

Popular Democratic Republic of Algeria
Ministry Of High Education And Scientific Research
Abebes Laghrour University ,Khenchela
Faculty of Nature and Life Science
Departement of Ecology and Environment



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة عباس لغرور خنشلة
كلية علوم الطبيعة والحياة

Polycopié pédagogique

Titre

CONSERVATION DES EAUX ET DES SOLS

Cours destiné aux étudiants de :

Troisième année licence écologie et environnement

Nom : LAKHDARI

Prénom : Somia

Grade : Maitre de conférences classe B

Année : 2023

Avant-propos

Bienvenue au cours sur la conservation des eaux et des sols. Dans ce cours, nous allons explorer les concepts fondamentaux de la conservation des ressources naturelles, avec un accent particulier sur l'eau et le sol.

La conservation des eaux et des sols est un enjeu majeur pour l'avenir de notre planète. Nous avons besoin d'une quantité suffisante d'eau propre et de sol fertile pour nourrir une population croissante et soutenir une économie prospère, tout en préservant les écosystèmes naturels. Cependant, les ressources en eau et en sol sont de plus en plus menacées par le changement climatique, la pollution et la surexploitation.

Ce cours abordera les principaux enjeux liés à la conservation des eaux et des sols, ainsi que les solutions possibles pour répondre à ces défis. Nous allons étudier les pratiques agricoles durables, la gestion de l'eau, la restauration des écosystèmes et bien plus encore.

Nous espérons que ce cours vous permettra de mieux comprendre les enjeux de la conservation des eaux et des sols, et vous donnera les connaissances et les compétences nécessaires pour agir en faveur de la préservation de ces ressources précieuses.

Dr. Somia LAKHDARI

LISTE DES FIGURES

<i>Figure n° 1 :</i>	<i>Effet de la goutte de pluie (effet splash)</i>	6
<i>Figure n° 2 :</i>	<i>Erosion en nappe- Belgique – (A. Ruellan,1995)</i>	8
<i>Figure n° 3:</i>	<i>Naissance du ruissellement: trois théories (Eric Roose, 1994)</i>	9
<i>Figure n° 4:</i>	<i>Ravine en Algerie (A.Ruellan,1995)</i>	11
<i>Figure n° 5 :</i>	<i>Badland en Maroc (A.Ruellan,1995)</i>	12
<i>Figure n° 6:</i>	<i>Le processus d'érosion éolienne (Eric Roose, 1994)</i>	25
<i>Figure n° 7:</i>	<i>Trois BSNE étagés sur un mât installé dans le champ PI. (clichés : Amadou ABDOURHAMANE TOURÉ)</i>	28

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux n° 1 :	<i>Les 3 types de feuillets chez les minéraux argileux</i>	16-17
Tableaux n° 2 :	<i>Photos de microcristaux de kaolinite, observés en microscopie électronique (a = vue planaire et b = vue en coupe) (Caillère et al., 1982).</i>	18
Tableaux n° 3 :	<i>Coupe transversale d'une colonie d'actinomycète (Prescott et al., 2018)</i>	18-19

TABLE DES MATIERES

Introduction	2
Chapitre 1 : Processus et facteurs de dégradation des sols.....	3
1.1 - Définition	3
1.2 Effets visibles de l'érosion.....	4
1.3 - Processus et facteurs de dégradation des sols :	5
Chapitre 2 : Erosion hydrique	6
2.1 - Définition :	6
2.2 - Origine et mécanisme :	6
2.3 - Les formes d'érosion :	7
2.4 - Les types de dégâts	13
2.5 - Effet sur la production agricole.....	13
2.6 - Les facteurs de l'érosion hydrique.....	14
2.7 - Estimation des pertes de terres.....	14
Chapitre 3 : Les procédés de contrôle du ruissellement	14
3.1 - Introduction.....	14
3.2 .Les ouvrages courants	15
Chapitre 4 : Dimensionnement des dispositifs de contrôle de ruissellement	16
4.1 - Approche Empirique	16
Chapitre 5 : La lutte contre l'érosion en Ravine	19
5.1 Les débits de ruissellement.....	20
5.2 Types de voies d'eau ou d'évacuation.....	22
Chapitre 6 : Erosion éolienne	22
6.1 Définition.....	23
6.2 Les origines et mécanismes de l'érosion éolienne	23
6.3 Effets et importance de l'érosion éolienne	26
6.4 Estimation de l'érosion éolienne et méthode de prévention.....	27
Référence bibliographique	39

Introduction

La conservation des eaux et des sols est un sujet important qui concerne la gestion responsable des ressources naturelles de notre planète. Les eaux et les sols sont des éléments vitaux pour la survie de tous les êtres vivants, y compris les humains, car ils fournissent des nutriments pour la croissance des plantes et des aliments pour les animaux. Cependant, ces ressources sont de plus en plus menacées par les activités humaines telles que l'agriculture intensive, l'exploitation minière, la déforestation, la construction de barrages, la pollution et le changement climatique.

La conservation des eaux et des sols vise à préserver ces ressources en minimisant les impacts négatifs de l'activité humaine et en encourageant les pratiques durables. Les stratégies de conservation comprennent l'utilisation de techniques agricoles durables, la gestion des bassins versants, la restauration des terres dégradées, la protection des zones humides, la réduction des émissions de gaz à effet de serre, l'utilisation de technologies propres et l'éducation environnementale.

La conservation des eaux et des sols est essentielle pour garantir la durabilité des écosystèmes, la sécurité alimentaire, la disponibilité de l'eau potable et la protection contre les catastrophes naturelles telles que les inondations et les glissements de terrain. C'est donc une responsabilité collective de tous les individus, entreprises et gouvernements de travailler ensemble pour protéger ces ressources précieuses et garantir leur disponibilité pour les générations futures.

Chapitre 1 : Processus et facteurs de dégradation des sols

Les sols sont des ressources naturelles vitales pour la vie sur Terre car ils sont à la base de la production alimentaire, de la filtration de l'eau et de la régulation du climat. Cependant, les sols sont également soumis à de nombreux processus et facteurs de dégradation qui peuvent avoir des conséquences néfastes sur leur qualité et leur capacité à fournir des services écosystémiques.

Les processus de dégradation des sols comprennent la désertification, l'érosion, la salinisation, la compaction, la perte de matière organique, la contamination chimique et la dégradation biologique. Ces processus sont souvent interdépendants et peuvent se renforcer mutuellement.

Les facteurs de dégradation des sols sont nombreux et peuvent être d'origine naturelle ou anthropique. Les facteurs naturels comprennent les changements climatiques, les mouvements tectoniques, les incendies et les éruptions volcaniques. Les facteurs anthropiques comprennent la surexploitation des terres agricoles, l'urbanisation, la déforestation, les pratiques agricoles non durables, la pollution et les activités industrielles.

La dégradation des sols peut avoir des conséquences graves sur l'environnement et la société, notamment en réduisant la qualité et la quantité des récoltes, en augmentant le risque d'inondation et d'érosion, en réduisant la qualité de l'eau et en compromettant la biodiversité. Il est donc important de comprendre les processus et les facteurs de dégradation des sols afin de prendre des mesures pour les prévenir ou les réduire.

1.1 - Définition

La dégradation des sols est un processus résultant de l'activité humaine et/ou des phénomènes climatiques agressifs, qui réduit la capacité actuelle et/ou future des sols à soutenir la vie humaine. Elle se manifeste par une rupture de l'équilibre entre l'agressivité climatique et la capacité de résistance du sol due à l'impact de l'homme. Cette situation a des conséquences négatives évidentes sur l'environnement physique et entraîne également des conséquences socio-économiques préjudiciables.

1.2 Effets visibles de l'érosion

Parmi les signes et effets physiques visibles de la dégradation peuvent être cités les éléments ci-dessous :

- les griffes, fines rigoles formées par l'eau, particulièrement en haut des pentes, sur le bord des pistes ou dans les champs sillonnés par les labours, elles deviennent des ravines par élargissement dû à la concentration de ruissellement excessif.
- les pavages de cailloux et de pierres laissés en surface, une fois les particules les plus fines du sol emportées par le ruissellement, observés dans un grand nombre de champs labourés et de terrains de pâture.
- les buttes de sol résiduel, où sont perchées des touffes d'herbes, signes d'érosion, quand elles n'ont pas été créées par l'accumulation de débris foliacés et d'humus, ou par le fouissage des rongeurs.
- l'accumulation de terre au-dessus des arbres, des pierres, des palissades et des haies sur terrains en pente.
- les racines d'arbres et arbustes, exposées à l'air, ou mise à nu dans des cours d'eau, résultats d'une dispersion du sol ou d'un accroissement de ruissellement suite à la dégradation de bassins versants.
- les dépôts de sols sur les pentes douces, ou de graviers, sables et limons, dans les lits de cours d'eau résultent d'une érosion en amont.
- les taches nues dans les herbages et les pacages signes d'une tendance à la dégradation.
- le déplacement du sol par piétinement résultant du pâturage sur les pistes à bétail au long des courbes de niveau, où les animaux font progressivement glisser la terre en bas de la pente.
- les mouvements du sol sous l'action du vent, mis en évidence essentiellement par la formation de dunes.
- des modifications de la flore (par exemple des buissons se substituant à l'herbe), survenant après surpâturage, et accompagnés souvent d'érosion.
- les atterrissements dans les retenues de barrages, lacs et étangs.

Sur le plan socio-économique, il convient de souligner les effets suivants en plus des baisses croissantes de rendement :

- L'envasement des barrages, des retenues d'eau, des rivières, des canaux et des systèmes de drainage, dû à l'érosion des sols dégradés, qui entraîne une réduction des stocks de poissons ;
- Les inondations provoquées par les eaux de ruissellement résultant de la diminution de la capacité d'infiltration des sols dégradés, ainsi que la baisse de niveau ou l'assèchement des nappes et des points d'eau, causés par les pertes d'eau dues au ruissellement ;
- Les problèmes sanitaires et de qualité de vie, car un environnement dégradé ne peut offrir que des conditions de vie médiocres ;
- Les besoins accrus en terre et en facteurs de production agricole ;
- Les préjudices pour la société et les générations futures qui résultent de la perte définitive de terres.

Ces exemples montrent que l'érosion peut avoir des effets importants et variés sur les paysages et les écosystèmes. Les humains peuvent également contribuer à l'érosion en modifiant les paysages naturels, en construisant des infrastructures et en pratiquant l'agriculture et l'exploitation minière de manière non durable.

1.3 - Processus et facteurs de dégradation des sols :

Les processus de dégradation des sols comprennent l'érosion, la compaction, la salinisation, la perte de matière organique, l'acidification, la pollution, la désertification et la déforestation. Les facteurs de dégradation des sols peuvent être naturels (comme les phénomènes climatiques tels que les précipitations, les vents, les tempêtes) ou anthropiques (comme les pratiques agricoles intensives, la surpâturage, l'urbanisation, l'exploitation minière, la déforestation, la pollution, etc.). La combinaison de ces facteurs peut conduire à une dégradation importante des sols, qui affecte négativement la biodiversité, la productivité agricole, la qualité de l'eau et de l'air, ainsi que la santé humaine et animale.

