours d'eau, envaser les réservoirs, endommager l'habitat des poissons et dégrader la qualité de l'eau en aval. Les pesticides et engrais, souvent emportés avec les particules de sol, contaminent ou polluent les sources d'eau, les terres humides et les lacs en aval. En raison de la gravité de certaines des répercussions de l'érosion hors du champ, la pollution diffuse de source agricole est un point important à considérer.

Érosion liée au travail du sol

L'érosion liée au travail du sol vient de la redistribution du sol par la machinerie et la gravité (figure 8). Elle occasionne un déplacement progressif du sol vers le bas des pentes. Il s'ensuit des pertes de sol considérables dans le haut des pentes et des accumulations dans le bas des pentes. Cette forme d'érosion pave la voie à l'érosion hydrique. Les instruments aratoires déplacent le sol vers des zones de convergence du champ où les eaux de ruissellement se concentrent. De plus, le sous-sol ainsi exposé devient très vulnérable aux forces érosives de l'eau et du vent. L'érosion liée au travail du sol est la plus susceptible de provoquer des déplacements de sol dans un champ et, dans bien des cas, elle en est davantage la cause que l'eau ou le vent.

La vitesse et l'ampleur de l'érosion causée par le travail du sol dépendent des facteurs qui suivent.

Type d'instruments aratoires

Les instruments aratoires qui soulèvent et emportent le sol sont ceux qui déplacent le plus de sol. Par exemple, par rapport à une charrue à versoirs classique, une charrue chisel laisse beaucoup plus de résidus de culture à la surface du sol, mais elle peut déplacer autant de sol et peut même emporter celui-ci sur une plus grande distance. L'utilisation d'instruments aratoires qui déplacent peu le sol contribue à réduire au minimum l'érosion liée au travail du sol.

Sens du travail du sol

Les instruments aratoires, comme les charrues ou herse à disques, projettent le sol vers le haut ou vers le bas de la pente, selon le sens du travail du sol. D'ordinaire, le déplacement de sol est plus grand lorsque le travail du sol se fait vers le bas de la pente que lorsqu'il se fait vers le haut de la pente.

Vitesse d'avancement et profondeur de travail

La vitesse d'avancement et la profondeur de travail du sol ont une influence sur la quantité de sol déplacé. Un travail profond déplace davantage de sol et une vitesse d'avancement accrue pousse le sol plus loin.

Nombre de passages

La réduction du nombre de passages limite les déplacements de sol. En faisant moins de passages, on laisse aussi une couche de résidus plus épaisse à la surface du sol et on réduit la pulvérisation des agrégats, deux facteurs qui s'opposent aux érosions éolienne et hydrique.

Effets de l'érosion liée au travail du sol

L'érosion liée au travail du sol se répercute sur la croissance et le rendement des cultures. La croissance des cultures dans les zones du champ touchées par l'érosion liée au travail du sol, comme les épaulements et les buttes, est lente, et les plants sont rabougris en raison de la détérioration de la structure du sol et de la perte de matière organique. Ces cultures sont plus vulnérables aux différents facteurs de stress quand les conditions de culture sont défavorables. Des changements dans la structure et la texture du sol peuvent accroître l'érodabilité du sol et exposer encore davantage celui-ci aux forces érosives de l'eau et du vent.

Dans les cas extrêmes, l'érosion liée au travail du sol provoque même le déplacement du sol se situant dans les couches inférieures du sol. Le sous-sol déplacé du haut vers le bas d'une pente risque d'enterrer la couche arable productive dans le bas de la pente, ce qui nuit encore davantage à la croissance et au rendement des cultures. Des travaux de recherche ont révélé que l'érosion liée au travail du sol peut entraîner des

pertes de sol sur une profondeur allant jusqu'à 2 m dans le haut des pentes et des diminutions de rendement allant jusqu'à 40 % dans le maïs. Dans les cas extrêmes, les mesures d'atténuation des répercussions consistent à ramener le sol déplacé dans le haut des pentes.

