

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département Science et Technologie



Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de Master en : Hydraulique
Domaine : Science et Technologie
Filière : Hydraulique
Spécialité : Hydraulique
Thème

Protection des ouvrages hydraulique contre l'érosion

Présenté Par :

- 1) Mr Hassaine Mohamed
- 2) Melle Belmadani Mounia

Devant le jury composé de :

Dr Benaicha Mohamed	M C A	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Président
Dr Guendouz Bouhelal	M C A	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
Dr Nehari Abderrahmane	M C A	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant

Année Universitaire 2024/2025

Table des matières

Table des figures

Remerciement

Dédicace

Résumé

Chapitre 01: Généralités sur l'érosion hydraulique.....	1
1. Définition de l'érosion.....	1
2. Définition de l'érosion hydrique.....	1
3. Les différents types de l'érosion hydrique.....	1
3.1. L'érosion géologique.....	1
3.2. L'érosion accélérée.....	2
4. Les processus de base et typologie de l'érosion hydrique.....	2
4.1. Le détachement et le transport.....	2
4.1.1. L'impact des gouttes de pluies (splash)	2
4.1.2. Caractéristiques du sol.....	3
4.1.3. La force tractrice des écoulements (ruissellement).....	3
4.2. La sédimentation.....	3
5. Erosion laminaire.....	3
5.1. L'érosion en rigoles.....	4
5.2. Erosion en ravines	5
5.3. Les mouvements de masses.....	6
5.4. Le sapement des berges.	6
6. Les causes de l'érosion hydraulique.....	6
6.1. Facteurs naturels.....	6
6.2. Facteurs anthropique.....	8
6.3. Les facteurs liés aux activités agricoles	9
7. Conséquences de l'érosion hydrique.....	10
7.1. Diminution du bilan hydrique.....	10
7.2. Sol pauvre en éléments fertilisants.....	10

7.3. Terre inaccessible (bad-lands).....	10
--	----

Chapitre 02 : L'érosion accéléré.....11

Introduction.....	11
1. Types d'ouvrages hydrauliques menacés par l'érosion	11
2. Types d'érosion et risques associés.....	12
3. Mécanismes d'Érosion.....	24
1. Érosion Hydrique.....	25
2. Érosion Éolienne.....	25
3. Érosion Glaciaire.....	26
4. Érosion Gravitaire.	26
4. Facteurs Contributifs.....	27
5. Quantification d'érosion accélérée	27
1. Mesure Directe sur le Terrain.....	28
2. Techniques Géophysiques.....	28
3. Analyses Sédimentaires.....	28
4. Modélisation et Simulation.....	28
5. Observation Aérienne et Satellite.....	28
6. Techniques de Datation.....	28
7. Suivi Hydrologique et Hydraulique.....	29
6. Risques d'érosion autour des ouvrages hydrauliques.....	29
1. Risque de Rupture et de Défaillance Structurale.....	29
2. Augmentation des Risques d'Inondation.....	29
3. Dégradation des Infrastructures Adjacentes.....	29
7. Perte de Sol et de Terres Agricoles.....	30
8. Mesures de Prévention et de Gestion.....	30

Chapitre 03 : Moyens de protection contre l'érosion.....31

Introduction.....	31
1. Méthodes préventive contre l'érosion.....	31
1. Méthodes de Génie Civil.....	32

II.	Méthodes de Génie Végétal.....	32
1.1.	Méthodes de Gestion des Eaux.....	33
III.	Techniques de Stabilisation des Sols.....	34
IV.	Stratégie de gestion intégrée	35
2.	Méthodes après l'érosion.....	35
1.	Réhabilitation Végétale.	36
2.	Techniques de Génie Civil.....	36
3.	Stabilisation et Renforcement des Sols.....	36
4.	Techniques de Gestion des Eaux.....	37
5.	Surveillance et Maintenance.....	37
6.	Education et Sensibilisation.....	37
	Chapitre 04 : Présentation de la zone d'étude.....	39
1.	Introduction	39
2.	Historiques d'Ain-Témouchent.....	39
3.	Vue d'Ensemble de la Ville.	39
4.	Localisation Géographique	41
5.	Enquête sur les ouvrages hydrauliques	41
6.	Recensement	44
7.	Les risques d'inondations.....	45
8.	Stratégies de Protection des Cours d'Eau dans la Wilaya d'Ain Témouchent.....	46
8.1.	Aménagement des Berges.....	46
8.2.	Gestion des Sédiments.....	47
8.3.	Gestion des Crues.....	47
8.4.	Maintenance et Surveillance.....	48
8.5.	Politiques de Préservation et Sensibilisation.....	48

Conclusion

Références

Table des figures

Processus de l'érosion hydrique.....	2
stades de dégradation de la surface du sol sous l'action des pluies.....	3
Erosion diffuse.....	4
Erosion en griffes.....	5
Erosion en ravine.....	5
Ouvrages affectés par affouillement dans la pratique de l'ingénierie hydraulique.....	13
Les processus d'affouillement.....	14
risques d'inondations SDEA.....	14
Structure chaussée faiblement dimensionnée- climat agressif- fort trafic.....	17
La dégradation des sols en Afrique.....	17
Les impacts sur la qualité de l'eau.	20
Coûts de maintenance des équipements impact.....	24
L'érosion des sols.	24
Lutte contre l'érosion.	31
L'enrochement des revêtements des murs.....	32
Mur de soutènement.....	32
Entretien la végétation des berges.....	33
Bassins des rétention des eaux pluviales.....	33
Canal de déviation de l'eau.....	34
Solidification.	34
Les amendements organiques.	35
Réhabilitation des berges en génie végétal.....	36
Stabilisation et Renforcement des sols.....	36
Techniques de gestion d'eau.	37
La géographie d'Ain Temouchent.....	40
Daïras Ain Temouchent.....	40
Le petit barrage de Ouizert.	41

Le petit barrage de Hammam Bouhdjar.....	42
Mekhayssiya.	42
Michemich.....	42
O/ Besbes.....	43
Ouled Azzouz.....	43
P B Oued Bendjeloul.....	43
RC Ain Guemal.....	43
RC Chaabet el hamra	44
Le Projet d'Aménagement d'Oued Harrach.....	46
Valorisation des sédiments du barrages.....	47
"Gestion des Crues : Exemples d'Interventions".....	47
Activités de Surveillance et de Maintenance des Barrages.	48
Politiques de Préservation : Vers un Avenir Durable".....	48
"Infrastructures Hydrauliques et Mesures de Protection Érosive".....	49
Gestion des ouvrages (La Digue).	51

Remerciement

De par ce travail, nous tenons d'abord à remercier Dieu Tout Puissant de nous avoir octroyé la santé et la volonté pour accomplir ce humble travail représenté dans ce mémoire.

Ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu voir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mr Nehari Abderahmane .Nous le remercions pour son orientation, son confiance, sa patience, son rigueur et sa disponibilité.

Nous adressons tous nos remerciements à Mr Mohamed Benaicha et Mr Guendouz Bouhelal , de l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'être jurys de ce mémoire.

Nous tenons également à remercier tout particulièrement nos familles surtout nos chers parents qui nous ont toujours encouragé et tous ceux qui ont participé de près ou loin à la réalisation de ce modeste travail.

Mounia & Mohamed.

Dédicace

On dédie cet humble travail avec grand amour,

Sincérité et fierté :

A nos chers parents, sources de tendresse,

De noblesse et d'affectation.

A nos frères et nos sœurs, en témoignage de la

Fraternité.

Et à tous les membres de nos familles.

Mounia & Mohamed

A la mémoire de mon père « BELMADANI BOUCIF »

Ce travail est dédié à mon père, décédé trop tôt, qui m'a toujours poussée et motivée dans mes études. J'espère que du monde qui est sien maintenant, il est apprécié et humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'une fille qui a toujours prié pour le salut de son âme. Puisse Dieu, Le Tout Puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde.

Mounia.

¹CHAPITRE 01 : Généralités sur l'érosion hydraulique

Introduction :

Indépendamment du modelé du relief, 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 et du vent, ou sous l'effet des activités agricoles, comme le travail du sol (Ritter J., 2012). 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, 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. Le présent chapitre s'attarde aux causes et aux effets de l'érosion des terres agricoles par l'eau.

1. Définition de l'érosion

C'est un phénomène de déplacement des matériaux à la surface du sol sous l'action de l'eau, du vent, de l'homme ou simplement de la gravité. Elle contribue aussi à la perte de la couche arable, la plus fertile du sol, diminuant sa productivité et dégradant la qualité des eaux de surface. Par ailleurs, les particules de sol qui rejoignent les oueds et les barrages contribuent, d'une part, à rehausser le lit des cours d'eau entraînant un risque plus élevé d'inondation et, d'autre part, à diminuer la qualité des eaux (Arabi M., 1991).

2. Définition de l'érosion hydrique

L'érosion hydrique des terres est un processus impliquant le détachement de particules de sol puis leur transport sous l'action de l'eau.

3. Les différents types de l'érosion hydrique

L'érosion hydrique peut se diviser en deux types, l'érosion géologique et l'érosion accélérée.

3.1. L'érosion géologique

Est un processus naturel d'équilibrage du relief qui aplanit inexorablement les collines et les montagnes et remplit les vallées et les lacs. Le taux d'érosion géologique dépend principalement du climat et de la lithologie et est généralement élevé dans les pays semi-arides comme l'Algérie car les précipitations y sont assez fortes pour endommager la surface

¹ Master en Sciences Agronomiques Hadid Warda & Sellakh Nour el Houda

des sols, mais pas assez pour permettre le développement d'un couvert végétal jouant un rôle protecteur (Chevallier JJ., 2002).

3.2. L'érosion accélérée

Elle survient lorsque les populations perturbent le couvert végétal par le surpâturage, les défrichements, les feux de forêts, l'agriculture et les travaux de construction (Chevallier JJ., 2002).

4. Les processus de base et typologie de l'érosion hydrique

En relation avec les précipitations et le ruissellement sur les terres, l'érosion hydrique des sols se définit au sens strict comme un transport de matière solide entre des zones de départ de terre et des zones de dépôt bien distinctes dans l'espace, il s'agit donc à proprement parler d'une modification de la structure du sol dans le sens d'une désagrégation.