Chapitre 2 : Erosion hydrique

2.1 - Définition :

L'érosion hydrique est le processus de dégradation des sols causé par l'impact des gouttes de pluie et du ruissellement des eaux de surface sur les sols. Elle peut entraîner une perte importante de sols fertiles, réduire la capacité de stockage d'eau dans les sols, augmenter la pollution de l'eau, et causer des dommages économiques importants.

2.2 - Origine et mécanisme :

L'érosion hydrique est causée par l'impact des gouttes de pluie sur les sols, qui détruisent la structure du sol et créent des micro-cavités. L'eau de pluie pénètre ensuite dans ces cavités et crée des flux d'eau de surface qui transportent les particules de sols, formant des rigoles et des ruisseaux qui peuvent emporter des quantités importantes de sols.

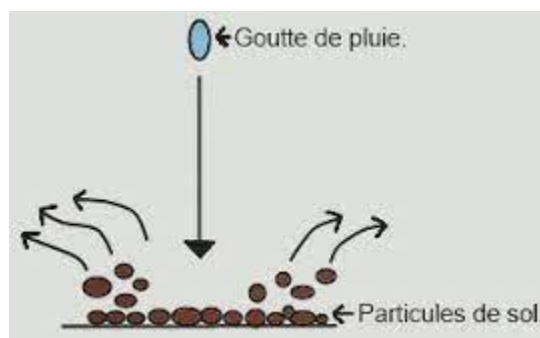


Fig.1: Effet de la goutte de pluie (effet splash)

L'effet splash, également appelé éclaboussement, est un phénomène qui se produit lorsqu'une goutte d'eau tombe sur une surface solide, telle qu'un sol ou une feuille, à grande vitesse. Lorsque la goutte frappe la surface, elle éclate et crée des éclaboussures qui peuvent projeter de petites particules de sol ou de matière organique dans les airs. **(fig.1)**

Cet effet peut avoir des conséquences importantes sur l'érosion du sol et la propagation des maladies. En effet, les particules projetées peuvent se déposer sur les feuilles des plantes, les cultures et les fruits, ce qui peut favoriser le développement de bactéries, de champignons et d'autres agents pathogènes. De plus, l'effet splash peut également déloger les graines et les semences du sol, ce qui peut perturber la croissance des plantes et la composition des écosystèmes.

L'effet splash est également un facteur important dans le processus d'entraînement des sols. Les éclaboussures peuvent contribuer à la fragmentation du sol et à l'érosion des couches supérieures, ce qui peut réduire la fertilité des sols et diminuer leur capacité à retenir l'eau et les nutriments.

Les chercheurs étudient l'effet splash pour mieux comprendre les processus d'érosion et de propagation des maladies dans les écosystèmes terrestres et aquatiques. Les pratiques agricoles et les techniques de gestion des sols peuvent être modifiées pour réduire l'impact de l'effet splash sur l'érosion du sol et la propagation des maladies.

2.3 - Les formes d'érosion :

L'érosion hydrique peut prendre différentes formes telles que l'érosion en nappe, l'érosion en rigole, l'érosion de sillon et l'érosion de gully. L'érosion en nappe se produit lorsque l'eau de pluie tombe sur une surface plane, alors que l'érosion en rigole se produit lorsque l'eau de pluie coule sur des pentes. L'érosion de sillon se produit lorsque l'eau de ruissellement crée des sillons peu profonds dans le sol, tandis que l'érosion de gully est une forme plus grave d'érosion qui crée des ravins profonds dans les sols.

2.3.1 L'érosion en nappes « sheet erosion »

L'érosion en nappes, également appelée "sheet erosion", est un processus d'érosion du sol qui se produit lorsque de fines couches de sol sont emportées de manière uniforme sur une grande surface par la force du ruissellement de l'eau. Elle se produit principalement sur des pentes légères, où l'eau peut s'écouler sur une grande surface sans être canalisée dans des rigoles ou des ravins.(figure 2)

Cette forme d'érosion est particulièrement préoccupante car elle peut entraîner une perte de sol importante sur une grande superficie, ce qui peut réduire considérablement la productivité des terres agricoles et provoquer des problèmes environnementaux tels que la pollution des rivières et des lacs par les sédiments.



Fig.2 : Erosion en nappe- Belgique – (A. Ruellan,1995)

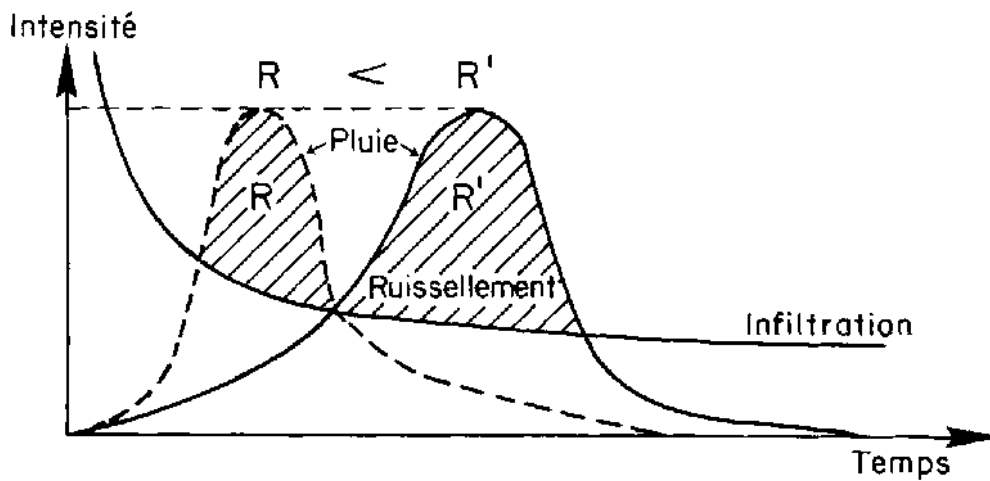
2.3.2. L'érosion linéaire

L'érosion linéaire, également appelée "ravage des sols", est un processus d'érosion du sol qui se produit le long de tranchées, de rigoles ou de ravins. Elle est causée par la force de l'eau qui s'écoule le long de ces canaux naturels ou artificiels, emportant progressivement les sols et les matériaux qui les composent.

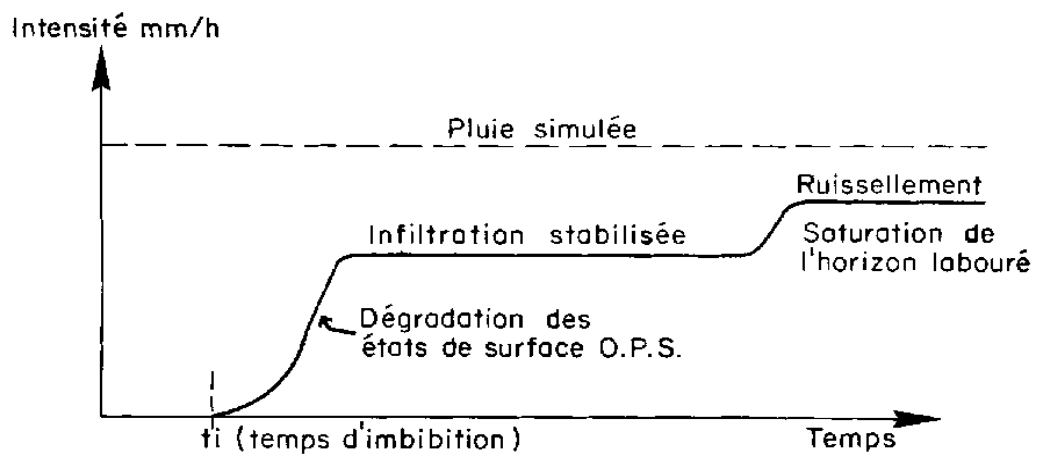
L'érosion linéaire peut être causée par des facteurs tels que la pluie, les inondations, la fonte des neiges, les cours d'eau et l'activité humaine (comme la construction de routes, de barrages, d'infrastructures de drainage, etc.).

L'érosion linéaire peut avoir des conséquences graves, notamment une diminution de la qualité des sols, une perte de terres fertiles et une pollution des eaux de surface et des eaux souterraines. Elle peut également provoquer des dommages aux infrastructures et aux bâtiments situés à proximité des canaux d'érosion.

A. Si intensité pluie > Infiltration (Horton)



B. Si la porosité du sol est saturée



C. Contribution localisée du ruissellement

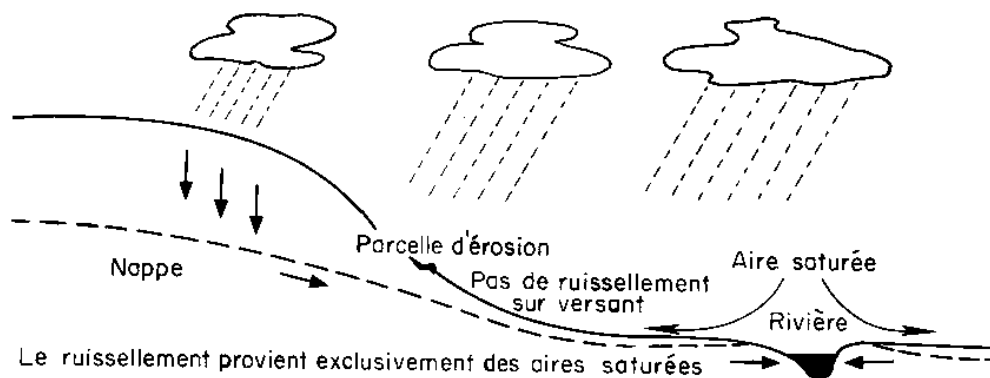


Fig.3 : Naissance du ruissellement: trois théories (Eric Roose, 1994)

La cause de l'érosion linéaire est à chercher dans l'énergie du ruissellement, laquelle dépend à la fois du volume ruisselé et de la vitesse de celui-ci.

$E_{\text{Ruiss}} = 1/2 MV^2$ sur parcelle = $1/2 MGH$ sur bassin versant

1° Théorie de Horton (1945) Le ruissellement naît lorsque l'intensité des pluies est supérieure à la capacité d'infiltration du sol (figure 3a). Si on compare l'infiltration à l'intensité de la pluie, on constate que l'intensité d'infiltration décroît au cours du temps, d'une part parce que le potentiel capillaire diminue à mesure que le front d'infiltration pénètre à l'intérieur du sol et d'autre part, par dégradation de l'état de la structure à la surface du sol. Par contre, l'intensité de la pluie passe généralement par un (ou plusieurs) maximum et le volume de la pluie situé au-dessus de la courbe d'infiltration peut être considéré comme le ruissellement. On constate dans l'exemple choisi, pour une séquence d'intensité voisine que le volume du ruissellement peut varier considérablement en fonction de la période où apparaît le maximum d'intensité dans l'averse. Plus tôt apparaît ce maximum, plus réduit sera le ruissellement puisque la capacité d'infiltration diminue au cours du temps. Cependant, les hydrologues ont montré qu'il était rare d'obtenir une bonne corrélation entre le volume ruisselé sur un bassin versant et l'intensité des pluies. On a donc cherché une autre explication.