Mesures de conservation

L'adoption de diverses mesures de conservation des sols permet de lutter contre l'érosion causée par l'eau, le vent et le travail du sol. À la ferme, les pratiques de travail du sol, les pratiques culturales et les pratiques de gestion des terres influent directement sur les problèmes d'érosion du sol et les solutions à ces problèmes. Quand la rotation des cultures ou la modification des pratiques de travail du sol ne suffisent pas à maîtriser l'érosion dans un champ, il faut parfois recourir à une combinaison de mesures ou à des mesures extrêmes. Il y a alors lieu d'envisager, par exemple, la culture en courbes de niveau, la culture en bandes ou l'aménagement de terrasses. Dans les cas vraiment graves où l'on est en présence d'écoulements superficiels concentrés, l'aménagement d'ouvrages fait partie de la solution. Il peut s'agir de voies d'eau gazonnées, de colonnes descendantes, d'ouvrages de rupture de pente, de déversoirs enrochés et de bassins de captage et de sédimentation.

Pour plus de détails sur ces pratiques de gestion optimales et plusieurs autres, consulter la publication Lutte contre l'érosion du sol à la ferme.

ChapIII. l'érosion éolienne

I - Les mécanismes de l'érosion éolienne

1. Les mécanismes de mouvement a l'échelle des particules

2. Les mécanismes a l'échelle des mouvements globaux

La localisation des formes dunaires dépend directement de la granulométrie des particules du sol. Le vent n'exerce son action que sur des matériaux de taille bien définie. Dans ce chapitre nous en étudierons les mécanismes.

1. Les mécanismes de mouvement a l'échelle des particules

Il existe trois modes différents d'entraînement des particules: la saltation, la reptation en surface et la suspension (figure 1).

- La saltation:

Le mouvement initial des particules du sol est une série de sauts. 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. Il est la cause de deux autres modes de transport des éléments du sol par le vent: la reptation en surface et la suspension dans l'air.

- 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.

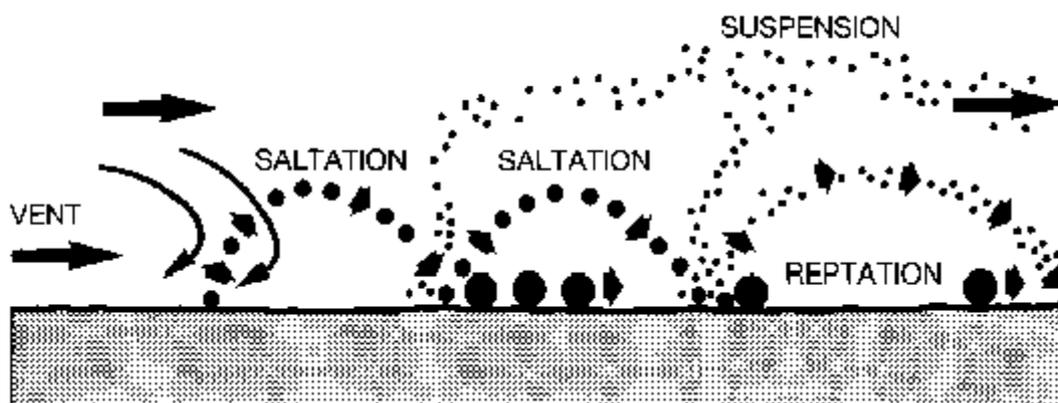
- La suspension

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. Même si leur aspect peut être impressionnant, le mécanisme essentiel de l'érosion éolienne demeure la saltation car sans elle de tels nuages ne pourraient se produire.

Fig. 1.a - Transport de particules

Fig. 1.b - Déflation: les grains de petites dimensions sont emportés par le vent

Fig. 1.c - Mode d'entraînement des particules



2. Les mécanismes a l'échelle des mouvements globaux

<u>2.1</u>	<u>L'effet</u>	<u>d'avalanche</u>
<u>2.2</u>	<u>Le</u>	<u>trriage</u>
<u>2.3 La corrasion</u>		

Les particules en mouvement sont le siège d'interactions dont il faut citer principalement:

2.1 L'effet d'avalanche

Ce phénomène est la conséquence de la saltation. Les particules qui ont sauté provoquent, en retombant, le départ d'une quantité plus importante de particules. Aussi, lorsque le vent progresse sur un sol dénudé, sa charge en particules augmente sans cesse jusqu'à atteindre un maximum tel que la quantité perdue est égale à la quantité gagnée à chaque instant.