En pratique, le terme inclut le processus de transport des particules de sol par l'eau (transport solide de sédiments) vers un lieu de dépôt (sédimentation) (cf. Fig. 1).

On envisage que l'érosion hydrique se produit en trois phases, soit :

- D'arrachement et le détachement des particules de la surface du sol ;
- De transport ;
- De dépôt ultérieur (sédimentation).

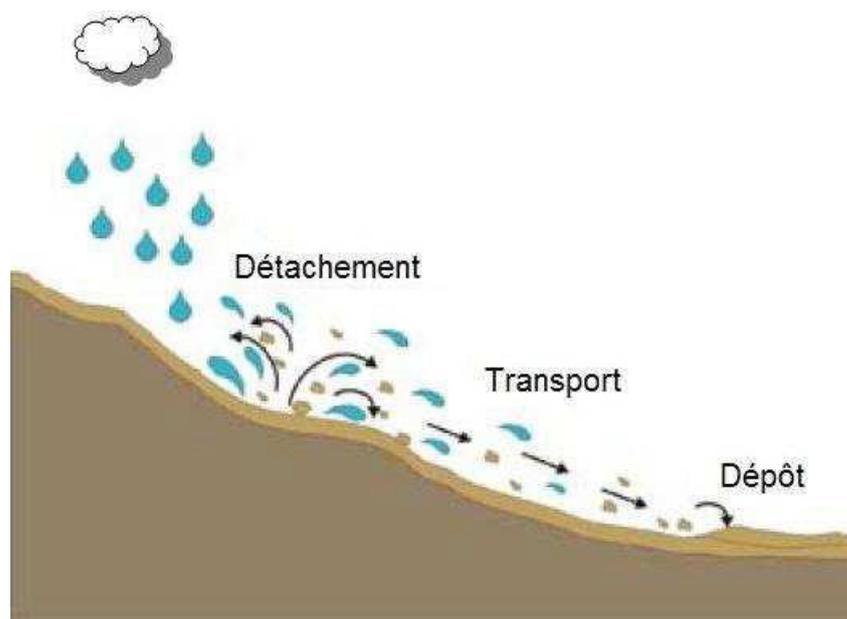


Figure 1. Processus de l'érosion hydrique

4.1. Le détachement et le transport

Le détachement et le transport des petites particules du sol, peuvent être assurés soit par :

4.1.1. L'impact des gouttes de pluies (splash)

Le choc des gouttes sur le sol provoque le détachement et la projection de particules dans toutes les directions, à des distances comprises entre quelques millimètres et plusieurs dizaines de centimètres (De Ploey, Savat, 1968. in Neboit Rene, 1983). C'est l'effet de rejaillissement, ou splash. La direction des trajectoires est aléatoire, mais lorsque ces déplacements surviennent sur une pente, fut-elle faible, l'allongement de celles qui sont

orientées vers le bas se traduit par un transfert de matière dans le sens de la pente, donc par une ablation. L'efficacité de cet effet de rejaillissement dépend de deux séries de facteurs :

4.1.1.1. Caractéristiques de la pluie

La pluie doit atteindre ou dépasser l'intensité critique pendant un certain temps. En effet, le détachement et la saltation des particules supposent une dégradation préalable de la structure du sol par l'eau, à laquelle concourt le gonflement inégal des divers minéraux argileux, l'humectation différentielle des agrégats, la compression de l'air chassé des pores du sol par l'eau, etc. (cf. fig. 2).

4.1.1.2. Caractéristiques du sol

Un sol qui résiste bien au choc des gouttes est un sol dont la stabilité structurale est bonne, c'est-à-dire dont les agrégats ne se dissocient pas en présence d'eau. Cette capacité de résistance augmente avec la teneur en argile, et plus encore avec la teneur en matière organique humifiée. L'humus constitue le ciment le plus solide des agrégats.

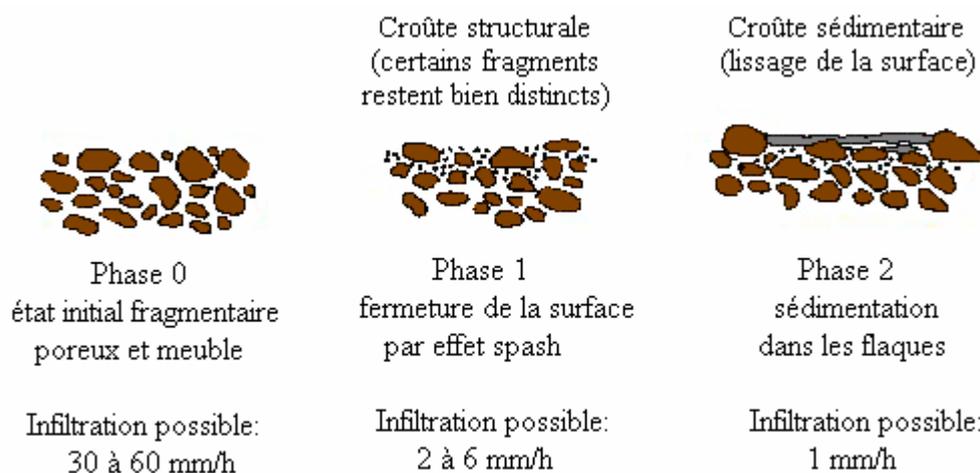


Figure 2. Les stades de dégradation de la surface du sol sous l'action des pluies.

4.1.2. La force tractrice des écoulements (ruissellement)

Dans ce cas, les formes caractéristiques sont des incisions d'allure linéaire, plus ou moins espacées, que l'on appelle selon leurs dimensions griffes, rigoles ou ravines. L'érosion des sols se développe lorsque les eaux de pluie ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol. Ce refus du sol d'absorber les eaux en excédent apparaît soit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol (ruissellement), soit lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée par une nappe (ruissellement par saturation) (Morsli et *al.*, 2004).

4.2. La sédimentation

Il s'effectue lorsque l'énergie cinétique qui déplace les matériaux issus du détachement, diminue ou s'annule (Demangeot, 2000). Les particules arrachées se déposent entre le lieu d'origine et les mers. Elles se déposent en général dans l'ordre suivant : Sable, sable fin, limon.

Les argiles et l'humus colloïdal sont généralement transportés jusqu'à l'embouchure du cours d'eau où ils se déposent soit après évaporation de l'eau, soit après floculation.

5. Erosion laminaire (ou érosion en nappe (diffuse))

Concerne l'ensemble de la parcelle de façon plus ou moins uniforme et se produit sur des terres planes sans relief marqué quand le ruissellement est modéré (cf. Figure 3).



Figure 3 . Erosion diffuse

Dès que le sol cesse d'absorber la totalité de la pluie, l'eau en excès ne peut s'infiltrer et ruisselle sur la surface du sol en déplaçant les particules arrachées de la surface par la battance de la pluie. Lors de leur écoulement sur les surfaces, ces particules conjointement avec l'accélération de la vitesse de l'eau de ruissellement exercent un effet mécanique capable d'entraîner le détachement d'autres particules (Roose, 1994). L'érosion laminaire est difficile à détecter sur le terrain car les sols perdent une mince couche de façon plus ou moins uniforme. Par ailleurs, l'érosion laminaire est un processus idéalisé qui est rarement présent dans les champs car en raison du micro-relief du terrain, l'eau de ruissellement tend à se concentrer et à creuser les surfaces sous forme de rigoles.

5.1. L'érosion en rigoles

Au Maroc, Kalman (1976) a observé que l'érosion en rigoles (griffes) est actif au début du ruissellement, mais diminue au cours de l'événement jusqu'à devenir minime. Cette étude a également démontré que la présence d'une rigole préexistante au début d'une averse ne provoquera pas une érosion supérieure. Ainsi, Kalman (1976) a conclu que les rigoles ne sont pas un facteur provoquant l'érosion mais plutôt un symptôme. Puisqu'elles sont initialement petites et peu profondes, ces rigoles sont facilement effacées par les pratiques agricoles.

Toutefois, si ce processus s'intensifie lors d'événements pluviaux successifs, les rigoles deviennent de plus en plus profondes et créent des ravines (cf. Figure 4).



Figure 4. Erosion en griffes, 'A' terres agricoles à Tissemsilet 2005, 'B' terres agricole de Douar ouled Naimia Sidi Ali 2017.

5.2. Erosion en ravines :

Lorsque le ruissellement est intense, il prend de la vitesse et son énergie devient capable d'arracher les particules du sol. Les rigoles touchent non seulement l'horizon de surface mais aussi les horizons sous-jacents, d'où ces rigoles deviennent des ravins à un point tel que les pratiques agricoles n'effacent pas leurs traces. Plus la pente du terrain est forte, plus rapidement se développent de telles ravines (cf. Figure 4).

Cette érosion est considérée comme la phase la plus destructive de l'érosion hydrique, car elle intéresse les couches profondes du sol, allant jusqu'à la roche mère, elle s'accroît en largeur, en profondeur et en longueur.

L'érosion en ravine est influencée par, type des marnes, la pente, l'exposition des versant, l'utilisation des sols, et certainement par l'intensité des pluies, la perméabilité des sols, et le couvert végétal (Chebbani et *al.*, 1997).

Nous avons plusieurs types de ravines :

a) Les ravines en « V »

Qui prennent naissance sur des matériaux homogènes et tendres comme les verti sols, les argilites, les marnes et les schistes (Rosse et *al.*, 2000).

b) Les ravines en « U »

Se développent sur les matériaux hétérogènes comme les couvertures pédologiques (formes juvéniles) et les croûtes calcaires (Chebbani et Belaidi S., 1997).

c) Les ravines en tunnel

Se forment dans des matériaux riches en argiles gonflante ou en sel soluble (le cas des marnes gypseuses), (Chebbani et Belaidi S., 1997)



Figure 5. Erosion en ravine, terres agricole de Douar ouled Naimia Sidi Ali 2017.

5.3. Les mouvements de masses :

L'eau joue toujours un rôle prépondérant dans ce processus, mais le mouvement du sol se produit non par le mouvement de l'eau, mais plutôt suite à un stress gravitationnel.