2° Théorie de la saturation du milieu. Le ruissellement naît lorsque l'espace poreux du sol est saturé (figure 3b). Si au cours d'une pluie simulée on constate d'abord le démarrage du ruissellement après une pluie d'imbibition, le ruissellement va augmenter jusqu'à atteindre un niveau stabilisé correspondant à la capacité d'infiltration stabilisée du sol. Mais si la pluie persévère (plus de 100 mm), il peut arriver que l'on observe une nouvelle croissance du ruissellement et un nouveau plateau d'infiltration stabilisée. Il s'agit simplement de la saturation de l'horizon labouré; elle provoque le débordement de cette capacité de stockage que représente la macroporosité de l'horizon labouré. On peut constater soit que l'intensité de ruissellement correspond exactement à celle de la pluie simulée si l'horizon de profondeur est totalement imperméable ou qu'il reste une certaine capacité d'infiltration résiduelle correspondant à celle du fond de labour. Lorsqu'un milieu est totalement saturé, toute goutte d'eau tombant dans ce milieu ruisselle, quelle que soit l'intensité de la pluie.

3° Théorie de la contribution partielle de la surface du bassin au ruissellement. A la figure 3c, on constate que le ruissellement observé au niveau de la rivière est fonction de la surface du sol saturé au fond de la vallée. Si, au cours de la saison sèche, on mesure le ruissellement sur un bassin versant, on constate que la rivière réagit très rapidement aux orages alors qu'on

n'observe pas de ruissellement sur les versants ! Le volume ruisselé est réduit pendant cette période sèche car la surface saturée du fond de vallée est très étroite, souvent réduite au lit mineur. En fin de l'hiver, par contre, lorsque tout le volume de la couverture pédologique a été réhumecté jusqu'à capacité au champ, la moindre averse réalimente la nappe, laquelle va latéralement saturer une surface plus grande de la vallée. Par conséquent, même s'il n'y a pas de ruissellement sur le versant en période humide, l'ensemble du bassin versant va contribuer au volume écoulé par la rivière par extension de la surface saturée, la nappe étant alimentée directement par le drainage de l'ensemble du bassin.

2.3.3. L'érosion par ravinement (Gully erosion)

L'érosion par ravinement, également appelée "gully erosion", est un processus d'érosion du sol qui se produit lorsque de larges rigoles ou ravins se forment dans les sols en pente. Ces ravins sont creusés par le ruissellement de l'eau, qui emporte progressivement les sols et les matériaux qui les composent, créant ainsi des canaux de plus en plus profonds et larges.



Fig. 4 : Ravine en Algérie (A.Ruellan,1995)

2.3.4. Les badlands

Les badlands sont principalement composés de roches sédimentaires qui se sont formées il y a des millions d'années, notamment des grès, des schistes, des argiles et des conglomérats. L'érosion les a exposées et sculptées, créant ainsi des formations géologiques spectaculaires. Les badlands se trouvent dans de nombreuses régions du monde, mais sont particulièrement connus pour leur présence dans l'Ouest américain, comme le parc national de Badlands dans le Dakota du Sud. Ils abritent souvent une faune et une flore spécifiques, adaptées aux conditions arides et érodées de ces paysages.



Fig.5 : Badland en Maroc (A.Ruellan,1995)

Les badlands sont également importants du point de vue de la recherche géologique et archéologique, car ils peuvent fournir des informations sur l'histoire de la Terre et de ses habitants, ainsi que sur les cultures anciennes qui ont occupé ces régions.

2.3.5. L'arrachage

L'érosion par l'eau peut entraîner l'arrachage de grands blocs de terre dans les zones de haute altitude et de fort relief, comme les hautes piémonts. Lorsque l'eau de pluie ou de fonte des

neiges s'écoule sur ces zones, elle peut se concentrer dans des zones précises, créant ainsi des ravines et des gorges profondes. L'eau peut alors entraîner de grandes quantités de sol et de blocs de roches, créant des processus d'arrachage importants.

2.4 - Les types de dégâts

L'érosion hydrique peut causer différents types de dégâts, notamment :

- A. La perte de sol fertile : l'érosion hydrique peut emporter les couches supérieures du sol, qui sont les plus riches en nutriments nécessaires à la croissance des plantes, réduisant ainsi la fertilité des sols et compromettant la production agricole.
- B. La diminution de la profondeur du sol : l'érosion peut également réduire la profondeur du sol, ce qui limite la capacité des plantes à s'enraciner et à puiser les nutriments nécessaires à leur croissance.
- C. La détérioration de la qualité de l'eau : l'érosion hydrique peut transporter des sédiments et des polluants tels que les pesticides, les engrais et les déchets agricoles, qui peuvent affecter la qualité de l'eau et menacer la santé humaine et animale.
- D. La perte de la biodiversité : l'érosion hydrique peut détruire les habitats naturels des plantes et des animaux, menaçant ainsi la biodiversité et l'équilibre écologique.
- E. La dégradation des infrastructures : les inondations causées par l'érosion hydrique peuvent endommager les routes, les ponts, les bâtiments et les autres infrastructures, entraînant des pertes économiques importantes.

2.5 - Effet sur la production agricole

L'érosion hydrique peut avoir des effets négatifs sur la production agricole. En effet, l'érosion peut emporter la couche fertile du sol, ce qui diminue la qualité et la quantité des récoltes. Elle peut également entraîner une diminution de la rétention d'eau dans le sol, ce qui peut causer une sécheresse et des pertes de récoltes. L'érosion peut également endommager les cultures en causant des dommages physiques aux plantes, en les exposant à des vents violents et en les rendant plus vulnérables aux maladies et aux ravageurs. Enfin, l'érosion peut obstruer les systèmes d'irrigation et les canaux de drainage, ce qui peut entraver la croissance des cultures et causer des inondations.

2.6 - Les facteurs de l'érosion hydrique

Il existe plusieurs facteurs qui peuvent contribuer à l'érosion hydrique, notamment :

- a. Les précipitations : des précipitations abondantes peuvent augmenter la quantité d'eau qui s'écoule sur le sol, augmentant ainsi le potentiel d'érosion.
- b. La pente du terrain : les pentes raides ont tendance à accélérer l'écoulement de l'eau et augmenter la force d'érosion.
- c. La texture et la structure du sol : les sols limoneux et argileux ont tendance à être plus résistants à l'érosion que les sols sableux, qui sont plus sujets à l'érosion.
- d. La couverture végétale : la présence d'une couverture végétale dense et continue peut réduire la vitesse d'écoulement de l'eau et protéger le sol de l'érosion.
- e. Les pratiques agricoles : les pratiques agricoles telles que le labour intensif, le surpâturage et la déforestation peuvent réduire la couverture végétale et augmenter le potentiel d'érosion.
- f. Les caractéristiques hydrologiques : les caractéristiques hydrologiques, telles que le type de sol, la capacité d'infiltration, la perméabilité et la porosité, peuvent également influencer le potentiel d'érosion hydrique.

2.7 - Estimation des pertes de terres

Les pertes de terres dues à l'érosion hydrique peuvent être estimées en mesurant la quantité de sols emportée par les eaux de ruissellement sur une période donnée, en utilisant des techniques de mesure telles que le taux de sédimentation et les indicateurs de qualité d'eau. Les relevés topographiques peuvent également être utilisés pour déterminer l'ampleur des pertes de terres sur une zone donnée. Les données obtenues peuvent être utilisées pour élaborer des plans de gestion des terres visant à prévenir ou à atténuer les effets de l'érosion hydrique sur les sols.

Chapitre 3 : Les procédés de contrôle du ruissellement

3.1 - Introduction

Les procédés de contrôle du ruissellement sont des techniques utilisées pour minimiser les impacts négatifs de l'eau de pluie qui ruisselle sur les surfaces imperméables telles que les

toits, les parkings, les routes, les trottoirs et les terrains de sport. Le ruissellement peut entraîner une érosion des sols, une dégradation de la qualité de l'eau, une augmentation du débit des rivières, une inondation et la détérioration des infrastructures.

Les techniques de contrôle du ruissellement sont conçues pour aider à réduire ces impacts en ralentissant et en capturant l'eau de pluie avant qu'elle ne s'écoule dans les canalisations et les cours d'eau. Ces techniques peuvent inclure des pratiques de gestion des eaux pluviales telles que la construction de bassins de rétention, de fossés de drainage, de jardins de pluie, d'îlots de fraîcheur urbains, de toitures végétalisées et d'autres techniques de drainage durable. Les procédés de contrôle du ruissellement peuvent être une solution efficace pour réduire les impacts négatifs du ruissellement et améliorer la qualité de l'environnement urbain.

3.2 .Les ouvrages courants

Les ouvrages courants sont des structures conçues pour contrôler le ruissellement en limitant la vitesse et la quantité d'eau qui coule sur les sols. Les ouvrages courants les plus couramment utilisés comprennent les fossés, les talus de remblai, les barrières de rétention, les bassins de rétention, et les gabions.

- Les fossés : Les fossés sont des canaux creusés dans le sol pour collecter l'eau de ruissellement et la transporter vers des zones de stockage ou de décharge. Les fossés peuvent être creusés de manière permanente ou temporaire, et leur forme et leur profondeur peuvent varier en fonction des besoins locaux.
- Les talus de remblai : Les talus de remblai sont des monticules de terre ou de pierre construits le long des pentes pour ralentir le ruissellement et réduire les risques d'érosion. Les talus de remblai peuvent être conçus pour permettre l'infiltration de l'eau dans le sol ou pour la diriger vers des zones de stockage.
- Les barrières de rétention : Les barrières de rétention sont des structures construites pour ralentir le ruissellement et stocker l'eau temporairement. Les barrières de rétention peuvent être des murs de soutènement, des barrages, ou des palplanches en acier qui sont installés le long des rivières ou des cours d'eau pour réduire la vitesse de l'eau.
- Les bassins de rétention : Les bassins de rétention sont des structures creusées dans le sol pour stocker l'eau de ruissellement pendant une courte période. Les bassins de

rétenion peuvent être conçus pour filtrer les contaminants de l'eau ou pour permettre l'infiltration de l'eau dans le sol.

- Les gabions : Les gabions sont des structures en treillis métallique remplies de pierres ou de gravier qui sont utilisées pour contrôler le ruissellement et protéger les pentes contre l'érosion. Les gabions peuvent être installés le long des rivières et des cours d'eau pour réduire la vitesse de l'eau et prévenir l'érosion des berges.

Le dimensionnement des dispositifs de contrôle de ruissellement est une étape cruciale dans la conception des réseaux de CES (Conception Environnementale des Systèmes d'Assainissement). Il existe plusieurs approches pour dimensionner ces ouvrages, notamment l'approche empirique, le calcul des écartements entre les ouvrages d'un réseau de CES et le dimensionnement des ouvrages en fonction du bilan hydrique.