La charge maximale du vent en particules est sensiblement la même pour tous les types de sols et elle est égale à celle que l'on rencontre sur les dunes de sable.

La distance nécessaire pour que cette saturation soit atteinte varie en raison inverse de la sensibilité d'un sol à l'érosion. Ainsi sur un sol très fragile elle peut se produire en une cinquantaine de mètres, et demander plus de 1000 mètres sur un sol de bonne cohésion.

2.2 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.

Une autre conséquence de ce triage est la stérilisation progressive du sol car la matière organique elle-même formée d'éléments fins et peu denses, est l'un des premiers éléments à être emporté.

2.3 La corrasion

La corrasion est l'attaque mécanique de la surface sur laquelle souffle un vent chargé de particules. C'est dans les régions arides, une cause aggravante de l'érosion des sols.

Dans un matériau cohérent et homogène la corrasion se traduit par des stries parallèles ou par un remarquable poli. Le polissage affecte les affleurements comme les cailloux des regs, plus ou moins alvéolés ou façonnés en facettes.

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

Dans les roches meubles et en particulier dans les terres agricoles (argile et limons), les vents creusent des sillons parallèles mettant à nu les racines des jeunes plantes. Lorsque ce phénomène est poussé plus loin, la corrasion délimite des buttes allongées aux profils longitudinaux aérodynamiques, hautes parfois de plusieurs mètres appelées "yardangs" (figure 2).

Chapitre VI - La fixation primaire: La technique du mulch

1. Définition

2. Procèdes utilises

1. Définition

La technique du mulch consiste à recouvrir le sable d'une couche protectrice aussi uniforme que possible pour supprimer l'action du vent au niveau du sol et empêcher le phénomène de saltation.

Tout produit susceptible de remplir cette fonction est susceptible d'être utilisé. C'est dire la grande variété des solutions possibles.

2. Procèdes utilises

<u>2.1</u>		<u>Le</u>	<u>paillage</u>
<u>2.2</u>	<u>Les</u>	<u>pulvérisations</u>	<u>d'eau</u>
<u>2.3</u>	<u>Les</u>	<u>films</u>	<u>plastiques</u>
<u>2.4</u>	<u>Les</u>	<u>mèches</u>	<u>acryliques</u>

2.6 Les stabilisations chimiques

2.1 Le paillage

La confection de mulch à base de paille, d'herbes locales ou de résidus agricoles est souvent très efficace dans la stabilisation d'une surface mobile en attendant que la végétation puisse s'y établir. En outre, il introduit des matières organiques dans le sol et aide à retarder l'évaporation. Toutefois, ces matières sont plus légères que le sable et peuvent être facilement emportées par le vent. Il faut donc les compacter ou les ensevelir. On peut aussi les faire adhérer au sol au moyen de substances agglutinantes comme l'asphalte ou par un système de piquets et liens.

2.2 Les pulvérisations d'eau

L'eau est un bon fixateur du sable. En agrégeant entre eux les grains de sable, elle leur confère une cohésion qui leur permet de résister à l'érosion éolienne. De plus, le sable humide étant plus lourd que le sable sec, il ne peut être arraché au sol par le vent. Il faut cependant veiller à ce que la surface à protéger soit maintenue constamment humide par des pulvérisations régulières.

2.3 Les films plastiques

Outre leur capacité d'assurer une couverture totale de la zone où ils sont posés, les films plastiques offrent divers avantages:

- ils empêchent l'évaporation de l'eau du sol,
- ils maintiennent au niveau de celui-ci une atmosphère favorable à la croissance de la végétation,
- ils évitent l'encroustement de la couche superficielle qui reste meuble et aérée.

Les films plastiques peuvent être déroulés et fixés soit à la machine pour les grandes surfaces, soit, plus généralement, à la main. Ils doivent être tendus énergiquement et fixés solidement aux quatre coins, leurs bords étant écrasés dans des sillons préparés à l'avance pour empêcher que le vent ne les soulève.

2.4 Les mèches acryliques

Ce matériau se présente sous l'aspect d'une mèche blanche formée par l'assemblage de filaments continus très fins en matière plastique. On étale ces mèches sur des bandes de largeur variable et sur une profondeur de 200 mètres. La quantité nécessaire varie selon les marques de fabrication, mais on peut l'estimer en moyenne à 50 kg de mèche à l'hectare.