En effet, lorsque les sols constitués de limons et d'argiles sont gorgés d'eau, les colloïdes responsables de la cohésion du sol prennent une consistance liquide. Si ces sols « liquéfiés » sont situés sur de fortes pentes avec un sous-sol imperméable, ils peuvent glisser spontanément dans un mouvement d'ensemble (glissement de terrain) ou encore sous forme de coulée de boue si les matériaux sont à peu près complètement fluidifiés. Suite à l'analyse de 32 mouvements de terrain dans le bassin versant du Rhumel constantinois, Rullan Perchirin (1989) a noté que la majorité des mouvements se développent soit sur des terres non cultivées à fortes pentes (> 25 %) ou bien sur des terres ensemencées mais avec un couvert végétal peu protecteur. Il a également été noté que près d'un quart des mouvements de masse résultent de matériaux argileux gorgés d'eau. Travaillant dans la même région, Benaïssa (1998) et Benaïssa et Bellouche (1999) ont également noté cette influence des formations géologiques sur les mouvements de masse. Les mouvements de masse et les trois premiers types d'érosion contribuent en partie à la charge sédimentaire des cours d'eau, le reste provenant de l'érosion des berges.

5.4. Le sapement des berges :

La force cinétique reliée à l'écoulement de l'eau peut exercer un stress sur les berges et y éroder les matériaux les plus fragiles. Le sapement des berges provoque l'éboulement de masses importantes de sols dans les cours d'eau dans lesquels ces masses se fragmentent et s'incorporent à la charge du cours d'eau. Ramdane (1985) a démontré par photo-interprétation que ce phénomène est présent dans le bassin versant de l'Oued Isser. Rullan-Perchirin (1989) a noté que le sapement des berges contribuait aux mouvements de masses surtout dans la zone aval des bassins versants. Quel que soit son type, l'importance de l'érosion ne dépend pas que d'un seul et unique facteur mais résulte plutôt d'une interaction entre plusieurs facteurs. L'érosion intensive observée dans le Nord de l'Algérie est le fruit de l'action de plusieurs facteurs qui sont d'une part climatologiques et lithologiques (Mazour, 1992). À l'aide de la superposition de cartes des formes d'érosion et des facteurs théoriques d'érosion, Brahmia (1993) a observé que l'apparition des formes d'érosion est reliée à un couvert végétal faible et inadéquat, à une lithologie friable et à une exposition des versants favorisant la dessiccation des sols.

6. Les causes de l'érosion hydrique :

Les caractéristiques intrinsèques du sol (composition physico-chimique...) et des facteurs extérieurs (pratiques culturales, pentes, conditions climatiques ...) jouent un rôle important dans la résistance de celui-ci à la désagrégation et dans sa capacité à absorber l'eau (Auzet et al., 1998 ; King et Le Bissonnais, 1992).

6.1. Facteurs naturels :

6.1.1. Climat :

Les précipitations atmosphériques sont la principale cause de l'érosion hydrique, elles sont caractérisées par la hauteur des averses, l'intensité et la fréquence.

La pluie désagrège les agrégats et mottes en éléments fins susceptibles d'être entraînés par le ruissellement favorisant le colmatage et limitant l'infiltration.

L'action de la pluie dépend davantage de son intensité que de sa hauteur, ce qui semble évident : une pluie d'orage de 10mm peut faire plus de dégâts qu'une pluie fine 40mm (Soltner, 1999), cela est favorisé par un milieu fragile.

Ainsi le vent peut être déplacé par roulement des particules de 1 à 2mm de \varnothing et par saltation de 0.1 à 1mm ou en suspension dans l'atmosphère (inférieures à 0.1mm).

En effet lorsque le sol est dépourvu de végétation, le climat prend un caractère agressif et provoque une dégradation rapide des horizons superficiels et de forts ruissellements.

D'après (Mazour, 2004) cette agressivité du climat se traduit par deux types d'averse: les orages d'automne peu fréquents de courte durées, mais caractérisées par des intensités élevées (soit un maximum annuel en 10mm atteignant 100mm/heure). Ils peuvent provoquer du ruissellement sur des sols non saturés.

6.1.2. Couvert végétal :

La végétation diminue la capacité érosive de la pluie et permet l'infiltration de l'eau en diminuant le volume d'eau sur la surface du sol.

D'après (Thomas, 1995 in Boukheir et *al.*, 2001), l'érosion des sols est contrôlée par la couverture végétale où elle dépend de son type, sa hauteur et son architecture.

6.1.3. Lithologie :

Les divers types de roches et leurs structures donnent une indication précieuse sur la capacité d'infiltration des zones occupées par les roches et par les sols et en conséquence sur la qualité de sol susceptible d'être érodée (Demmak, 1982).

D'après (Chebbani et *al.*, 1996) Les sols marneux lorsqu'ils sont secs, restent non érodables mais, dès qu'ils atteignent une certaine humidité, leur sensibilité au détachement et au ruissellement augmente.

6.1.4. Topographie :

Dans les milieux semi-arides et arides, le gradient de la pente est corrélé positivement avec le recouvrement de la surface du sol par des fragments de roches qui agissent en diminuant le ruissellement et la perte des sols (Abrahamas et Parsons, 1991 in Boukheir et *al.*, 2001).

Sur les pentes convexes, la perte en terre est plus grande, tandis que les pentes concaves, l'érosion est moins intense (FAO, 1976).

La topographie du terrain intervient également dans les phénomènes d'érosion : Le gradient de pente et la surface d'alimentation contrôlent en partie les flux et la vitesse de ces derniers. Toutefois, lorsque la pente est faible, le sens du travail du sol peut également déterminer la direction des flux de ruissellement et favoriser des lieux de concentration des flux d'eau atteignant une énergie suffisante pour déclencher une érosion (Ludwig et *al.*, 1996 ;Souchère et *al.*, 1998).

La pente intervient par son inclinaison, sa forme et sa longueur.

- **Influence de l'inclinaison de la pente :**

Tous les auteurs s'accordent sur le rôle essentiel de l'inclinaison de la pente sur l'érosion, les pertes en terre croissent de façon exponentielle avec l'inclinaison (S%), suivant l'équation de la forme (Roose, 1977).

$$E = K.S_n$$

n : varie selon le type d'érosion

E : perte de terre (érosion)

K : coefficient variable

S : pente %

- **Longueur de la pente :**

Plus la pente est long, plus le ruissellement s'accumule et prend de la vitesse et de l'énergie qui se traduit par une érosion importante.

$$LS = \frac{\sqrt{L}}{100} (0.76 + 0.53S + 0.075S^2) \text{ (Roose, 1977).}$$

Dont :

LS: c'est un indice qui prend en compte l'inclinaison et la longueur de pente.

L : longueur de la pente (en pied)

S : inclinaison (%)

- **La forme de la pente :**

Les pentes par leur forme agissent favorablement pour l'installation des processus érosifs. D'après Wischmeier (1976), une pente concave diminue les transports solides par sédimentation locales tandis qu'une pente convexe l'augmente en fonction de l'inclinaison du segment en pente forte.

6.1.5. Composition Intrinsèques du sol

La structure et la texture déterminent en partie la capacité d'infiltration du sol (un horizon très riche en argile pourra limiter l'infiltration, par exemple) et, de même que pour le tassement, la sensibilité de celui-ci à l'érosion dépend aussi de sa stabilité structurale, principalement assurée par la matière organiques et l'argile.

La granulométrie : les sols limoneux sont les plus à risque ;

La structure : les sols structurés en agrégats stables et compacts seront les moins à risqué ;

L'humidité : plus le sol est humide plus il y a propension au détachement et au risque de transport des particules détachées (Dautrebande S., Cordonnier H., Thirion M. et Bielders C., 2006).

Dans une moindre mesure, un taux élevé de matière organique limite le risque d'érosion.

6.2. Facteurs anthropique :

L'érosion est devenue essentiellement une conséquence directe de l'activité humaine qui représente maintenant le principal facteur de la dégradation des sols. L'homme peut être à l'origine du déclenchement et de l'accélération de l'érosion par ses actions de défrichement des forêts, incendies et surpâturages et pratiques culturales. De plus, les aménagements routiers et urbains, en augmentant les surfaces imperméables, exacerbent les inondations, favorisent le ruissellement et donc constituent un facteur d'entraînement du sol.

Parmi les facteurs anthropiques responsables de l'érosion on retrouve :

6.2.1. L'action de l'homme :

L'action de l'homme peut contribuer à déstabiliser la structure des sols, ainsi, le labour favorise la minéralisation des matières organiques, conduisant à sa diminution. Par ailleurs, la suppression par l'homme les haies et talus pour élargir les parcelles agricoles favorise le ruissellement, et en conséquence l'érosion des sols sur ces parcelles. En revanche, la présence de résidus de culture et de la végétation peut contribuer à protéger le sol de l'impact des gouttes de pluie et à ralentir la vitesse de l'eau de ruissellement, ce qui permet une meilleure infiltration de l'eau dans le sol. Par conséquent, lorsque la couverture végétale est faible ou nulle, le risque d'érosion hydrique est important, en particulier si, en contexte de terres cultivées, le sol est nu pendant les périodes de précipitations très érosives, comme au printemps (Martin, 1997 ; Ouvry, 1992).

6.2.2. L'avancée urbaine :

La priorité accordée à l'urbanisme au détriment de la reforestation.

6.2.3. La prédominance de la céréaliculture sur forte pente :

La quasi-totalité de la SAU est exploités par la culture céréalière associée à la jachère. L'état de la surface du sol joue un rôle important pour réduire le volume ruisselé ainsi que les pertes en terre.

6.2.4. Le surpâturage :

Le surpâturage représente une cause d'érosion majeure. Il conduit à un appauvrissement du couvert végétal au détriment de la stabilité des terres la pression exercée par le surplus des animaux domestiques ne donne plus le temps aux plantes herbacées de croître. L'élimination du couvert végétale par le surpâturage, permet l'installation du processus de l'érosion qui conduit à la dégradation des écosystèmes.