Chapitre 4 : Dimensionnement des dispositifs de contrôle de ruissellement

4.1 - Approche Empirique

Le tableau n°1 : donne quelques valeurs expérimentales pour différents pays.

Types de dispositif (et main d'oeuvre locale en%)	Conditions d'utilisation	Caractéristique(en m)				Pays concerné
		Longueur	Hauteur	Largeur	Ecartement	
Diguettes en terre (72)	200<pluvio.<100mm terres profondes, assez perméables; pente<6%	20-25	0,4	0,4	15-20	BURKINA FASO GUINEE, NIGER, SENEGAL
Diguettes en terre empierrées (51)	Idem(+ rigole amont du reseau 0,4 x 0,3m)	50-75	0,4	0,4	15-40	BURKINA FASO, MALI,NIGER
Diguettes en pierres (?)	300<pluvio.<600mm sol non filtrant pente de 3-6%(mais 45% CAP-VERT)	50-75	0,4-0,8	0,-0,4	15-40	BURKINA FASO,CAP-VERT

Cordons pierreux (54)	Pluvio.>400m Pente<6% -Sol filtrant Tranche 5/10 cm	50	0,2	0,2	15-40	BURKINA FASO, GUINEE, MALI,NIGER, SENEGAL
Zaï ou assa (96)	Pluvio.>400mm Pente de 1-3%	diamètre 0,4 Profond.0,25-0,30	-	-	0,8-1	BURKINA FASO, ,NIGER
Tranchée en arc de cercle (91)	200<pluvio.<600mm Pente très forte(30-60%); Sol peut filtrant	3m en arc de cercle	Profondeur:0,6	0,6	5/4	NIGER
Gradin (88)	200<p<600mm Pente 30 à60% Sol peu filtrant	4	Profondeur: 0,5-0,7 Profondeur:0 Profondeur:0	1-1,5	5/5	CAP-VERT

L'approche empirique consiste à utiliser des formules ou des tables empiriques pour dimensionner les ouvrages de contrôle de ruissellement. Cette méthode est basée sur des données expérimentales et sur des observations pratiques.

4.2 - Calcul des écartements entre ouvrages d'un réseau de CES:

Le calcul des écartements entre ouvrages d'un réseau de CES consiste à déterminer la distance optimale entre deux ouvrages de contrôle de ruissellement afin de maximiser leur efficacité. Cette méthode prend en compte la topographie du terrain, les caractéristiques du sol et les conditions climatiques.

Le calcul des écartements entre ouvrages peut être effectué à l'aide de modèles mathématiques qui simulent le ruissellement sur le terrain et la performance des ouvrages de contrôle. Ces modèles prennent en compte plusieurs paramètres tels

4.2.1 - Utilisation de l'équation de WISCHMEIER

$LS = A/(2,24.R.K.C.P)$ A étant fixé (voir exercice d'application n°1), on déduit LS et on se reporte à l'abaque de la figure .

4.2.2 Formule de RAMSER (USA)

Cette formule est valable pour les pentes inférieures à 12%. Pour l'Afrique tropicale :

$$H = 0,305*(a + p/b)$$

où H est la dénivellée entre ouvrages successifs ;0,305 est le facteur de conversion en mètres ; a et b sont des coefficients fonctions de K, R, C, et P. p représente la pente. Les tableaux 2 et 3 donne les intervalles entre deux banquettes.

Tableau 2 : Intervalles entre les banquettes.Appliquaion de la formule $H=(2+p/4)$

pente du terrain%	Intervalles entre les banquettes(m)		
	vertical (dénivellée)	horizontal (projection)	mesuré suivant la pente
1	0,68	68,60	68,60
2	0,76	38,10	38,10
3	0,84	23,00	28,00
4	0,91	22,75	22,75
5	0,99	19,80	19,85
6	1,06	17,70	17,75
7	1,14	16,30	16,35
8	1,22	15,25	15,30
9	1,29	14,30	14,35
10	1,37	13,70	13,75
11	1,45	13,20	13,25
12	1,53	12,75	12,80

Tableau 3: Intervalles entre les banquettes.Appliquaion de la formules: $H=(2+P/3)$

pente du terrain%	Intervalles entre les banquettes(m)		
	vertical (dénivellée)	horizontal (projection)	mesuré suivan la pente
1	0,71	71,0	71,0
2	0,81	40,5	40,5
3	0,91	30,3	30,3
4	1,02	25,5	25,5
5	1,12	22,4	22,4
6	1,22	20,35	20,4
7	1,32	18,85	18,9
8	1,42	17,75	17,8
9	1,52	16,90	17,0
10	1,63	16,30	16,40
11	1,73	15,70	15,80

12	1,83	15,25	15,35
----	------	-------	-------

Chapitre 5 : La lutte contre l'érosion en Ravine

L'érosion en ravine est un phénomène naturel qui peut causer des dommages importants à l'environnement et aux infrastructures. L'activité humaine peut souvent aggraver ce phénomène, entraînant des pertes de sols fertiles, de la biodiversité et même des vies humaines. C'est pourquoi il est important de mettre en place des mesures efficaces pour lutter contre l'érosion en ravine.

La lutte contre l'érosion en ravine est donc une préoccupation importante pour les autorités et les habitants des régions concernées. Voici quelques mesures qui peuvent être mises en place pour réduire les effets de l'érosion en ravine :

- **Planification et gestion de l'utilisation des terres :** Une planification et une gestion appropriées de l'utilisation des terres peuvent aider à minimiser les activités qui peuvent causer l'érosion en ravine. Il est important de prendre en compte les caractéristiques du terrain et les conditions climatiques locales lors de la planification des activités sur le terrain.
- **Aménagement des pentes :** Les pentes peuvent être aménagées pour réduire la vitesse de l'eau et favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol. Les techniques d'aménagement des pentes peuvent inclure la construction de terrasses, la création de bandes de conservation, l'ajout de matériaux de construction tels que des pierres et des troncs d'arbres pour ralentir l'écoulement de l'eau.
- **Plantation d'arbres et de végétation :** La plantation d'arbres et de végétation peut aider à renforcer les sols, à réduire la vitesse de l'eau et à prévenir l'érosion. Les plantes absorbent l'eau et empêchent l'érosion des sols en surface. Les racines des plantes peuvent également aider à ancrer les sols en profondeur.
- **Contrôle de l'eau :** Le contrôle de l'eau est important pour minimiser l'érosion en ravine. Les techniques de contrôle de l'eau peuvent inclure la construction de canaux de drainage, de fossés et de barrages pour diriger l'eau dans des zones appropriées.
- **Réduction de la pollution :** Les activités humaines peuvent également entraîner la pollution des eaux de ruissellement, ce qui peut causer l'érosion en ravine. La

réduction de la pollution peut aider à prévenir l'érosion en ravine en réduisant la quantité de sédiments et d'autres matériaux qui s'écoulent dans les cours d'eau.

En somme, la lutte contre l'érosion en ravine est un enjeu majeur pour la préservation de l'environnement et de la biodiversité. Il est donc essentiel de prendre des mesures appropriées pour prévenir et minimiser l'impact de ce phénomène.

En général, une combinaison de ces stratégies peut être nécessaire pour lutter efficacement contre l'érosion en ravine. Il est important de travailler en étroite collaboration avec les communautés locales et les parties prenantes pour développer des stratégies qui répondent aux besoins locaux et respectent l'environnement.

5.1 Les débits de ruissellement

Les débits de ruissellement désignent le débit d'eau qui s'écoule à la surface du sol ou le long des pentes en réponse aux précipitations. Le ruissellement se produit lorsque l'eau ne peut pas être absorbée par le sol et s'écoule à la surface, entraînant des particules de sol et d'autres matières. Les débits de ruissellement peuvent être influencés par de nombreux facteurs tels que la topographie, la végétation, le type de sol, la quantité et l'intensité des précipitations, et les activités humaines telles que l'aménagement du territoire et l'agriculture.

Pour lutter contre l'érosion en ravine, il est important de réduire les débits de ruissellement en limitant la quantité d'eau qui s'écoule sur la surface du sol. Cela peut être réalisé en adoptant des pratiques de gestion des terres telles que la conservation des sols, la gestion de l'eau et la gestion de la végétation.

Les débits de ruissellement peuvent être mesurés à l'aide de diverses méthodes telles que des jauges de pluie, des capteurs de débit, des modèles hydrauliques et des images satellites. Les débits de ruissellement ont un impact important sur les écosystèmes et les ressources en eau, notamment en termes d'érosion des sols, de pollution des cours d'eau et de disponibilité d'eau pour l'irrigation et d'autres utilisations. Il est donc important de surveiller et de gérer les débits de ruissellement pour prévenir les effets négatifs et favoriser une utilisation durable des ressources en eau.

- a. Les capteurs de débit sont des instruments utilisés pour mesurer la quantité d'eau qui s'écoule dans un cours d'eau ou un canal. Ils fonctionnent en mesurant la vitesse d'écoulement de l'eau et en la combinant avec la section transversale de l'écoulement

pour calculer le débit. Les capteurs de débit peuvent être basés sur différents principes de mesure, tels que la mesure de la pression différentielle, la mesure de la vitesse par ultrasons ou la mesure de la conductivité électrique.

- b. Les modèles hydrauliques sont des outils informatiques utilisés pour simuler l'écoulement de l'eau dans un système fluvial ou un bassin versant. Ils prennent en compte de nombreux paramètres tels que la topographie, la végétation, le type de sol, les précipitations et l'évapotranspiration pour simuler le comportement du système hydrologique. Les modèles hydrauliques peuvent être utilisés pour prévoir les débits de ruissellement et pour évaluer les impacts des activités humaines sur les ressources en eau.
- c. Les images satellites sont des images prises par des satellites en orbite autour de la Terre. Les images satellites peuvent être utilisées pour surveiller les changements dans la couverture terrestre, y compris la végétation et l'utilisation des terres. Les images satellites peuvent également être utilisées pour détecter les zones inondées ou les étendues d'eau dans les régions où l'accès est difficile. Les images satellites peuvent donc être utiles pour surveiller les débits de ruissellement et pour évaluer les impacts des événements météorologiques extrêmes sur les ressources en eau.

En l'absence de données hydrologiques précises, les débits de dimensionnement doivent être approchés par des formules empiriques. Il s'agit du cas le plus général, puisque les bassins versants considérés sont fréquemment de tailles très modestes.

Les formules principalement utilisées en Afrique francophone sont :

La méthode **Rodier-Auvray**, pour l'estimation des débits de crue décennales pour des bassins versants de superficie inférieure à 200 km² (Rodier et Auvray, 1965).

la formule rationnelle.

$$Q = \alpha \cdot i \cdot A$$

Avec

- Q: le débit de pointe
- α , un coefficient d'abattement

- i : l'intensité de la pluie pour un temps de récurrence choisi et pour une durée égale au temps de concentration du bassin
- A : la surface du bassin (bassin inférieur à 1300 ha) ...