Ce système de fixation a l'avantage de s'adapter très bien à toutes sortes de dunes car le matériel en épouse parfaitement les contours. Des précautions doivent être constamment prises pour éviter des affouillements par le vent.

2.5 Les huiles minérales

a)			L'asphalte
b)	Les	huiles	lourdes
c)	Les huiles brutes		

Parmi ces produits trois types peuvent être utilisés pour stabiliser les sables mobiles: l'asphalte, les huiles lourdes et les huiles brutes.

a) L'asphalte

Épandu par pulvérisation il forme une mince pellicule protectrice, mais fragile, non salissante, qui n'adhère pas au sol et n'y pénètre pas.

Cette pellicule est facilement endommageable par le passage d'engins et d'êtres vivants. Une surveillance constante est à exercer sur les zones traitées, et des pulvérisations de colmatage doivent être pratiquées là où des dégâts apparaissent. Faute de quoi la pellicule risquerait d'être rapidement détruite sous l'effet de la déflation qui provoquerait sa fragmentation. Un épandage répété est habituellement nécessaire pour en accroître l'épaisseur et réduire ce risque.

b) Les huiles lourdes

Il s'agit des huiles de graissage permettant d'obtenir une stabilisation durable et bon marché des dunes. Contrairement à l'asphalte elles pénètrent dans le sable à une profondeur de 5 à 10 cm pour former une couche visqueuse et salissante. Lorsque des dommages s'y produisent ils se résorbent d'eux-mêmes en grande partie. Le déchaussement de la couche peut intervenir mais sur des pentes fortes seulement.

c) Les huiles brutes

Ces huiles provenant de la distillation fractionnée du pétrole sont probablement le produit qui a été le plus largement utilisé pour la stabilisation des dunes. Chauffées à 50° et pulvérisées en bandes de 20 m de large à raison de 4 m³ par hectare, elles forment une croûte protectrice de 0,5 cm.

La faible épaisseur de celle-ci et la non-imprégnation du sable font que la stabilisation des aires traitées n'est pas définitivement acquise. Toutefois sa durabilité de trois années est suffisante pour qu'une couverture végétale implantée puisse prendre le relais.

2.6 Les stabilisations chimiques

Plusieurs produits chimiques sont disponibles sur le marché. Non phyto-toxiques ils peuvent être employés à la stabilisation de la surface de sols instables, mais pour de courtes périodes jusqu'à ce qu'une végétation ait été ou se soit installée.

Le temps qu'ils mettent à se désintégrer dépend de la structure du sol, de la pente, des techniques de pulvérisation et de la concentration du produit répandu. Dilués dans l'eau, ils sont épanchés par pulvérisation. Ils n'imprègnent que les premiers millimètres du sable traité et forment une pellicule protectrice très mince et très fragile. Après que l'eau de dilution se soit évaporée, le produit lie entre eux les grains de sable qui acquièrent ainsi une cohésion suffisante pour résister au vent érosif. Diminuant en outre l'évaporation du sol, ils favorisent la germination de semences et la croissance des plantes.

La plupart des stabilisants chimiques ont été mis en oeuvre dans des zones de latitude moyenne, pour la stabilisation des pentes de talus des bords de routes, ou pour la fixation de dunes côtières avec la végétation.

II - Les possibilités d'installation d'une végétation arborée

- 1. Objectifs de la fixation biologique**
 - 2. Le milieu dunaire et son aptitude à la plantation**
 - 3. Conséquences**
-

1. Objectifs de la fixation biologique

Après que les dunes aient été fixées mécaniquement par l'un des procédés précédemment décrits, il devient possible de les fixer de façon définitive. Cette opération ne peut être réalisée que par l'installation d'une végétation arborée pérenne. Celle-ci ne risque plus, en effet, d'être détruite par des déplacements de sable qui auraient pu déchausser les racines des plants ou détériorer leur partie aérienne par l'effet abrasif du sable.

Il peut devenir possible, par la suite, de faire participer les dunes ainsi recouvertes, à la satisfaction de certains besoins limités des populations rurales.