6.2.5. La régression de l'arboriculture fruitière depuis l'indépendance

6.2.6. La nature juridique du foncier et le morcellement des terres :

La propriété privé et arche représente un handicap majeur à l'application des plans d'aménagement pour la restauration du milieu.

6.2.7. Les insuffisances institutionnelles :

Ce n'est qu'à partir des années 90 que l'Algérie a adopté une législation qui traite les aspects de protection de l'environnement.

6.3. Les facteurs liés aux activités agricoles :

Plusieurs facteurs liés aux activités agricoles peuvent influencer l'érosion hydrique.

6.3.1. Les cultures :

Si on garde à l'esprit qu'il est important de maintenir le sol couvert le mieux et le plus longtemps possible, il devient aisé en principe de classer les types de cultures et les rotations culturales en catégories favorables ou défavorables.

On pourra apprécier aussi l'intérêt de mesures agissant dans le sens d'une couverture maximale des sols fragiles ou fragilisés (Dautrebande S., Cordonnier H., Thirion M. et Biolders C., 2006).

6.3.2. Le travail du sol :

Plusieurs facteurs peuvent entrer en considération dans le cadre de l'évaluation de l'impact du travail du sol sur l'érosion hydrique des sols :

- Un travail du sol qui affine trop le sol en surface (préparation du semis, etc.) est à proscrire car il favorise la mise en boue lors de précipitations subséquentes. Le sol de surface « pulvérisé » a perdu sa cohésion. Il se sature rapidement : flux boueux, croûtes de battance, imperméabilisation de surface en sont les conséquences ;
- Les sols labourés de manière appropriée (sol ressuyé, époque et modalités adéquates) voient en général leur capacité d'infiltration améliorée. Cependant le labour peut les rendre plus sensibles à l'érosion, surtout sur les terrains en pente ;
- Certains sols ont une meilleure capacité d'infiltration pour un travail du sol limité, d'autres pas, dans le second cas, restant plus compacts et plus cohésifs en surface, les sols pourront être moins fragiles (érodibilité moindre) mais ils risquent cependant d'être plus fréquemment agressés suite à l'accroissement du ruissellement (érosivité globalement plus élevée) ;

- L'orientation des sillons : en sols bien infiltrants, pour des pluies pas trop excessives et des pentes ni trop fortes ni trop irrégulières, les sillons orientés perpendiculairement à la pente peuvent en principe constituer des micro-réservoirs d'infiltration (« Sillons d'infiltration »). D'une manière générale, s'ils sont installés légèrement en oblique par rapport à la courbe de niveau, ils peuvent constituer des micro-chenaux (« sillons chenaux »), les eaux étant à conduire alors vers un chenal ou fossé de récolte approprié. Dans les deux cas, existe cependant le risque d'accentuation du problème érosif lors de précipitations importantes (orages) du fait du débordement des sillons de capacité insuffisante ou profitant de malfaçons locales. Ces techniques demandent donc des conditions de milieu et de mise en œuvre rigoureuses, surtout dans le cas du sillon d'infiltration, les rendant difficiles à appliquer la plupart du temps (Dautrebande S., Cordonnier H., Thirion M. et Bielders C., 2006).

6.3.3. Les machines agricoles :

Les traces de roues inhérentes au passage des machines agricoles peuvent favoriser la concentration des rigoles d'eau de ruissellement et accentuer ainsi le problème de l'érosion et des boues.

7. Conséquence de l'érosion hydrique :

Les conséquences de l'érosion ne se limitent pas à la baisse de la production agricole. L'érosion contribue aussi à la perte et le décapage de la couche arable, la plus fertile du sol, diminuant sa productivité et dégradant la qualité des eaux de surface.

Deux conséquences sur la baisse de la production végétale sont à noter :

7.1. Diminution du bilan hydrique :

- ✓ Par l'effet de battance qu'elle provoque, la pluie devient de moins en moins profitable à la plante. En effet une fraction importante de la pluie ruisselle.
 - La réduction du volume de sol exploitable par les racines augmente la sensibilité de la culture aux périodes sèches.

7.2. Sol pauvre en éléments fertilisants:

- La fraction du sol emportée par l'érosion est fréquemment plus riche que le sol dans son ensemble.
- Le sol laissé sur place se désagrège et devient hostile voir inculte (pas de vie biologique, hétérogénéité de levée, baisse de la production ...).

7.3. Terre inaccessible (bad-lands) :

- ✓ A travers la formation de ravines, le terrain peut évoluer en badlands rendant impossible tout accès à la terre.

CHAPITRE 02: L'érosion accélérée

Introduction :

L'érosion accélérée constitue l'un des défis environnementaux majeurs contemporains, affectant les sols à travers le monde de manière significative. Contrairement à l'érosion naturelle, qui se produit à un rythme relativement lent sur des milliers d'années, l'érosion accélérée se caractérise par un processus rapide et souvent destructeur. Ce phénomène est amplifié par une combinaison de facteurs anthropiques et naturels, tels que les pratiques agricoles non durables, l'urbanisation croissante, les changements climatiques et les événements météorologiques extrêmes.

L'impact de l'érosion accélérée se manifeste par la perte de fertilité des sols, la diminution de la biodiversité, la dégradation des habitats naturels, et la déstabilisation des infrastructures humaines telles que les routes, les barrages et les bâtiments. Les conséquences socio-économiques sont également significatives, affectant la sécurité alimentaire, l'accès à l'eau potable et la résilience des communautés face aux catastrophes naturelles.

Pour contrer ce problème complexe, des approches intégrées de gestion des terres sont essentielles. Celles-ci incluent l'adoption de pratiques agricoles durables, la mise en œuvre de techniques de génie civil et de génie végétal pour stabiliser les sols, ainsi que des mesures de gestion des eaux et de sensibilisation communautaire. Une compréhension approfondie des processus d'érosion accélérée et de ses facteurs déclencheurs est donc cruciale pour développer des stratégies efficaces de conservation des sols et de restauration environnementale.

En examinant de près les mécanismes et les impacts de l'érosion accélérée, il devient possible de mettre en place des solutions adaptées qui préservent non seulement les ressources naturelles, mais aussi la qualité de vie des populations dépendantes des écosystèmes terrestres.

i

1. Types d'ouvrages hydrauliques menacés par l'érosion :

- ✓ **Digues et barrages** : Les digues et barrages sont souvent exposés à l'érosion, tant sur leurs surfaces extérieures qu'intérieures. L'érosion peut compromettre leur intégrité structurelle et augmenter les risques de rupture ou de défaillance, mettant ainsi en danger les populations en aval.
- ✓ **Berges de rivières et de canaux** : L'érosion des berges de rivières et de canaux est un problème courant, notamment dans les zones soumises à des variations de débit d'eau

ou à des actions de vagues. L'érosion des berges peut entraîner des glissements de terrain, des pertes de terres agricoles et des risques pour les infrastructures avoisinantes.

- ✓ **Ponts** : Les fondations des ponts situées près de cours d'eau peuvent être menacées par l'érosion. Si les matériaux autour des fondations sont érodés, cela peut compromettre la stabilité des ponts et entraîner des risques d'effondrement.
- ✓ **Émissaires en mer et structures côtières** : Les érosions côtières dues aux vagues, aux marées et aux tempêtes peuvent mettre en danger les émissaires en mer, les jetées, les digues de protection et d'autres infrastructures côtières. L'érosion peut entraîner des dommages structurels et augmenter les risques d'inondation des zones côtières.
- ✓ **Conduites d'eau et canaux d'irrigation** : Les conduites d'eau et les canaux d'irrigation sont exposés à l'érosion interne et externe. L'érosion interne peut être causée par la cavitation ou par le transport de particules abrasives dans l'eau, tandis que l'érosion externe peut résulter de l'érosion des berges le long des canaux.
- ✓ **Réservoirs et lacs artificiels** : Les rives des réservoirs et des lacs artificiels peuvent être soumises à une érosion accrue en raison de la fluctuation du niveau de l'eau, des vagues générées par le vent et d'autres facteurs. L'érosion des rives peut compromettre la stabilité des structures adjacentes et entraîner une perte de terres riveraines.

Pour chaque type d'ouvrage hydraulique, il est essentiel d'évaluer les risques d'érosion et de mettre en œuvre des mesures de prévention et de protection appropriées pour assurer leur durabilité et leur sécurité à long terme.

2. Types d'érosion et risques associés :

Les risques d'érosion autour des ouvrages hydrauliques sont significatifs et peuvent entraîner des conséquences graves. Voici quelques-uns des principaux risques associés à l'érosion autour de ces structures :

- 1) **Affaiblissement de la stabilité structurelle** : Le phénomène d'affouillement touche une multitude d'ouvrages, comme le montre la figure 1. Outre les murs de quai, les digues, les piles et fondations de ponts, l'installation continue d'éoliennes en mer à travers le monde soulève des questions concernant leur longévité et leurs besoins en entretien.

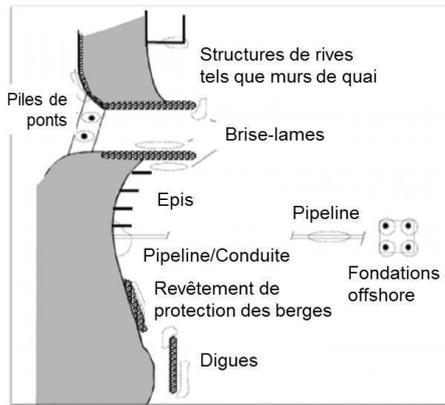


Figure 6. Ouvrages affectés par affouillement dans la pratique de l'ingénierie hydraulique (Peters, et al, 2011)

L'affouillement est une forme particulière d'érosion où le matériau de la berge et du fond du lit est enlevé par l'effet d'une action hydraulique importante. Il y a un phénomène d'affouillement lorsque les contraintes hydrodynamiques de cisaillement sur le fond marin sont supérieures aux contraintes de cisaillement critiques sur les sédiments. Sans protection adaptée du lit contre les affouillements, les sédiments mobiles peuvent être érodés sous l'effet de différentes forces hydrodynamiques, notamment celles qui suivent :

- les courants causés par les rotations d'hélice ;
- les courants de marée ;
- l'effet conjugué des vagues et courants (en mer) ;
- les augmentations localisées de vitesse orbitale dues à la réflexion des vagues ;
- les obstacles à l'écoulement et resserrements qui accélèrent l'écoulement ;
- les zones de transition entre le fond dur et le lit érodable.