5.2 Types de voies d'eau ou d'évacuation

Les voies d'eau ou d'évacuation sont des structures qui permettent d'évacuer l'eau de pluie de manière contrôlée pour éviter l'érosion en ravine. Il existe plusieurs types de voies d'eau ou d'évacuation, notamment :

- Les canaux : ce sont des structures en béton, en pierre ou en terre qui sont utilisées pour canaliser l'eau de pluie et l'acheminer vers des zones où elle ne causera pas d'érosion en ravine.
- Les fossés : ce sont des structures peu profondes creusées dans le sol pour collecter l'eau de pluie et l'évacuer vers des zones plus sûres.
- Les barrières en bois : ce sont des structures en bois installées en travers des ravines pour ralentir l'écoulement de l'eau et réduire le risque d'érosion.
- Les bassins de rétention : ce sont des structures creusées dans le sol qui permettent de stocker l'eau de pluie pendant une période de temps limitée, avant de la laisser s'écouler lentement vers des zones plus sûres.
- Les dispositifs de contrôle des eaux pluviales urbaines : ces structures sont conçues pour contrôler le débit des eaux pluviales dans les zones urbaines afin de réduire le risque d'inondation et d'érosion en ravine. Ils incluent des ouvrages tels que les bassins de rétention, les toits verts et les dalles perméables.

Chapitre 6 : Erosion éolienne

En Afrique de l'Ouest, l'érosion éolienne devient de plus en plus préoccupante dans les zones tropicales sèches où la pluviométrie annuelle est inférieure à 600 mm, la saison sèche dure plus de six mois et la végétation de type steppique laisse de vastes étendues de sol nu. Cependant, elle peut également se développer dans d'autres régions où le sol est préparé de manière à entraîner une importante pulvérisation des matériaux superficiels secs.

6.1 Définition

L'érosion éolienne est un processus par lequel les vents transportent des particules de sol et d'autres matériaux de la surface terrestre, provoquant ainsi une érosion des sols et une détérioration de l'environnement.

6.2 Les origines et mécanismes de l'érosion éolienne

L'érosion éolienne est causée par le mouvement du vent sur la surface terrestre. Le vent peut souffler sur la surface du sol et enlever les particules plus fines, comme le sable, la poussière et les particules organiques, par un processus appelé abrasion. Ces particules peuvent être transportées sur de longues distances par le vent, créant des dunes de sable et des formations rocheuses.

Le vent peut également causer une érosion éolienne par un processus appelé érosion par le soulèvement. Cela se produit lorsque le vent soulève les particules du sol plus légères et les transporte sur de courtes distances avant de les déposer à un autre endroit. L'érosion par le soulèvement est souvent observée dans les zones arides où le sol est sec et lâche, et où la végétation est rare.

Les processus naturels tels que les tempêtes de sable, les orages de poussière et les ouragans peuvent également causer une érosion éolienne importante. Les tempêtes de sable se produisent lorsque le vent souffle sur une région aride et ramasse des particules de sable, créant une tempête de sable qui peut voyager sur de grandes distances. Les orages de poussière se produisent lorsque le vent soulève de grandes quantités de poussière et de sable, créant une nuée de poussière qui peut couvrir des villes et des villages. Les ouragans peuvent également causer une érosion éolienne en soufflant sur des particules de sable et de poussière à des vitesses élevées.

L'érosion éolienne peut avoir des effets négatifs sur l'environnement, tels que la perte de sol fertile, la dégradation des terres agricoles et la diminution de la qualité de l'air en raison de l'accumulation de particules dans l'atmosphère. Il existe des mesures pour prévenir ou atténuer l'érosion éolienne, telles que la gestion de la végétation, la stabilisation du sol par des techniques de génie civil et l'utilisation de barrières de protection contre le vent.

L'absence de couverture végétale et une topographie en pente peuvent augmenter l'érosion éolienne en permettant une plus grande exposition du sol à l'action des vents.

Le vent exerce une pression sur la surface exposée au flux d'air des particules solides au repos, au-dessus de leur centre de gravité, créant un couple qui tend à les faire basculer et rouler, notamment pour les particules lourdes de taille comprise entre 0,5 et 2 mm. En outre, le frottement centré sur la base des particules s'oppose à la force du vent.

En raison de la différence de vitesse entre la base et le sommet des particules, ces dernières sont aspirées vers le haut, et les plus légères peuvent être transportées verticalement jusqu'à ce que le gradient de vitesse ne les porte plus, puis retomber sous l'effet du vent. Au cours de leur chute, ces grains de sable transmettent leur énergie à d'autres grains ou dégradent les agrégats limono-argileux en dégageant de la poussière.

Sur le terrain, lorsque la vitesse du vent dépasse 15 à 25 km/heure (ou 4 à 7 m/sec.), selon la turbulence de l'air, trois processus peuvent être observés (figure 6) selon De Ploey (1980), Mainguet (1983) et Heusch (1988).

- **La saltation** de sables fins (0,1 à 0,5 mm): ce sont les nappes de sable soulevées par vent violent qui circulent sur plusieurs dizaines de mètres sur des surfaces lisses et laissent au sol des nappes de sables ridées (ripplemarks) ou des petites buttes de sable piégées dans les touffes de végétation. Ce sont ces nappes de sable qui flagellent les rochers dans les zones désertiques et leur donnent une forme caractéristique de champignon (corrasion). Elles provoquent de gros dégâts sur les végétaux.
- **La déflation** entraîne le départ en suspension des particules légères du sol (argiles, limons et matières organiques). Ces poussières sont aspirées par les tourbillons jusqu'à plusieurs milliers de mètres d'altitude pour être ensuite dispersées sous forme de brume sèche ou pour circuler sous forme de nuage sur plusieurs milliers de kilomètres. Ce sont les limons éolisés, arrachés aux steppes périglaciaires qui ont formé les loess; ce sont les poussières du Sahara qui se déposent à Montpellier trois fois l'an et à Paris une à deux fois par an.
- **La reptation.** Les grains de sable (0,5 à 2 mm), trop lourds pour être aspirés en altitude, sont déséquilibrés par les bourrasques du vent, roulés et traînés à la surface du sol jusqu'en haut des dunes qui progressent ainsi de quelques mètres par heure de vent violent.

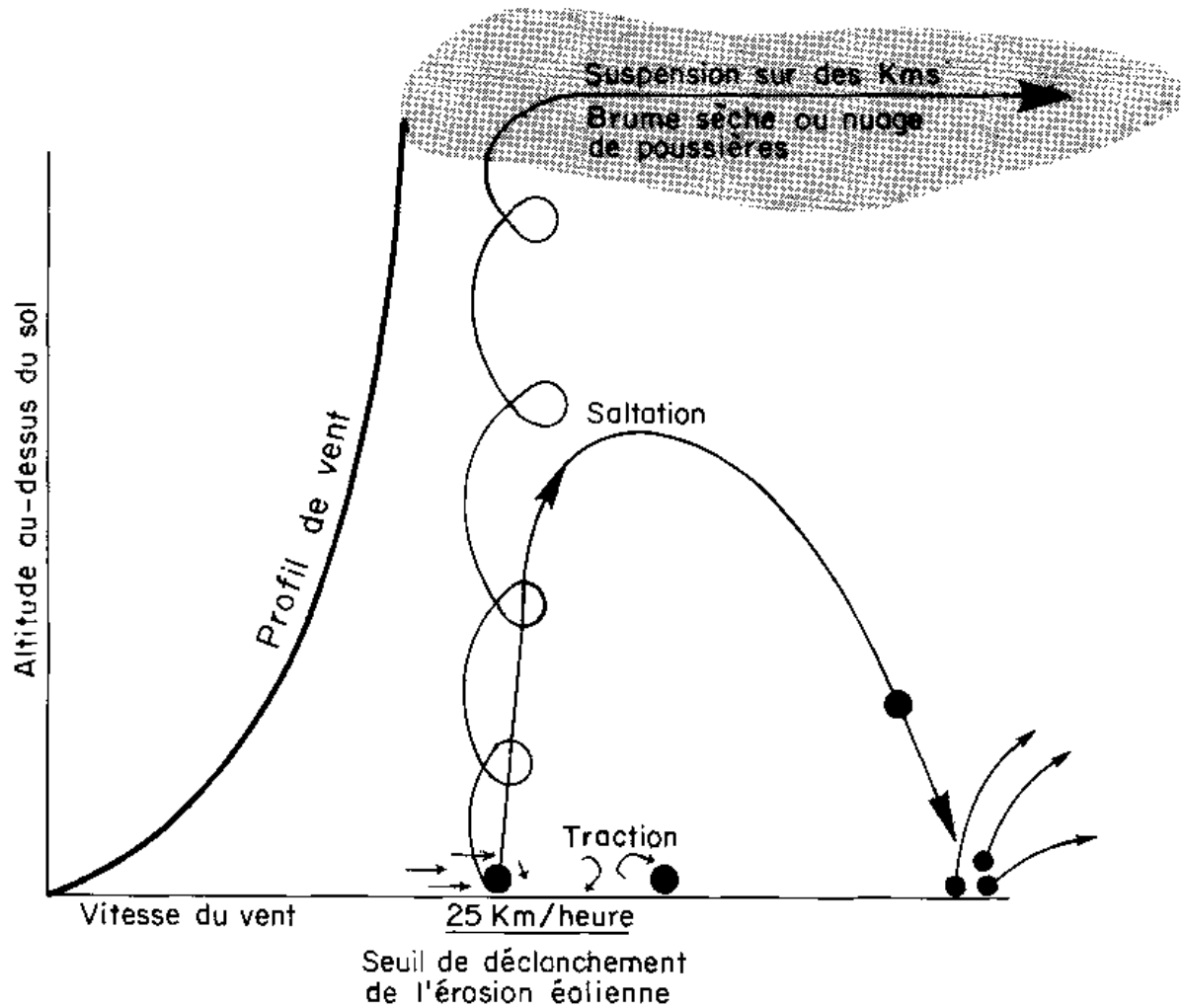


Fig.6 : Le processus d'érosion éolienne (Eric Roose, 1994)

L'érosion éolienne peut se produire de différentes manières, avec des facteurs modifiant son importance. Trois des principales formes d'érosion éolienne sont:

Suspension: Des nuages de limons impalpables (par exemple, des poussières en saison sèche, également appelées "dust bowl") peuvent être transportés jusqu'à une altitude de 10 km sur des centaines de kilomètres de distance.

Saltation: Les grains de sable fins ayant un diamètre d'environ 100 microns peuvent sauter sur la surface du sol, causant de gros dégâts tels que des dunes mouvantes et des dégâts aux végétaux.

Traction à la surface du sol: Les sables grossiers peuvent rouler à la surface des dunes, causant des voiles de sable.

L'importance de l'érosion éolienne peut varier en fonction de divers facteurs, tels que la vitesse et la direction du vent, la nature du sol, la couverture végétale et l'activité humaine.