2. Le milieu dunaire et son aptitude à la plantation

Le potentiel de croissance d'une végétation arborée sur les dunes dépend des facteurs suivants:

- La fertilité du sable: avec une teneur en argile supérieure à 1%, l'apport fertilisant semble être le facteur limitant de la croissance, alors que les sables éoliens à plus de 2% d'argile offrent un milieu de croissance favorable. Habituellement, le sable des dunes maritimes est plus grossier que celui des dunes continentales. Dans les dunes stabilisées, la teneur en argile augmente d'habitude avec la profondeur, en raison du processus d'alluvionnement.
- La fertilité du sol sous-jacent: par définition, les dunes recouvrent un autre sol qui apparaît dans les zones interdunaires. Quand les dunes ne sont pas trop élevées, la nature du substrat joue un rôle important dans la croissance des arbres. S'il est constitué d'une couche dure calcaire, comme dans beaucoup de pays arides, la croissance des racines est en grande partie confinée dans la dune et il faut une certaine

épaisseur de sable par-dessus cette couche dure. Tandis que si la dune recouvre un sol arable fertile, elle peut alors offrir l'un des terrains de boisement les plus favorables, pourvu que la couche de sable ne soit pas trop épaisse. La capacité élevée d'infiltration et l'effet autopaillant du manteau sablonneux améliorent le bilan hydrique du substrat fertile. De plus, un sol interdunaire salé peut être lessivé quand il est recouvert d'un dépôt éolien.

- La profondeur des dépôts sableux éoliens: la croissance des arbres qui poussent sur une dune recouvrant un substrat médiocre s'améliore d'autant plus que le sable est plus profond. D'une manière générale, les possibilités d'exploiter les horizons profonds sont supérieures en zone aride où la température plus élevée du sol permet un approfondissement du système racinaire.

- Le niveau de la nappe aquifère: les zones dunaires étant souvent situées sur des plaines alluviales, le boisement se heurte assez fréquemment à une saturation du sol par l'eau. Cependant, si le dépôt de sable éolien fertile est d'une certaine épaisseur au-dessus du niveau le plus élevé de la nappe phréatique, ces emplacements peuvent être très fertiles. Mais, dans les deltas et sur les sols maritimes salés, la salinité risque d'avoir des effets nuisibles. Il est tout à fait possible que le boisement des dunes sur une grande échelle provoque un rabattement de l'aquifère là où les racines parviennent à atteindre la nappe. Dans ces cas-là, les pertes par transpiration peuvent être fortes. Mais jusqu'à présent, on ne possède pratiquement pas de données sur ce processus.

La figure illustre quelques unes des relations décrites ci-dessus.

- Les conditions thermiques: le pouvoir de réflexion élevé du sable ne provoque des conditions thermiques excessives dans la couche d'air qu'au contact de la surface du sable. Sur les pentes où la radiation solaire est la plus intense, la chaleur peut occasionner des dommages à la végétation. La nuit par contre, la température de l'air se refroidit brutalement ce qui peut provoquer des baisses de température dommageables dans les petites dépressions de la dune, en zone continentale tropicale notamment. Les conditions écologiques que l'on trouve sur les dunes maritimes sont moins excessives que celles des dunes continentales car l'air y est plus humide avec des températures plus modérées.

3. Conséquences

La dune constitue un milieu qui offre des conditions d'installation et de croissance difficiles à l'égard de toutes les espèces végétales. Toute plantation devra en tenir compte, d'abord par l'utilisation d'espèces qui s'adaptent aussi bien que possible à ce milieu particulier, ensuite en mettant à profit l'humidité relative des couches sous-jacentes par des techniques appropriées.

Chapitre IX - Les espèces ligneuses utilisables

<u>1.</u>	Les	caractères	<u>requis</u>
<u>2. Les espèces</u>			

1. Les caractères requis

On attend de ces espèces les caractères suivants:

- résistance à la sécheresse: l'espèce choisie doit avoir pour cela un système racinaire bien développé, capable de s'enfoncer verticalement dans le sol jusqu'aux couches humides profondes, de façon à compenser dans une certaine mesure l'effet négatif de la mauvaise rétention d'humidité;
- aptitude à se développer dans des sables généralement pauvres en éléments nutritifs, avec de grandes variations de température entre le jour et la nuit;
- adaptation à des vents violents et à leur action abrasive sur les feuilles et sur les tiges;
- régénération naturelle facile et aptitude à un développement ultérieur;
- amélioration du substratum en y apportant de l'azote ou de la matière organique.