Toute construction installée sur le fond de la mer a une influence sur le régime d'écoulement local, le lit marin et l'équilibre dynamique entre les forces hydrodynamiques extérieures et le plancher toujours mobile (figure 2). Souvent, le fond marin naturel et le lit se composent de sables plus ou moins denses et fins. Du fait de l'interaction entre la structure de la fondation et le fond marin, des processus plus ou moins marqués d'érosion et de sédimentation, causés par les courants et les vagues, se produisent et peuvent nuire au bon fonctionnement et à la stabilité de la structure.

Les formations d'affouillement sont difficiles à prévoir, c'est pourquoi une protection adaptée est nécessaire. Les fosses d'affouillement peuvent compromettre la stabilité de la structure ou le régime d'écoulement, avec des conséquences sérieuses pour les activités de transport maritime. Ces processus d'érosion dépendent du type de structure, des forces hydrodynamiques et des propriétés du fond marin.

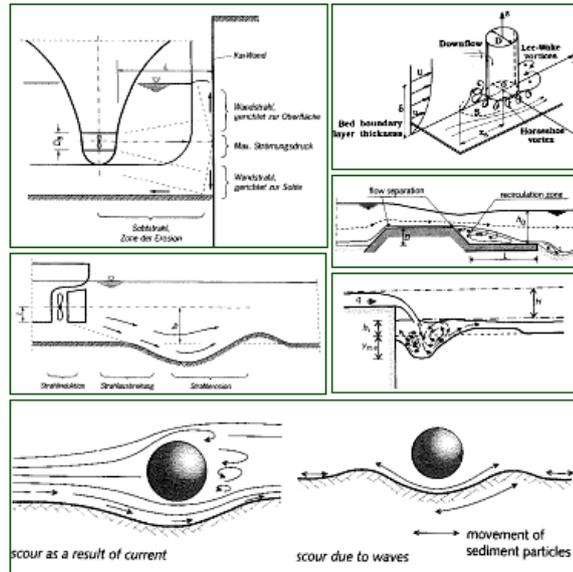


Figure 7. Les processus d'affouillement (Hofmanns et Verheij, 1997).

- 2) **Augmentation des risques d'inondation** : Si l'érosion affecte les zones adjacentes à un ouvrage hydraulique, cela peut affaiblir la capacité de l'ouvrage à retenir l'eau ou à contrôler les débits, augmentant ainsi les risques d'inondation en aval.



Figure 8. Les risques d'inondations SDEA(<https://www.sdea.fr/index.php/fr/1-eau/les-inondations/les-risques-d-inondations>)

L'érosion accélérée contribue à l'augmentation des risques d'inondation par plusieurs mécanismes clés :

1. Réduction de l'Infiltration du Sol

- **Description** : L'érosion enlève la couche supérieure du sol (la couche arable), qui est la plus riche en matière organique et la plus poreuse.
- **Conséquence** : Le sol devient moins capable d'absorber l'eau de pluie. Plus d'eau reste en surface, augmentant le ruissellement.
- **Impact** : Augmentation du volume d'eau de ruissellement, qui peut rapidement saturer les systèmes de drainage et provoquer des inondations.

2. Accumulation de Sédiments dans les Cours d'Eau

- **Description** : Les particules de sol érodées sont transportées par les eaux de ruissellement et se déposent dans les rivières et les réservoirs.
- **Conséquence** : La capacité des lits de rivières à contenir de l'eau diminue.
- **Impact** : Les cours d'eau débordent plus facilement lors des pluies fortes, entraînant des inondations plus fréquentes et plus sévères.

3. Déstabilisation des Berges et des Pentes

- **Description** : L'érosion affaiblit les structures des berges des rivières et des collines.
- **Conséquence** : Les glissements de terrain et les effondrements de berges sont plus fréquents.
- **Impact** : La formation de barrages naturels temporaires dans les rivières peut entraîner des inondations soudaines et destructrices lorsqu'ils cèdent.

4. Perte de Couverture Végétale

- **Description** : La végétation protège le sol en réduisant l'impact des gouttes de pluie et en stabilisant les particules de sol avec leurs racines.
- **Conséquence** : Moins de végétation signifie moins de protection contre l'érosion et moins de racines pour retenir le sol.
- **Impact** : Augmentation du ruissellement de surface et de l'érosion, exacerbant les risques d'inondation.

5. Influence du Changement Climatique

- **Description** : Le changement climatique entraîne des événements météorologiques plus extrêmes, comme des pluies plus intenses.
- **Conséquence** : Des précipitations intenses tombant sur des sols déjà érodés augmentent le volume et la vitesse du ruissellement.
- **Impact** : Les systèmes de gestion des eaux sont submergés plus rapidement, augmentant les risques d'inondation.

- 3) **Endommagement des infrastructures adjacentes** : L'érosion peut également menacer les infrastructures et les habitations situées à proximité des ouvrages hydrauliques. Par exemple, l'érosion des berges d'une rivière peut compromettre la stabilité des routes, des ponts et des bâtiments riverains.

L'érosion accélérée peut causer des dommages significatifs aux infrastructures situées à proximité des zones érodées. Ce processus se manifeste par plusieurs mécanismes, chacun ayant des impacts spécifiques sur les routes, les ponts, les bâtiments et autres structures. Voici une explication détaillée des façons dont l'érosion accélérée endommage les infrastructures adjacentes :

1. Affouillement des Fondations

- **Description** : L'affouillement est l'érosion du sol autour des fondations des structures telles que les ponts, les bâtiments et les barrages.
- **Processus** : Les courants d'eau rapides ou les vagues retirent progressivement le matériau de soutien des fondations.
- **Impact** :
 - **Ponts** : La perte de sol autour des piles de ponts peut provoquer leur affaissement ou leur effondrement.

- **Bâtiments** : Les fondations exposées à l'érosion peuvent se fissurer et s'affaisser, rendant les bâtiments instables et dangereux.

2. Érosion des Berges et Glissements de Terrain

- **Description** : L'érosion des berges des rivières et des pentes entraîne des glissements de terrain et des effondrements.
- **Processus** : L'érosion retire le soutien latéral des berges et des talus, provoquant leur effondrement.
- **Impact** :
 - **Routes et Autoroutes** : Les glissements de terrain peuvent bloquer les routes ou les rendre impraticables, nécessitant des réparations coûteuses et perturbant la circulation.
 - **Chemins de Fer** : Les voies ferrées peuvent être déformées ou obstruées par des débris, entraînant des accidents et des interruptions de service.

3. Surcharge des Systèmes de Drainage

- **Description** : L'accumulation de sédiments et le ruissellement excessif augmentent la charge sur les systèmes de drainage.
- **Processus** : Les systèmes de drainage peuvent se boucher ou être submergés par le volume d'eau et de sédiments.
- **Impact** :
 - **Routes et Trottoirs** : Les inondations causées par des systèmes de drainage inefficaces peuvent endommager la chaussée, créant des nids-de-poule et des affaissements.
 - **Zones Urbaines** : Les inondations urbaines peuvent endommager les infrastructures souterraines, comme les conduites d'eau et les câbles électriques, provoquant des pannes et des réparations coûteuses.

4. Déstabilisation des Talus et des Pentés

- **Description** : L'érosion déstabilise les talus et les pentes adjacents aux infrastructures.
- **Processus** : L'érosion retire le matériau de support des pentes, augmentant le risque de glissements de terrain.
- **Impact** :
 - **Infrastructure Routière** : Les talus érodés peuvent s'effondrer sur les routes, nécessitant des réparations d'urgence et des interventions pour stabiliser les pentes.
 - **Bâtiments et Installations** : Les bâtiments situés près des pentes instables peuvent subir des dommages structurels, nécessitant des renforts ou des relocalisations.

5. Corrosion et Dégradation des Matériaux

- **Description** : L'érosion peut accélérer la corrosion des matériaux de construction, en particulier le béton et l'acier.
- **Processus** : Les particules érosives et l'eau de ruissellement peuvent pénétrer les surfaces des structures, causant la corrosion et la dégradation.
- **Impact** :

- **Structures Métalliques** : La corrosion peut affaiblir les ponts, les pylônes et les structures métalliques, réduisant leur durée de vie et nécessitant des réparations ou des remplacements.
- **Béton** : L'eau infiltrée peut provoquer l'éclatement du béton et la corrosion des armatures, compromettant l'intégrité des structures.

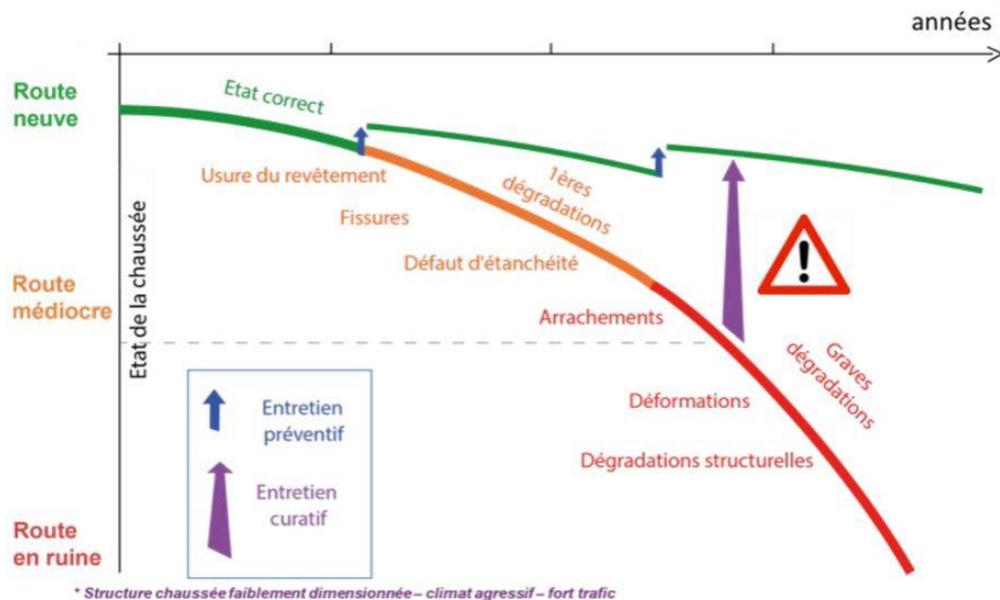


Figure 8. Structure chaussée faiblement dimensionnée- climat agressif- fort trafic
(<https://aqtr.com/association/actualites/lobservatoire-national-route>)

- 4) **Perte de terres agricoles et d'habitats naturels** : L'érosion autour des ouvrages hydrauliques peut entraîner la perte de terres agricoles productives et de zones humides essentielles à la biodiversité, affectant ainsi les écosystèmes locaux et les activités économiques.