6.3 Effets et importance de l'érosion éolienne

L'érosion éolienne peut avoir plusieurs effets négatifs sur l'environnement et les activités humaines, notamment :

- Dégradation des sols : L'érosion éolienne peut enlever la couche arable des sols, réduisant ainsi leur fertilité et leur capacité à supporter la végétation.
- Perte de la biodiversité : La destruction de la couverture végétale par l'érosion éolienne peut entraîner la perte d'habitats pour les plantes et les animaux, ce qui peut conduire à la perte de biodiversité.
- Désertification : L'érosion éolienne peut contribuer à la désertification, c'est-à-dire à la transformation d'une zone habitable en un désert.
- Dommages aux infrastructures : Les vents violents soulevant des grains de sable peuvent endommager les infrastructures, telles que les routes, les ponts, les bâtiments et les équipements.
- Problèmes de santé : Les particules en suspension dans l'air peuvent être inhalées, entraînant des problèmes de santé, tels que des maladies respiratoires et des allergies.
- Perte de terres cultivables : L'érosion éolienne peut entraîner la perte de terres cultivables, ce qui peut avoir des conséquences négatives sur les communautés agricoles locales.

En somme, l'érosion éolienne peut avoir des impacts très significatifs sur les écosystèmes et les communautés locales, et il est important de mettre en place des stratégies pour la prévenir et la contrôler.

- Les facteurs modifiant l'importance de l'érosion éolienne

Il existe plusieurs facteurs qui peuvent modifier l'importance de l'érosion éolienne, notamment :

- Les conditions climatiques : la force et la fréquence des vents, la sécheresse et la température peuvent tous affecter la quantité d'érosion éolienne.

- La topographie : la forme et l'orientation de la surface du sol peuvent affecter la vitesse et la direction du vent, ainsi que l'accumulation de sédiments.
- La nature du sol : la texture, la structure, la porosité et la stabilité du sol peuvent tous influencer l'importance de l'érosion éolienne.
- La couverture végétale : la présence de végétation peut réduire l'impact du vent sur le sol, en le stabilisant et en le protégeant contre l'érosion éolienne.
- Les activités humaines : les pratiques agricoles, le surpâturage, l'urbanisation et l'exploitation minière peuvent tous augmenter l'exposition du sol à l'érosion éolienne en réduisant la couverture végétale et en perturbant la structure du sol.

6.4 Estimation de l'érosion éolienne et méthode de prévention

A. Estimation de l'érosion éolienne

L'estimation de l'érosion éolienne dépend de plusieurs facteurs tels que la vitesse du vent, la texture du sol, la densité de la végétation, la topographie et la couverture du sol.

Il existe plusieurs méthodes pour estimer l'érosion éolienne, parmi lesquelles :

- ✚ Les mesures directes de la quantité de sédiments érodés à partir de surfaces exposées au vent, par exemple, à l'aide de collecteurs de sédiments ou de dispositifs de pesée de perte de sol ;
- ✚ Les modèles mathématiques basés sur les conditions météorologiques, les caractéristiques du sol et de la végétation, ainsi que la topographie ;
- ✚ Les méthodes indirectes telles que l'observation des impacts de l'érosion éolienne sur l'environnement, comme la formation de dunes ou la dégradation de la qualité des sols.

Ces méthodes peuvent être utilisées seules ou en combinaison pour obtenir une estimation plus précise de l'érosion éolienne dans une zone donnée.

-Mesure du flux horizontal d'érosion éolienne

Les pièges à sable de type BSNE (Big Spring Number Eight) sont considérés comme très efficaces pour estimer l'érosion éolienne, avec un taux de capture des particules proche de 100% selon une étude menée par A. EL MEDHI et D.W. FRYREAR en 1986. Ces pièges sont constitués d'un entonnoir de captage relié à un cylindre de stockage, permettant de

collecter les particules transportées par le vent sur une période donnée. Les quantités de sable collectées sont ensuite mesurées pour estimer le taux d'érosion éolienne dans la zone d'étude.

Les mâts des pièges à sable de type BSNE ont permis de suivre le flux horizontal de manière quasi continue. Chaque mât supporte trois BSNE superposés, le centre des ouvertures se trouvant respectivement à 5, 15 et 30 cm du sol (Photo 2)

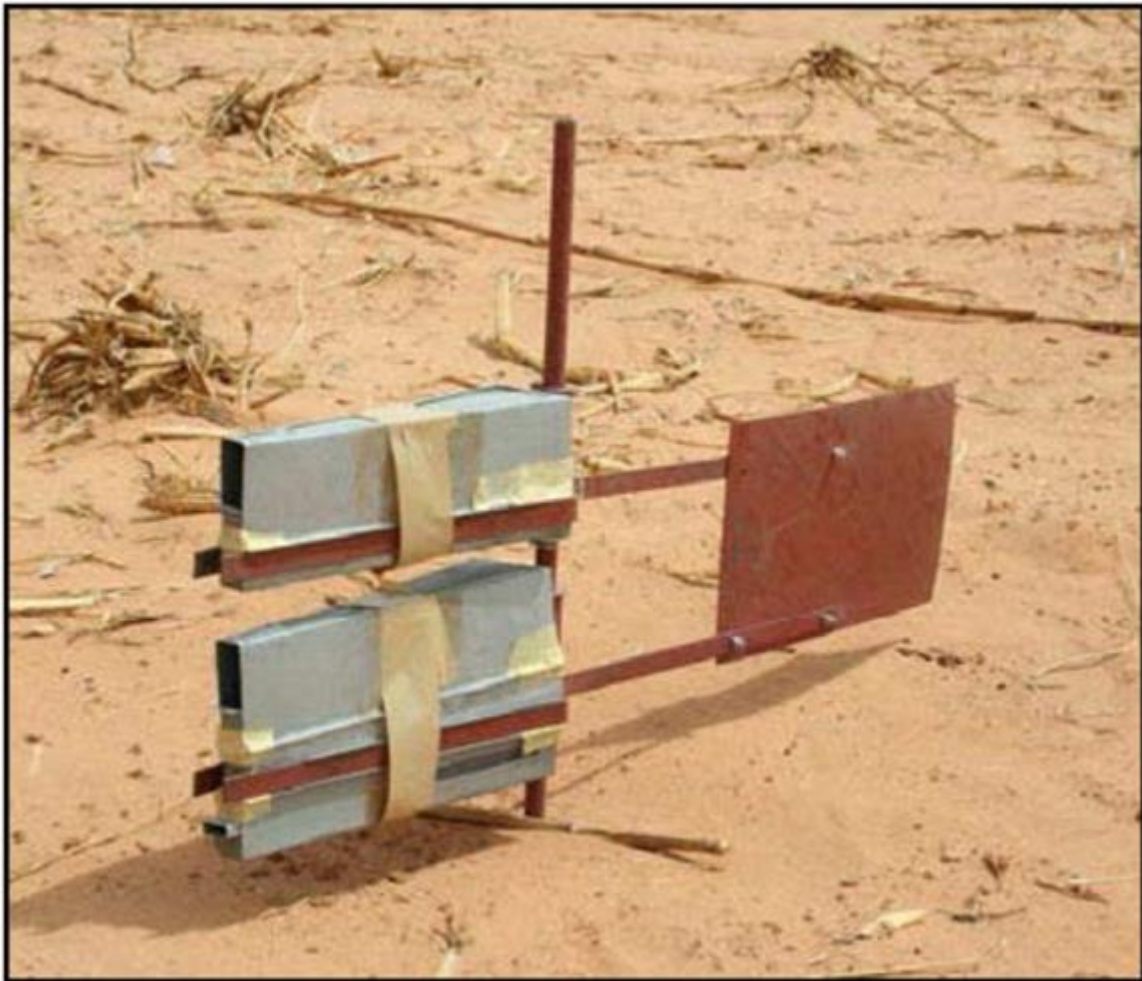


Fig.7 : Trois BSNE étagés sur un mât installé dans le champ PI. (clichés : Amadou ABDOURHAMANE TOURÉ)

Les sédiments piégés dans les BSNE ont été collectés après chaque événement érosif. Ces sédiments ont ensuite été séchés et pesés. Une densité de flux (Q , en kg/m^2) est déterminée à chaque BSNE en divisant la masse de sédiments collectés par la surface de l'ouverture du capteur. Cette densité de flux est liée à la hauteur au-dessus du sol des ouvertures des BSNE par une équation de type puissance (D.W. FRYREAR et al., 1991 ; J.E. STOUT et T.M ZOBECK, 1996 ; G. STERK et P.A.C. RAATS, 1996) :

$$Q(z) = a(z + 1)^b$$

a : la densité du flux aux niveau du sol(kg/m²).

z : la hauteur au-dessus du sol(m).

b : un paramètre dimensionnel (moyen de -14.43 ±3.80)

Le flux horizontal (Fh, exprimé en kg/m – mètre-linéaire parallèle au sol et perpendiculaire à la direction du vent) a été calculé en intégrant la densité de flux en fonction de la hauteur (0 à 40 cm) (J.L. RAJOT, 2001 ; C.L. BIELDERS et al., 2002 ; A. ABDOURHAMANE TOURÉ et al., 2011) :

$$Fh = \int_0^{0.4} Q(z) = \frac{a}{b+1} [(0.4+1)^{(b+1)} - 1]$$

Avec la même légende de l'équation 1

La tranche considérée au-dessus du sol concentre l'essentiel des transports de particules par saltation. La démarche comporte un léger biais, puisqu'elle considère que la variation du flux en fonction de la hauteur est linéaire au niveau de chaque ouverture des BSNE. Ce biais est minimisé du fait de la hauteur réduite de l'ouverture inférieure (1 cm, contre 5 cm pour les deux autres, toutes ayant une largeur de 2 cm).

L'érosion éolienne potentielle

Le Dust Uplift Potential (DUP) est une mesure de l'érosivité des vents, qui est déterminée à partir des vitesses de vent mesurées. Le DUP est utilisé pour évaluer le potentiel d'érosion éolienne dans une zone donnée et pour étudier la variabilité temporelle de ce potentiel.

Le calcul du DUP implique la mesure de la vitesse du vent à différentes hauteurs, ainsi que la densité de l'air, la rugosité du sol et la taille des particules de poussière présentes dans l'air. Le DUP peut ensuite être calculé en utilisant des modèles mathématiques qui prennent en compte ces facteurs.

La variabilité temporelle du DUP peut être influencée par divers facteurs, tels que les conditions météorologiques, la saison, la couverture végétale, la topographie et les activités humaines. Par exemple, les vents forts et secs peuvent augmenter le DUP, tandis que la présence de couverture végétale peut réduire le DUP en agissant comme une barrière contre l'érosion éolienne.

$$DUP_i = U^3 \left(1 + \frac{U_t}{U}\right) \left(1 - \frac{U_t^2}{U^2}\right)$$

i : est la période de 5 minutes

U : la vitesse maximale du vent (m/s) sur ces 5 minutes

U_t : la vitesse seuil d'érosion (m/s)

$DUP_i = 0$ si $U_t > U$.

$$U_t(z) = \frac{U_t^*}{k} \left(\ln + \frac{z}{z_0} \right)$$

Où :

$U_t(z)$ est la vitesse seuil à la hauteur z (m/s)

U_t^* la vitesse de friction seuil (m/s)

$K=0.4$ la constance de Von Karman et

Z_0 la hauteur de rugosité aérodynamique (m)

La somme des DUP calculés sur chaque période de cinq minutes fournit une valeur globale. Toutefois les épisodes de pluie d'une hauteur minimale de 1 mm ainsi que les 12 heures suivantes, n'ont pas été prises en compte, l'érosion éolienne étant alors inhibée du fait de l'humidité des sols (G. BERGAMETTI *et al.*, 2016).