Au niveau de la dune littorale en bordure de mer, seules des plantes herbacées résistant aux embruns salés seront susceptibles de se développer. Mais en arrière de celles-ci, des espèces ligneuses, arbustives ou buissonnantes pourront prospérer, même si les premiers rangs risquent de rester rabougris et déformés avec un feuillage desséché surtout lors des périodes de recrudescence du vent.

Vu les conditions extrêmement variées du milieu dunaire, le choix des espèces doit varier avec les niches écologiques. L'idéal consisterait à avoir une essence pour la zone interdunaire, d'autres essences pour la dune et même pour les différentes parties de celle-ci. L'exposition aussi (pente sud ou nord) peut avoir une influence considérable sur la survie et la croissance initiale dans certaines régions.

2. Les espèces

2.1 Les espèces utilisables sur les dunes

2.2 Les espèces utilisables dans les espaces inter-dunaires

Les espèces utilisables se classent en deux grands groupes qui correspondent aux deux types de milieu ci-dessus. Il en est un troisième cependant, qui convient aux deux à la fois; il est constitué par quelques espèces arborescentes du genre tamarix et prosopis qui, quoique peu nombreuses, présentent un intérêt exceptionnel dans les régions arides méditerranéennes et tropicales pour leur rusticité, et leur faculté de croissance.

2.1 Les espèces utilisables sur les dunes

Pour une fixation définitive de la dune on fait appel à des espèces qui tolèrent de très sévères conditions d'aridité. En Afrique du Nord, on compte au premier rang de ces essences les Calligonums, fabacées de l'étage bioclimatique saharien, qui s'adaptent

très bien aux sables profonds et mobiles. Trois espèces ont largement fait leurs preuves dans de tels milieux:

- Calligonum arich, arbuste pouvant atteindre 8 m de hauteur,
- Calligonum azel, arbuste au port arrondi de taille un peu plus petite,
- Calligonum comosum, buisson ne dépassant pas 2 m de hauteur.

D'autres espèces semblent intéressantes du fait de leur adaptation aux conditions d'aridité et d'instabilité du milieu dunaire. Toutefois, ces espèces, dont une liste nominative est donnée ci-après, devraient faire l'objet d'expérimentations préalables à la fois sur leur mode d'utilisation et leur faculté de produire des semences.

Aristida pungens: Graminée avec des tiges pouvant atteindre plus de 1,50 m. Cette espèce est une excellente fixatrice de dunes continentales, elle est peu appréciée par le bétail.

Hedysarum argentatum: Arbuste fourrager pouvant atteindre parfois 4 mètres de hauteur. Il se plaît dans les dunes vives; il a été introduit avec succès à Agadir. Sa multiplication est facile et ne diffère en rien de celle du Calligonum.

Lycium intricatum: C'est un arbuste ayant 1,50 à 2 m de hauteur. Ses racines peuvent avoir jusqu'à 20 mètres de longueur.

Nitraria retusa: C'est un arbuste épineux à feuilles épaisses qui atteint de 1 m à 1,50 m de hauteur. Son enracinement est puissant et pivotant.

Polygonum equisetiforme: C'est une plante de petite taille et à peine ligneuse dont l'enracinement est à la fois traçant et pivotant. Il est excellent pour fixer les sables des parties sèches de la dune.

Zygophyllum album: Petit arbuste très touffu à feuilles charnues, de 0,50 m de hauteur. Son enracinement est pivotant et très fort.

Retama retam: Arbuste ayant 1 m à 1,50 m de hauteur. Résistant au vent et à la sécheresse.

Genista saharae: Arbrisseau des bioclimats sahariens qui se plaît dans les dunes vives.

En Afrique, au Sud du Sahara, des espèces de plus en plus nombreuses, locales ou exotiques, sont essayées:

- Callotropis procera, bien que sans grande valeur quant au bois ou au fourrage, vient bien sur les sables; elle peut être considérée comme pionnière dans la recolonisation végétale des sables.
- De nombreux Acacia, notamment Acacia tortilis, sont utilisés quand la fixation physique est acquise ou sur les replats interdunaires.
- Caparis decidua est utilisée sur les dunes fixées mécaniquement, de même que Zizyphus mauritiaca.