Figure 9. La dégradation des sols en Afrique(<https://www.27avril.com/blog/agriculture/afrique-degradation-des-sols-une-menace-pour-la-qualite-de-vie>)

L'érosion accélérée entraîne une perte significative de terres agricoles et d'habitats naturels, affectant à la fois l'agriculture et la biodiversité. Voici une explication détaillée des mécanismes par lesquels l'érosion accélérée cause ces pertes et leurs impacts.

1. Perte de la Couche Arable

- **Description** : La couche arable est la partie supérieure du sol riche en nutriments, essentielle pour la croissance des plantes.
- **Processus** : L'érosion hydrique et éolienne emporte cette couche supérieure, laissant derrière elle un sol appauvri.
- **Impact** :
 - **Agriculture** : La perte de la couche arable réduit la fertilité du sol, diminuant les rendements des cultures et augmentant la dépendance aux engrais chimiques.
 - **Habitats Naturels** : Les plantes indigènes, qui dépendent de la couche arable pour leurs nutriments, voient leur croissance limitée, affectant l'ensemble de l'écosystème.

2. Formation de Ravines et de Rigoles

- **Description** : Les ravines et les rigoles sont des entailles profondes et étroites formées par le ruissellement de l'eau sur les sols.
- **Processus** : Le ruissellement concentre l'eau dans des canaux, érodant rapidement le sol et formant des ravines et des rigoles.
- **Impact** :
 - **Agriculture** : Les ravines fragmentent les terres agricoles, rendant certaines parcelles inutilisables pour la culture et nécessitant des travaux de terrassement coûteux pour la restauration.
 - **Habitats Naturels** : La fragmentation des habitats naturels par les ravines perturbe les corridors écologiques et les habitats des espèces animales et végétales.

3. Dégradation des Sols

- **Description** : La dégradation des sols comprend la perte de structure, la compaction et la réduction de la capacité de rétention d'eau.
- **Processus** : L'érosion accélérée compacte le sol et réduit sa porosité, limitant l'infiltration de l'eau et augmentant le ruissellement.
- **Impact** :
 - **Agriculture** : Les sols dégradés retiennent moins bien l'eau, augmentant le stress hydrique des cultures et réduisant la productivité agricole.
 - **Habitats Naturels** : Les sols dégradés supportent moins bien la végétation indigène, réduisant la couverture végétale et exposant davantage le sol à l'érosion.

4. Sédimentation des Cours d'Eau

- **Description** : La sédimentation est l'accumulation de particules érodées dans les lits des rivières, des lacs et des réservoirs.

- **Processus** : Les particules de sol érodées sont transportées par les eaux de ruissellement et se déposent dans les cours d'eau et les plans d'eau.
- **Impact** :
 - **Agriculture** : La sédimentation réduit la capacité de stockage des réservoirs d'irrigation, limitant l'eau disponible pour l'irrigation des cultures pendant les périodes de sécheresse.
 - **Habitats Naturels** : La sédimentation altère les habitats aquatiques, affectant les espèces qui dépendent de l'eau claire et de la qualité des habitats aquatiques.

5. Disparition de la Végétation

- **Description** : La végétation joue un rôle crucial dans la stabilisation des sols et la protection contre l'érosion.
- **Processus** : L'érosion accélérée détruit la végétation en enlevant le sol sur lequel elle pousse.
- **Impact** :
 - **Agriculture** : La disparition de la couverture végétale protectrice expose les sols à une érosion encore plus rapide, créant un cercle vicieux de dégradation des terres agricoles.
 - **Habitats Naturels** : La perte de végétation affecte les écosystèmes en réduisant la biodiversité végétale et en perturbant les habitats des animaux.

5) **Impact sur la qualité de l'eau** : L'érosion accélérée a un impact significatif sur la qualité de l'eau des cours d'eau, des lacs, des réservoirs et même des aquifères. Voici une explication détaillée des mécanismes par lesquels l'érosion accélérée affecte la qualité de l'eau et leurs conséquences.

La qualité de l'eau en été : quels impacts ?

Les effets d'une eau trop calcaire ou au goût désagréable peuvent être dérangeants en été.



Répondre au besoin d'hydratation du corps

Les fortes chaleurs nécessitent de s'hydrater régulièrement pour éviter les coups de chaud et autres insolations

Notamment pour :

- Les personnes âgées, qui ressentent moins la sensation de soif
- Les jeunes enfants, qui peuvent se déshydrater rapidement

Si l'eau du logement présente une odeur ou un arrière-goût désagréable, cela peut décourager sa consommation.

Peau et cheveux sont particulièrement exposés

Chlore de la piscine, sel marin, rayons UV... La peau et les cheveux sont soumis à rude épreuve durant l'été.

Les démangeaisons se multiplient. Le bien-être est particulièrement affecté en été.

À la maison, comment améliorer la qualité de l'eau en été ?

Différentes technologies permettent d'améliorer la qualité de l'eau en été, et tout le reste de l'année :



Les différents types de purificateurs :
améliorer le goût et l'odeur de l'eau pour encourager sa consommation



Les adoucisseurs d'eau :
résoudre le problème du calcaire, ce qui a un impact sur le bien-être corporel et sur les installations de la maison

UAE LA QUALITÉ DE VOTRE EAU AU QUOTIDIEN
L'eau, notre expertise

WWW.UAE.FR/JETRAITEMONEAU

Figure 10. Les impacts sur la qualité de l'eau (<https://uae.fr/jetraitement/la-qualite-de-leau-en-ete-quels-impacts/>)

1. Augmentation de la Turbidité

- **Description** : La turbidité est la mesure de la clarté de l'eau, influencée par la présence de particules en suspension.
- **Processus** : L'érosion emporte des particules de sol, de limon et d'argile dans les cours d'eau, augmentant la turbidité.
- **Impact** :
 - **Écologique** : La haute turbidité réduit la pénétration de la lumière solaire dans l'eau, affectant la photosynthèse des plantes aquatiques et des algues.
 - **Potabilité** : Les eaux turbides nécessitent des traitements supplémentaires pour être rendues potables, augmentant les coûts de purification de l'eau.

2. Transport de Polluants

- **Description** : Les particules érodées peuvent adsorber et transporter des polluants, tels que les pesticides, les métaux lourds et les nutriments.
- **Processus** : Lors de l'érosion, ces particules polluées sont emportées dans les cours d'eau et se dispersent dans les écosystèmes aquatiques.
- **Impact** :
 - **Écosystèmes Aquatiques** : Les polluants peuvent être toxiques pour la faune et la flore aquatiques, entraînant des mortalités et des perturbations des écosystèmes.
 - **Santé Humaine** : Les polluants dans les eaux de surface et souterraines peuvent contaminer les sources d'eau potable, posant des risques pour la santé publique.

3. Enrichissement en Nutriments (Eutrophisation)

- **Description** : L'eutrophisation est le processus par lequel les plans d'eau deviennent riches en nutriments, particulièrement le phosphore et l'azote.
- **Processus** : Les sols érodés riches en nutriments fertilisants sont transportés dans les cours d'eau, augmentant les concentrations de nutriments dans l'eau.
- **Impact** :
 - **Algues Nuisibles** : L'eutrophisation favorise la croissance excessive des algues, y compris les blooms d'algues toxiques qui peuvent produire des toxines dangereuses pour les humains et les animaux.
 - **Hypoxie** : La décomposition des algues consomme de l'oxygène dissous dans l'eau, créant des zones hypoxiques ou anoxiques où la vie aquatique est insupportable.

4. Sédimentation des Habitats Aquatiques

- **Description** : La sédimentation est l'accumulation de particules érodées au fond des plans d'eau.
- **Processus** : Les particules en suspension finissent par se déposer, recouvrant le substrat et les habitats benthiques.
- **Impact** :
 - **Faune Benthique** : La sédimentation peut étouffer les organismes benthiques, réduisant la biodiversité et perturbant les chaînes alimentaires.
 - **Reproduction des Poissons** : Les habitats de frai, comme les gravières, peuvent être enterrés sous les sédiments, réduisant les taux de reproduction des poissons.

5. Modification des Caractéristiques Physico-Chimiques de l'Eau

- **Description** : Les caractéristiques physico-chimiques incluent la température, le pH, la conductivité et les niveaux d'oxygène dissous.
 - **Processus** : L'érosion peut modifier ces caractéristiques en introduisant des particules, des nutriments et des polluants dans l'eau.
 - **Impact** :
 - **Température** : Les eaux turbides absorbent plus de chaleur, augmentant la température de l'eau et affectant les espèces sensibles à la température.
 - **pH et Conductivité** : Les sols érodés peuvent modifier le pH et la conductivité de l'eau, affectant la chimie de l'eau et la santé des organismes aquatiques.
- 6) **Coûts de réparation et de maintenance élevés** : L'érosion accélérée entraîne des coûts de réparation et de maintenance élevés pour les infrastructures et les terres affectées. Ces coûts sont dus à plusieurs facteurs, incluant les dommages aux structures, la perte de productivité agricole, et la nécessité de mettre en place des mesures de contrôle de l'érosion. Voici une explication détaillée des coûts associés à l'érosion accélérée :

1. Réparation des Infrastructures

- **Description** : Les infrastructures telles que les routes, les ponts, les bâtiments et les systèmes de drainage sont fréquemment endommagées par l'érosion.
- **Processus** : L'érosion affaiblit les fondations et les structures, provoquant des fissures, des affaissements, et parfois des effondrements.
- **Coûts** :
 - **Ponts et Routes** : Réparation des fondations érodées, renforcement des structures, reconstruction des segments endommagés.
 - **Bâtiments** : Renforcement des fondations, réparation des fissures et des murs endommagés, restauration des systèmes de drainage autour des bâtiments.