En résumé, le DUP est une mesure importante de l'érosivité des vents et peut être utilisé pour caractériser l'érosion éolienne potentielle et sa variabilité temporelle dans une zone donnée.

2. les méthodes de prévention

A. Techniques de lutte contre l'érosion éolienne

A.1. Les brise-vents

Les brise-vents sont des barrières physiques constituées de plantations d'arbres, d'arbustes, de haies ou de murs, qui sont utilisées pour réduire la vitesse du vent et minimiser les effets de l'érosion éolienne. Les brise-vents peuvent être installés autour des zones vulnérables telles que les cultures agricoles, les habitations, les routes ou les zones industrielles.

Les brise-vents peuvent réduire la vitesse du vent et protéger les cultures agricoles contre l'érosion éolienne et d'autres effets néfastes du vent, tels que le dessèchement et le stress hydrique. Ils peuvent également aider à réduire la consommation d'eau en minimisant l'évapotranspiration.

Les brise-vents peuvent être conçus pour s'adapter à différentes conditions climatiques et topographiques, ainsi qu'à différents types de sols et de cultures. Ils peuvent être constitués d'espèces d'arbres et d'arbustes spécifiques qui sont adaptées aux conditions locales et qui sont capables de résister aux vents forts.

L'installation de brise-vents nécessite une planification et une conception minutieuses, notamment en ce qui concerne la hauteur, la densité et la disposition des plantations. Les brise-vents doivent être entretenus régulièrement pour garantir leur efficacité et éviter leur détérioration.

Les espèces adaptées sont constituées d'arbres, arbustes, herbacées tels que : *Azadirachta indica*, *Acacia seyal*, *Acacia senegal*, *Euphorbia balsamifera*, *Commiphora africana*, *Leptadenia pyrotechnica*, *Tamarix articulata* et *Bauhinia rerufescens*, qui fournissent le type de couvert résistant à la sécheresse et au vent. Ce sont des espèces qui disposent des caractéristiques telles que:

- ✓ Les feuilles persistantes;
- ✓ La croissance rapide;
- ✓ L' encombrement réduit;
- ✓ Le système racinaire tel que la concurrence des racines soit limitée.

A.2 la fixation des dunes

La fixation des dunes est une technique utilisée pour prévenir l'érosion éolienne des dunes et la migration des sables vers des zones sensibles telles que les zones agricoles, les villes, les

routes et les zones industrielles. Voici quelques-unes des techniques couramment utilisées pour la fixation des dunes :

Plantation de végétation dunaire : Les plantes telles que l'oyat, le panicaut et le roseau contribuent à la fixation des dunes en stabilisant le sable grâce à leurs racines profondes. Ces plantes permettent également de réduire la vitesse du vent et de minimiser l'érosion éolienne.

Installation de barrières physiques : Des barrières physiques telles que les filets de protection, les clôtures, les murs et les haies peuvent être installées pour réduire la vitesse du vent et **minimiser l'érosion éolienne.**

Aménagement des zones de passage : Les zones de passage peuvent être aménagées pour minimiser l'érosion éolienne. Les chemins et les routes peuvent être construits en utilisant des matériaux tels que le gravier, le béton ou le bitume, qui sont moins sensibles à l'érosion éolienne.

Protection de la couche arable : La couche arable peut être protégée en utilisant des matériaux tels que le paillis, le fumier, le compost et les engrais verts. Ces matériaux permettent de minimiser l'érosion éolienne en maintenant la stabilité du sol.

Il est important de noter que la fixation des dunes ne doit pas être considérée comme une solution définitive à l'érosion éolienne. Les techniques de fixation des dunes doivent être intégrées dans une approche plus globale de gestion des zones côtières et des écosystèmes, en prenant en compte les aspects écologiques, sociaux et économiques.

Les haies vives sont des barrières végétales constituées d'une variété d'arbustes et d'arbres. Elles sont souvent utilisées comme moyen de protection contre l'érosion éolienne et hydrique, ainsi que pour fournir un habitat pour la faune et améliorer la qualité de l'air et de l'eau.

A.3. Les haies vives

Les haies vives peuvent réduire la vitesse du vent, minimiser l'érosion éolienne et protéger les sols contre l'érosion hydrique. Elles peuvent également aider à réduire l'impact des températures extrêmes en fournissant de l'ombre et en régulant la température locale.

En plus de leur rôle en matière de protection de l'environnement, les haies vives peuvent également être utilisées dans l'agriculture pour améliorer la qualité du sol et augmenter la

biodiversité. Les haies vives peuvent fournir de la nourriture et un habitat pour les animaux utiles tels que les abeilles, les papillons et les oiseaux, qui peuvent contribuer à la pollinisation des cultures et à la lutte contre les ravageurs.

Les haies vives peuvent être plantées dans une grande variété d'environnements, y compris les zones urbaines et rurales. Elles peuvent être utilisées pour délimiter les propriétés, les routes et les zones industrielles, ainsi que pour créer des corridors de faune.

Cependant, la conception et la mise en place de haies vives nécessitent une planification minutieuse en fonction des conditions locales et de l'objectif recherché. Il est important de choisir les espèces d'arbres et d'arbustes adaptées aux conditions du sol et du climat local, ainsi que de prévoir un entretien régulier pour garantir leur efficacité.

Il existe une grande variété d'espèces d'arbustes et d'arbres qui peuvent être utilisées pour créer des haies vives. Le choix des espèces dépend de la région, du climat, du sol et de l'objectif recherché pour la haie. Voici quelques exemples d'espèces couramment employées pour la création de haies vives :

- Le troène (*Ligustrum vulgare*) : Cette espèce est populaire pour les haies vives car elle pousse rapidement et forme une haie dense. Elle tolère bien la taille et peut être utilisée pour créer des haies hautes.
- L'aubépine (*Crataegus monogyna*) : Cette espèce est résistante et pousse bien dans une variété de sols. Elle peut être utilisée pour créer des haies hautes ou basses et fournit une nourriture et un habitat pour les oiseaux.
- Le noisetier (*Corylus avellana*) : Cette espèce est populaire pour les haies basses et peut être utilisée pour créer des haies coupe-vent. Les noisetiers fournissent également de la nourriture pour les animaux.

- Le saule (*Salix spp.*) : Les saules peuvent être utilisés pour créer des haies basses et fournissent de l'ombre et un habitat pour les oiseaux et autres animaux.
- Le fusain d'Europe (*Euonymus europaeus*) : Cette espèce produit des baies rouges décoratives en automne et peut être utilisée pour créer des haies hautes ou basses.
- Le sureau (*Sambucus spp.*) : Les sureaux produisent des fleurs blanches ou roses en été et des baies noires en automne. Ils peuvent être utilisés pour créer des haies basses ou des haies mixtes.

- Le cornouiller sanguin (*Cornus sanguinea*) : Cette espèce produit des baies rouges en automne et peut être utilisée pour créer des haies basses ou mixtes.

Il est important de noter que certaines espèces peuvent être invasives dans certaines régions. Il est donc important de vérifier auprès des autorités locales avant de choisir les espèces à planter pour éviter d'introduire des espèces envahissantes.

A.4. Les cultures en bandes enherbées

Les bandes enherbées sont un couvert végétal souvent utilisé en bordure de cours d'eau, en rupture de pente ou autour des parcelles agricoles pour prévenir l'érosion des sols et les transferts de produits phytosanitaires vers les cours d'eau. Elles sont également utilisées pour fournir des habitats pour la faune sauvage, notamment les auxiliaires et le gibier. Les bandes enherbées peuvent également améliorer la qualité de l'eau en filtrant les nutriments et les polluants avant qu'ils n'atteignent les cours d'eau. En plus de leurs avantages environnementaux, les bandes enherbées peuvent également être utilisées pour produire de la nourriture pour les animaux, tels que le foin pour le bétail ou la faune sauvage.

Intérêt des bandes enherbées

Les bandes enherbées sont souvent utilisées pour améliorer la qualité de l'environnement et protéger les écosystèmes naturels. Voici quelques avantages courants des bandes enherbées :

- ✓ **Réduire l'érosion** : Les bandes enherbées peuvent réduire l'érosion des sols en agissant comme un filtre naturel pour l'eau qui ruisselle.
- ✓ **Favoriser la biodiversité** : Les bandes enherbées peuvent fournir un habitat pour une variété d'espèces sauvages, y compris les insectes pollinisateurs et les petits animaux.
- ✓ **Améliorer la qualité de l'eau** : Les bandes enherbées peuvent réduire la quantité de nutriments et de polluants dans l'eau qui ruisselle dans les cours d'eau et les rivières.
- ✓ **Réduire la consommation d'énergie** : Les bandes enherbées peuvent aider à réduire la consommation d'énergie en réduisant les besoins en irrigation et en limitant la nécessité de tondre les surfaces.
- ✓ **Améliorer l'attrait esthétique** : Les bandes enherbées peuvent ajouter une touche de beauté naturelle à une zone paysagère, en particulier lorsqu'elles sont combinées avec d'autres éléments paysagers tels que des plantes vivaces, des arbustes ou des arbres.

A.5. Travail du sol

En effet, le mode de préparation du sol pour la culture en fin de saison sèche peut avoir un impact significatif sur l'emprise du vent. Si le sol est labouré de manière intensive, cela peut provoquer une dégradation de la structure du sol, ce qui peut entraîner une augmentation de l'érosion éolienne.

Lorsque le sol est labouré, il est remué et exposé à l'air, ce qui peut entraîner un dessèchement de la couche supérieure du sol. Si le sol est sec et sans couverture végétale, cela peut favoriser la formation de poussière et de sable qui peuvent être facilement emportés par le vent.

En revanche, si le sol est travaillé de manière à conserver une couverture végétale ou à laisser une partie de la récolte en place, cela peut aider à retenir le sol en place et à réduire l'érosion éolienne. Il est également possible de recourir à des techniques de conservation des sols, comme le semis direct, qui permettent de minimiser le travail du sol et de préserver la couverture végétale.

En somme, il est important de choisir la méthode de travail du sol qui convient le mieux aux conditions locales et qui permet de minimiser les impacts négatifs de l'érosion éolienne sur le sol et l'environnement.

Le brûlis

Le brûlis est une méthode agricole traditionnelle qui consiste à brûler la végétation naturelle d'une zone pour préparer le sol pour la culture. Cette technique est souvent utilisée dans les régions tropicales où les sols sont pauvres en nutriments et où la déforestation est courante.

Le brûlis peut avoir des avantages pour l'agriculture, notamment en débarrassant le sol des débris végétaux, en libérant des nutriments et en favorisant la germination des graines. Cependant, il présente également des risques importants pour l'environnement.

Lorsque la végétation est brûlée, cela peut provoquer une perte importante de biodiversité, ainsi que la destruction d'habitats naturels. De plus, les incendies peuvent se propager rapidement et causer des dommages à des zones non destinées à être brûlées, comme les forêts, les champs et les habitations.