- Balanites Aegyptiaca est une simaroubacée très résistante à la sécheresse et qui une fois bien installée, est très vivace; elle se multiplie par rejet et drageonnement.
- Les leptadenia sont des arbrisseaux et lianes qui, soit sont très résistants, se développent et se régénèrent bien sur le sable (Leptadenia pyrotechnica la plus septentrionale), soit sont rampants avec une capacité de couverture rapide du sol (Leptadenia hastata, Leptadenia lanceolalata, etc.).
- Parmi les herbacées, Panicum turgidum donne de bons résultats, de même Sporobolus s.p. sur dunes maritimes; sur ces mêmes dunes, des herbacées rampantes telles que Canavalia rosea, Ipomea pes caprae, peuvent couvrir rapidement le sol, mais leur utilisation avec des espèces ligneuses peut poser des problèmes de concurrence et limiter la croissance de ces dernières.

Parmi les espèces introduites, il convient de noter:

- Parkinsonia aculeata, qui survit bien dans les interdunes et replats interdunaires;
- Prosopis juliflora, qui reprend très bien dans les mêmes conditions que Parkinsonia. Sur les sables déjà tassés et frais, Prosopis juliflora peut même contribuer une importante production de bois et de fourrage (gousses).
- Tamarix Aphylla, qui se reproduit bien par boutures.
- Des acacias d'origine australienne ont également été introduits mais les essais doivent encore être suivis et concentrés autour des interdunes et des points d'eau à protéger, en tout cas où la nappe phréatique est peu profonde.

2.2 Les espèces utilisables dans les espaces inter-dunaires

Les espèces appartenant à ce groupe comprennent à la fois des arbres et des plantes buissonnantes dont on peut espérer une production ligneuse ou fourragère. Là encore une expérimentation préalable apparaît nécessaire pour tenir compte du contexte local.

La liste ci-après, toujours non limitative, contient un certain nombre d'espèces qui valent la peine d'être essayées.

	<u>Espèces arborescentes</u>	
<u>Nom de l'espèce</u>	<u>Nature du sol</u>	<u>Utilisation(l)</u>
	Argileux sableux	BO et BF
<u>Conocarpus lancifolius</u>	Limo-sableux ou sableux	BF, F
<u>Eucalyptus brockwayi</u>	Sableux profond et sols salés	BF
<u>Eucalyptus oleosa</u>	Sablo-limoneux	BF
<u>Eucalyptus salmonophloia</u>	Sablo-limoneux à argilo-limoneux	BF
<u>Eucalyptus torquata</u>	Limono-sableux à sableux	BF

<u>Gymonosporia senegalensis</u>	Squelettique ou sableux superficiellement	F (chèvres et moutons)
<u>Prosopis juliflora</u>	Sableux	BF, F (gousses)
<u>Prosopis spicigera</u>	Dépôt alluvial ou sableux	BF, F
<u>Tecoma undulata</u>	Limono-sableux	BF, Bois de service
<u>Zizyphus spina-christi</u>	Sableux	BF, F
<u>Zizyphus nummularia</u>	Sableux	BF, F
<u>Acacia senegal</u>	Limono-sableux	BF, F
<u>Acacia tortilis</u>	Limono-sableux	BF, F
<u>Acacia nilotica</u>	Sableux	BF
<u>spp indica (= arabica)</u>		
	<u>Espèces boissonnantes</u>	
<u>Nom de l'espèce</u>	<u>Nature du sol</u>	<u>Utilisation(l)</u>
<u>Atriplex glauca</u>	Assez bien drainé	F
<u>Atriplex coriacea</u>	Sable salé	F
<u>Atriplex halimus</u>	Dépressions à nappe phréatique temporaire	
<u>Atriplex mollis</u>	Sol à asphyxie temporaire en surface	
<u>Atriplex portulacoïdes</u>	Dépressions à nappe phréatique permanente	F (caprins et dromadaires)

(1)BO:

BF:

F: fourrager

bois

de

d'oeuvre
feu