2. Entretien et Renforcement des Systèmes de Drainage

- **Description** : Les systèmes de drainage, comme les canalisations, les fossés et les barrages, sont souvent obstrués ou endommagés par l'érosion et le dépôt de sédiments.
- **Processus** : L'érosion transporte des sédiments qui s'accumulent dans les systèmes de drainage, réduisant leur efficacité et nécessitant un nettoyage et des réparations fréquentes.
- **Coûts** :
 - **Nettoyage** : Enlèvement régulier des sédiments et des débris des canalisations et des fossés.
 - **Renforcement** : Installation de revêtements protecteurs, comme des gabions ou des géotextiles, pour prévenir l'érosion future.

3. Réhabilitation des Terres Agricoles

- **Description** : Les terres agricoles touchées par l'érosion subissent une diminution de la fertilité et de la productivité.
- **Processus** : L'érosion enlève la couche arable fertile, obligeant les agriculteurs à investir dans la restauration des sols et des pratiques agricoles durables.
- **Coûts** :

- **Amendements du Sol** : Application de compost, de fumier, de chaux, et d'autres amendements pour restaurer la fertilité du sol.
- **Pratiques de Conservation** : Mise en place de terrasses, de haies végétales, de cultures de couverture, et d'autres techniques pour réduire l'érosion future.

4. Construction de Structures de Contrôle de l'Érosion

- **Description** : Des structures spécialisées sont nécessaires pour contrôler et prévenir l'érosion sur les terrains à risque.
- **Processus** : La conception et la construction de terrasses, de murets, de gabions, et d'autres structures stabilisent les sols et empêchent l'érosion.
- **Coûts de Maintenance** :
 - **Inspection Régulière** : Coût des inspections régulières pour s'assurer du bon état des structures.
 - **Réparations** : Coût des réparations nécessaires en cas de défaillance des structures, incluant le remplacement de matériaux endommagés et la remise en état des parties affectées.

Coût Total : Les coûts de construction peuvent varier de plusieurs milliers à plusieurs millions d'euros, selon la taille et la complexité des structures. Les coûts de maintenance sont également significatifs et doivent être budgétés sur le long terme.

5. Dépenses Imprévues et Gestion des Urgences

Description : Les événements imprévus comme les inondations ou les tempêtes peuvent entraîner des coûts supplémentaires pour la gestion des urgences et les réparations.

- **Coûts d'Intervention d'Urgence** :
 - **Réparation Temporaire** : Coût des réparations temporaires pour minimiser les dégâts jusqu'à ce que des réparations permanentes puissent être effectuées.
 - **Services d'Urgence** : Coût des services d'urgence tels que le déblaiement, l'assistance technique, et les interventions pour gérer les crises.
- **Coûts d'Assurance** :
 - **Primes d'Assurance** : Coût des primes pour assurer les infrastructures contre les dommages causés par l'érosion et les événements climatiques extrêmes.
 - **Franchise et Réparations Non Couvertes** : Coût des franchises et des réparations non couvertes par l'assurance.

Coût Total : Les dépenses imprévues peuvent varier largement, dépendant de la nature et de la gravité des événements. Elles incluent des coûts immédiats pour les réparations d'urgence et des frais pour l'assurance et les services spécialisés.

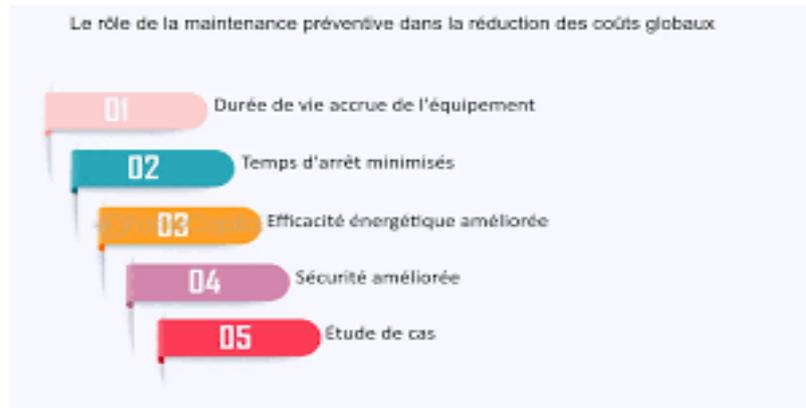


Figure 11. Coûts de maintenance des équipements impact (<https://fastercapital.com/fr/contenu/Couts-de-maintenance-des-equipements---impact-de-l-arret---calcul-des-couts-de-maintenance-des-equipements.html>)

Pour atténuer ces risques, il est crucial de mettre en œuvre des mesures de prévention et de protection adaptées, telles que la stabilisation des berges, l'utilisation de revêtements résistants à l'érosion, la gestion des eaux pluviales et des sédiments, ainsi que la mise en place de plans de gestion des risques intégrant des stratégies de surveillance et d'intervention en cas de besoin. Une approche intégrée et proactive est essentielle pour garantir la durabilité et la sécurité des ouvrages hydrauliques et des communautés qui en dépendent

Le phénomène d'érosion autour des ouvrages hydrauliques résulte de l'action de l'eau sur les matériaux qui constituent ou entourent ces structures. Voici une explication détaillée des mécanismes impliqués dans ce phénomène :

Mécanismes d'Érosion

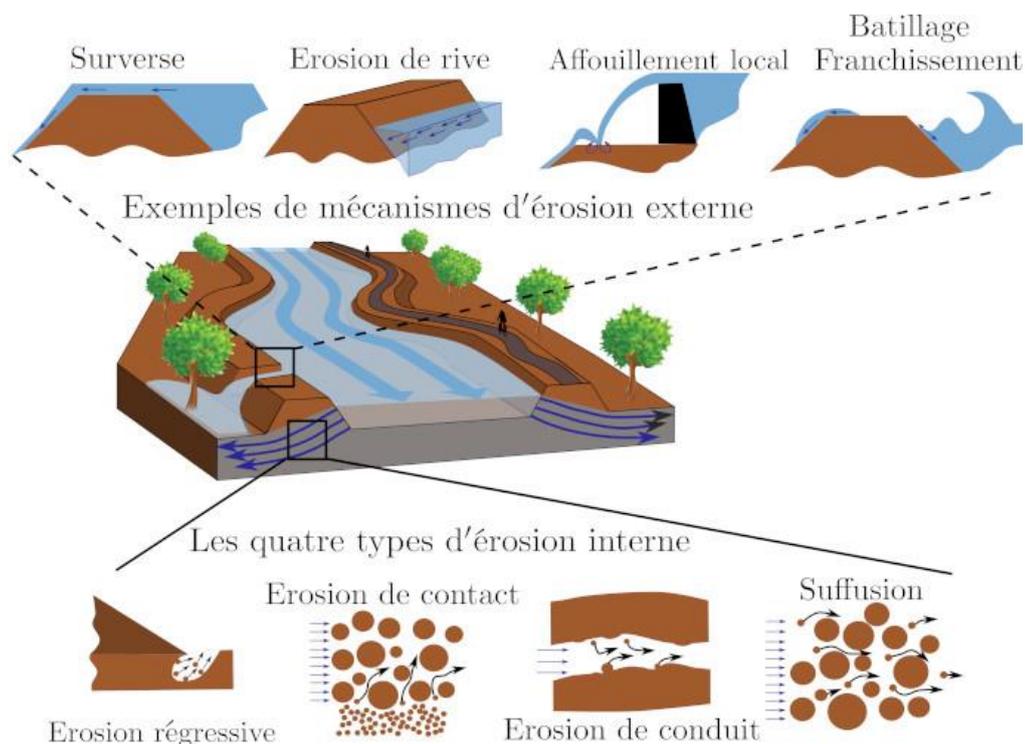


Figure 11. L'érosion des sols(<https://www.encyclopedie-environnement.org/sol/erosion-sols-histoire-fluide-grains/>)

L'érosion des sols est un processus naturel influencé par diverses forces environnementales, mais il peut être grandement accéléré par les activités humaines. Les mécanismes d'érosion comprennent l'action de l'eau, du vent, de la glace et de la gravité. Comprendre ces mécanismes est crucial pour développer des stratégies de prévention et de contrôle efficaces.

1. Érosion Hydrique

L'érosion hydrique est causée par l'action de l'eau et se manifeste sous plusieurs formes, chacune ayant des caractéristiques distinctes :

- **Ruissellement de Surface**
 - **Définition** : Le ruissellement de surface se produit lorsque la pluie tombe sur le sol et ne s'infiltre pas complètement, provoquant l'écoulement de l'eau à la surface.
 - **Processus** : Les gouttes de pluie détachent les particules de sol, qui sont ensuite transportées par l'eau qui s'écoule.
 - **Impacts** : Ce phénomène peut entraîner la perte de la couche arable, la diminution de la fertilité des sols et le colmatage des cours d'eau.
- **Érosion en Rigoles**
 - **Définition** : L'érosion en rigoles survient lorsque l'eau de ruissellement forme des petits canaux sur la surface du sol.
 - **Processus** : À mesure que l'eau de ruissellement s'accumule, elle creuse des rigoles, emportant des quantités croissantes de sol.
 - **Impacts** : Les rigoles peuvent se transformer en ravines si elles ne sont pas contrôlées, entraînant une érosion plus sévère.

- **Érosion en Ravines**

- **Définition** : L'érosion en ravines est une version plus intense de l'érosion en rigoles, caractérisée par la formation de grands canaux profonds.
- **Processus** : L'eau de ruissellement se concentre dans des zones spécifiques, creusant profondément et créant des ravines.
- **Impacts** : Les ravines peuvent couper des terres agricoles en deux, rendre les terrains impraticables et causer des pertes de sol significatives.