Le brûlis peut également avoir des impacts négatifs sur le climat. Lorsque la végétation est brûlée, cela libère du dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère, contribuant ainsi au changement climatique. De plus, les feux peuvent causer une augmentation de la température et de la pollution de l'air, ce qui peut affecter la santé des populations locales.

En somme, le brûlis peut avoir des avantages pour l'agriculture, mais il présente également des risques importants pour l'environnement et la santé humaine. Il est donc important d'utiliser des techniques alternatives plus durables pour préparer le sol pour la culture, telles que l'agroforesterie, la culture en bande ou le semis direct.

La rotation des cultures

La rotation des cultures est une technique agricole importante qui consiste à cultiver différents types de cultures sur une même parcelle de terre sur une période de plusieurs années. Elle peut aider à préserver la fertilité du sol et à réduire les maladies et les ravageurs.

Voici quelques avantages de la rotation des cultures :

- ✓ Préservation de la fertilité du sol : Les différentes cultures ont des besoins différents en nutriments. En alternant les cultures, on peut éviter l'appauvrissement des sols et maintenir un équilibre des nutriments dans le sol.
- ✓ Réduction des maladies et des ravageurs : Les maladies et les ravageurs ont tendance à se développer sur une seule culture sur une longue période. En alternant les cultures, on peut réduire la propagation de maladies et de ravageurs spécifiques à une culture particulière.
- ✓ Réduction de l'érosion : La rotation des cultures peut aider à maintenir la couverture végétale sur le sol, ce qui réduit l'érosion due au vent et à l'eau.
- ✓ Diversification des revenus agricoles : La rotation des cultures peut permettre aux agriculteurs de cultiver une variété de cultures et de diversifier leurs sources de revenus.

En somme, la rotation des cultures est une technique agricole bénéfique pour la santé du sol, la gestion des maladies et des ravageurs, la réduction de l'érosion et la diversification des revenus agricoles.

B. Méthodes de lutte contre l'érosion éolienne

B.1 Réduire la vitesse du vent à la surface des sols

Les principales techniques pour réduire la vitesse du vent à la surface des sols sont entre autre les brise-vents, le paillage, l'augmentation de la rugosité du sol par travail du sol, le maintien d'une litière ou couverture végétale

B.2 Augmentation de la cohésion du sol

En augmentant la cohésion du matériau, ces techniques peuvent aider à réduire l'érosion, à améliorer la qualité du sol et à favoriser la croissance des plantes. ces techniques visent à augmenter la cohésion du matériau du sol, ce qui peut aider à limiter l'érosion éolienne et hydrique et améliorer la qualité du sol pour la croissance des plantes.

Création de mottes par labour : Le labour peut créer des mottes dans le sol, ce qui augmente la cohésion du matériau et réduit la susceptibilité à l'érosion. Les mottes peuvent également améliorer l'infiltration de l'eau dans le sol en créant des canaux pour permettre à l'eau de s'infiltrer plus profondément. et Humidification du sol par irrigation ainsi que l'apport d'amendements organiques

✓ Amélioration de la structure du sol

Il existe plusieurs méthodes pour améliorer la structure du sol. L'ajout de matière organique est une méthode très efficace. La matière organique peut être ajoutée sous forme de compost, de fumier, de feuilles mortes ou de paille, entre autres. La matière organique améliore la structure du sol en améliorant sa texture, sa porosité et sa capacité à retenir l'eau et les nutriments. Elle fournit également des nutriments aux plantes et stimule l'activité microbienne bénéfique dans le sol.

✓ Limitation de l'érosion des sols

L'érosion des sols peut causer des dommages environnementaux importants, notamment la perte de nutriments et la diminution de la fertilité du sol, la pollution des eaux souterraines, la détérioration des habitats naturels et la diminution de la qualité de l'air. Il existe plusieurs méthodes pour limiter l'érosion des sols

B.3 Augmentation de la rugosité de la surface du sol

L'augmentation de la rugosité de la surface du sol peut avoir des effets sur plusieurs aspects, tels que l'érosion, la rétention d'eau et la croissance des plantes. En général, une surface plus rugueuse aura tendance à ralentir le débit de l'eau et à augmenter la capacité de rétention d'eau dans le sol. Cela peut être bénéfique pour les plantes qui ont besoin d'eau pour leur croissance, car une plus grande quantité d'eau sera disponible pour les racines.

De plus, l'augmentation de la rugosité de la surface du sol peut aider à réduire l'érosion en ralentissant le mouvement de l'eau sur le sol. Si le sol est trop lisse, l'eau peut s'écouler rapidement et emporter avec elle une partie du sol. Une surface plus rugueuse peut également permettre à une plus grande quantité de nutriments et de matière organique de rester dans le sol, ce qui peut améliorer la qualité du sol et favoriser la croissance des plantes.

Il existe plusieurs moyens d'augmenter la rugosité de la surface du sol, tels que le labourage, le nivellement, le paillage, l'ajout de matière organique et la plantation de couvre-sol. Cependant, il est important de prendre en compte les avantages et les inconvénients de chaque méthode avant de décider laquelle utiliser. Par exemple, le labourage peut être bénéfique pour augmenter la rugosité du sol, mais il peut également perturber la structure du sol et affecter négativement sa qualité à long terme.

B.4 Augmentation du couvert végétal

L'augmentation du couvert végétal peut avoir de nombreux avantages pour l'environnement et la qualité de vie humaine. Elle peut contribuer à réduire l'érosion du sol, à augmenter la biodiversité, à améliorer la qualité de l'air, à réguler le climat local, à améliorer la qualité de l'eau et à créer des habitats pour la faune sauvage.

Lorsque la couverture végétale est dense, les racines des plantes peuvent aider à maintenir le sol en place, en réduisant l'érosion causée par le vent et la pluie. Les plantes absorbent également le dioxyde de carbone de l'air et libèrent de l'oxygène, contribuant ainsi à améliorer la qualité de l'air. La végétation peut également réduire la température locale en créant de l'ombre et en évapotranspirant l'eau.

En outre, la couverture végétale peut jouer un rôle important dans la régulation du cycle de l'eau en réduisant le ruissellement et en augmentant la capacité de rétention d'eau du sol. Cela peut contribuer à réduire les risques d'inondation et de sécheresse.

Référence bibliographique

- Barro, S. E. (1995). Notes de cours sur la conservation des eaux et des sols. EIER, 48 pp.
- Bertons, S. (1988). Le point sur « La maîtrise des crues dans les bas-fonds. Petits et microbarrages en Afrique de l'Ouest ». Dossier n°12. GRET, Agence de Coopération Culturelle et Technique, Ministère de la Coopération Française.
- Bertrand, R. (1993). Etude des sols dans les paysages du haut bassin versant de Rbeira Seca (Santiago, Cap vert). CIRAD. Montpellier.
- Bonfils, M. (1987). Halte à la désertification au Sahel. Guide méthodologique.
- CIEH. (1989). Les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du Sahel. CIEH, Edition provisoire, Ouagadougou, Octobre 1989.
- CILSS/PRECONS. (1997). Manuel des techniques de conservation des eaux et des sols (CES) au Sahel.
- CMDT. (1995). Erosion et lutte anti-érosive. Module de formation et fiches techniques. Mali.
- Coulibaly, S. (1994). La conservation des eaux et des sols au Burkina Faso. CILSS/PRECONS, Antenne du Burkina Faso.
- CTA. (1985). La défense des sols contre l'érosion sous les tropiques. Agrodok 11, Agromisa, Wageningen. (Hil Kuypers, Anne Mollema, Egger Topper).
- CTFT. (1979). Conservation des sols au sud du Sahara. Ministère de la coopération, République française. 2ème édition. Collection « Techniques rurales en Afrique ». 297 pp.
- CTFT. (1989). Memento du forestier. Nogent sur Marne. 72 pp.
- Doro, T. T. (1991). La conservation des Eaux et des Sols au Sahel: L'expérience de la province du Yatenga (Burkina Faso). CILSS, Burkina Faso. 77 pp.
- FAO. (1979a). Aménagement des bassins versants. Cahier FAO Conservation N°1. 356 pp.
- FAO. (1979b). Techniques spéciales de conservation. Cahier FAO Conservation N°4. 104 pp.

FAO. (1980). Techniques hydrologiques de conservation des terres et des eaux en montagne. Cahier FAO Conservation N°2. 136 pp.

FAO. (1983). Directives pour la lutte contre la dégradation des sols. 40 pp. Napoli.

FAO. (1986). Brise-vent et rideaux-abri avec référence particulière aux zones sèches. Cahier FAO Conservation N°15. 385 pp.

FAO. (1988a). Manuel de fixation des dunes. Cahier FAO Conservation N°18. 68 pp.

FAO. (1988b). Aménagement des bassins versants. Mesures et pratiques de traitement des pentes. Cahier FAO conservation N° 13/3. 156 pp.

FAO. (1993). Manuel de terrain pour l'aménagement des bassins versants. Techniques de traitement des pentes. Cahier FAO Conservation N°13/3.

Ministère de la Coopération et du développement. (1991). Mémento de l'Agronome. 4ème édition. Collection « Techniques rurales en Afrique ». France.

PATECORE. (1993). Fiches techniques en conservation des eaux et des sols. Cellule Formation/vulgarisation. Kongoussi, Burkina Faso.

Reij, C., Scoones, I., & Toulmin, C. (1996). Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique. CTA-CDS-KARTHALA.

Rochette, R. M. (1989). Le Sahel en lutte contre la désertification. Leçons d'expérience. CILSS/GTZ. Margaf.

Rodier, J., & Auvray, C. (1965). Les relations pluie-débit à l'échelle du bassin versant. La Houille Blanche, (4), 469-484.

Roose, E. (1977). Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Travaux et documents de l'ORSTOM 78.

Roose, E. (1992). La gestion conservatoire de l'eau et la fertilité des sols : une nouvelle stratégie pour l'intensification de la production et la restauration de l'environnement en montagne. Réseau Erosion, Bulletin N°12. ORSTOM.

Roose, E. (1994). Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (CGES). Bulletin Pédologique N° 70. FAO. Rome.

Roose, E. (1994). Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bulletin pédologique de la FAO, 70. Service des sols - ressources, aménagement et conservation, Division de la mise en valeur des terres et des eaux.

Schmitt, A. (1992). Hydraulique Agricole. L'Eau, le Sol, la Plante : Conservation des eaux et des sols. EIER.

Sidibe, T. (1994). Les techniques de Conservations des Eaux et des Sols/Défense et Restauration des sols au Mali. CILSS/PRECONS, Antenne du Mali.

Toudjani, Z. (1997). Manuel de Fixation des Dunes. Service de la Sylviculture et de la Restauration des terres. Ministère de l'Hydraulique et de l'Environnement. République du Niger.

Yacouba, H., Abba, M., & Seydou, M. A. (1998). Effets des techniques traditionnelles de gestion des eaux sur la disponibilité hydrique des sols de glaciais (Article à paraître dans les annales de l'Université de Niamey).