- **Érosion Fluviale**

- **Définition** : L'érosion fluviale est l'érosion des berges et des lits des rivières par l'action de l'eau courante.
- **Processus** : Les courants d'eau érodent les rives des rivières, transportant les sédiments en aval.
- **Impacts** : Cela peut modifier le cours des rivières, provoquer des inondations et déstabiliser les infrastructures riveraines.

2. Érosion Éolienne

L'érosion éolienne est causée par l'action du vent, particulièrement dans les régions arides et semi-arides.

- **Déflation**

- **Définition** : La déflation est le processus par lequel le vent soulève et emporte les particules fines de la surface du sol.
- **Processus** : Les particules de sol sont transportées sur de longues distances, laissant derrière elles une surface déprimée.
- **Impacts** : Ce phénomène peut conduire à la formation de déserts et à la perte de sol fertile.

- **Corrasion**

- **Définition** : La corrasion est l'usure des surfaces par l'impact des particules transportées par le vent.
- **Processus** : Les particules de sol, en suspension dans l'air, frappent les surfaces rocheuses et d'autres particules, les érodant progressivement.
- **Impacts** : La corrasion peut sculpter des formations rocheuses et user les structures humaines.

3. Érosion Glaciaire

L'érosion glaciaire est provoquée par le mouvement des glaciers, qui transportent des roches et des sédiments.

- **Abrasion Glaciaire**

- **Définition** : L'abrasion glaciaire est le grattage et le polissage du substrat rocheux par les glaciers en mouvement.
- **Processus** : Les glaciers, en se déplaçant, raclent le sol et les roches en dessous d'eux, transportant les matériaux arrachés.
- **Impacts** : Cela peut créer des stries et des rainures sur les roches, ainsi que former des vallées glaciaires en forme de U.

- **Creusement Glaciaire**
 - **Définition** : Le creusement glaciaire est l'excavation de la terre par les glaciers.
 - **Processus** : Les glaciers arrachent et transportent de grandes quantités de sol et de roches, formant des dépressions profondes et des fjords.
 - **Impacts** : Les paysages glaciaires résultants, comme les vallées et les lacs, témoignent de l'impact puissant des glaciers sur le terrain.

4. Érosion Gravitaire

L'érosion gravitaire résulte de la force de gravité qui déplace les matériaux en pente.

- **Éboulements**
 - **Définition** : Les éboulements se produisent lorsque des blocs de roche se détachent des parois rocheuses et dévalent les pentes.
 - **Processus** : La désagrégation mécanique, souvent causée par des processus de gel-dégel, fait se détacher des morceaux de roche qui tombent en bas des pentes.
 - **Impacts** : Les éboulements peuvent causer des dommages aux structures, obstruer les routes et mettre en danger les vies humaines.
- **Glissements de Terrain**
 - **Définition** : Les glissements de terrain sont des mouvements rapides de masses de sol et de roches le long des pentes.
 - **Processus** : Après de fortes pluies ou des séismes, les sols saturés d'eau perdent leur cohésion et glissent en bas des pentes.
 - **Impacts** : Les glissements de terrain peuvent entraîner des destructions massives de propriétés et d'infrastructures, et représenter une menace sérieuse pour la sécurité des populations.
- **Coulées de Boue**
 - **Définition** : Les coulées de boue sont des mélanges de sol, de roches et d'eau qui descendent les pentes à grande vitesse.
 - **Processus** : Lors de fortes précipitations, les sols saturés se mélangent à l'eau, formant une boue épaisse qui dévale les pentes.
 - **Impacts** : Les coulées de boue peuvent causer des dégâts considérables aux structures et infrastructures en aval et représentent un danger mortel pour les habitants des zones touchées.

Facteurs Contributifs

Les mécanismes d'érosion sont influencés par divers facteurs environnementaux et anthropiques, notamment :

- **Topographie** : Les pentes abruptes augmentent la vitesse de l'érosion hydrique et gravitaire, favorisant le déplacement rapide des matériaux.
- **Climat** : Les précipitations intenses, les vents forts, les variations de température et les cycles de gel-dégel jouent un rôle crucial dans l'érosion.
- **Végétation** : La couverture végétale protège le sol contre l'érosion hydrique et éolienne en stabilisant les particules de sol et en réduisant la vitesse du vent et du ruissellement.
- **Activités humaines** : Les pratiques agricoles non durables, le déboisement, l'urbanisation, la construction d'infrastructures et l'extraction minière peuvent exacerber l'érosion en déstabilisant les sols et en augmentant l'exposition aux forces érosives.

Conclusion

Comprendre les mécanismes d'érosion est essentiel pour développer des stratégies efficaces de gestion et de conservation des sols. En adoptant des pratiques de gestion durable des terres, en utilisant des techniques de génie civil et végétal, et en sensibilisant les communautés aux impacts de l'érosion, il est possible de réduire les pertes de sol et de protéger les écosystèmes et les infrastructures. Les efforts concertés pour minimiser l'érosion contribuent à la durabilité des ressources naturelles et à la résilience des communautés face aux défis environnementaux.

Quantification d'érosion accélérée :

La quantification de l'érosion accélérée autour des ouvrages hydrauliques est essentielle pour comprendre l'étendue des dommages potentiels et pour concevoir des mesures de prévention et de remédiation efficaces. Voici les principales méthodes et approches utilisées pour quantifier l'érosion accélérée :

1. Mesure Directe sur le Terrain

- **Érosion par profilage** : Mesure des changements de profil de la surface érodée à des intervalles de temps réguliers. Cela peut être fait à l'aide de niveaux, de GPS différentiel ou de technologies LiDAR (Light Detection and Ranging).
- **Piquets de suivi** : Enfoncez des piquets dans le sol à des points spécifiques et mesurez la profondeur d'enfouissement ou de déchaussement à intervalles réguliers.
- **Marqueurs de surface** : Utilisation de marqueurs (comme des roches peintes ou des dispositifs RFID) placés à la surface du sol pour suivre leur déplacement en fonction de l'érosion.

2. Techniques Géophysiques

- **Sondages électriques** : Utilisation de résistivité électrique pour détecter les changements dans la composition du sol et identifier les zones érodées ou affaiblies.
- **Géoradar (GPR)** : Utilisation de radars pénétrants pour détecter les changements dans les couches du sol, les cavités et les zones érodées.

3. Analyses Sédimentaires

- **Pièges à sédiments** : Installation de dispositifs pour collecter les sédiments transportés par l'eau, permettant de quantifier la charge sédimentaire et le taux d'érosion.
- **Analyses granulométriques** : Étude de la distribution granulométrique des sédiments érodés pour comprendre les processus d'érosion en cours.

4. Modélisation et Simulation

- **Modèles numériques d'érosion** : Utilisation de logiciels de modélisation comme HEC-RAS, SWAT (Soil and Water Assessment Tool), ou WEPP (Water Erosion Prediction Project) pour simuler les processus d'érosion et prédire les taux d'érosion sous différentes conditions.
- **Modélisation physique** : Création de modèles réduits en laboratoire pour étudier les processus d'érosion et les effets des différentes mesures de protection.

5. Observation Aérienne et Satellite

- **Photogrammétrie aérienne** : Utilisation de drones ou d'avions pour capturer des images aériennes à haute résolution et créer des modèles numériques de terrain (MNT) pour suivre les changements de topographie.
- **Imagerie satellite** : Utilisation d'images satellite pour surveiller les changements de l'occupation des sols et les processus d'érosion à grande échelle.

6. Techniques de Datation

- **Datation par radionucléides** : Utilisation de radionucléides tels que le ^{137}Cs pour estimer les taux de sédimentation et d'érosion sur des périodes de plusieurs décennies.
- **Luminiscence stimulée optiquement (OSL)** : Technique pour dater le dernier moment où les grains de sédiment ont été exposés à la lumière, aidant à comprendre les histoires d'érosion et de dépôt.

7. Suivi Hydrologique et Hydraulique

- **Débitmètres** : Mesure des débits d'eau pour comprendre les dynamiques hydrologiques et leurs impacts sur l'érosion.
- **Stations hydrométriques** : Suivi des niveaux d'eau et des débits pour évaluer les forces hydrauliques responsables de l'érosion.

Ces méthodes et techniques peuvent être utilisées de manière combinée pour obtenir une image complète et précise des processus d'érosion accélérée. Les données recueillies permettent d'évaluer les risques, de concevoir des mesures de protection efficaces et d'assurer la durabilité des ouvrages hydrauliques.

Risques d'érosion autour des ouvrages hydrauliques :

Les risques d'érosion autour des ouvrages hydrauliques sont variés et peuvent avoir des conséquences graves pour les infrastructures et les environnements environnants. Voici une vue détaillée des principaux risques associés à l'érosion autour des ouvrages hydrauliques :

1. Risque de Rupture et de Défaillance Structurale

- **Digues et Barrages** : L'érosion peut affaiblir la structure des digues et des barrages, augmentant le risque de rupture. Une rupture peut entraîner des inondations catastrophiques, mettant en danger les vies humaines et les propriétés en aval.
- **Érosion de la Base** : L'érosion à la base d'une structure hydraulique peut déstabiliser la fondation, provoquant des effondrements partiels ou complets.

2. Augmentation des Risques d'Inondation

- **Réduction de la Capacité de Contention** : L'érosion peut réduire la capacité des digues et des réservoirs à contenir l'eau, augmentant les risques d'inondation lors de fortes pluies ou de crues.
- **Modification des Schémas d'Écoulement** : L'érosion des berges des rivières et des canaux peut modifier les schémas d'écoulement de l'eau, créant de nouveaux chemins pour l'eau qui peuvent inonder des zones non prévues.

3. Dégradation des Infrastructures Adjacentes

- **Ponts et Routes** : L'érosion des berges et des fondations des ponts peut compromettre la stabilité de ces infrastructures, menant à des fermetures de routes et des réparations coûteuses.
- **Installations Urbaines et Industrielles** : Les bâtiments et les infrastructures situés près des ouvrages hydrauliques peuvent être endommagés par l'érosion, nécessitant des mesures de renforcement et de réparation.

4. Perte de Sol et de Terres Agricoles

- **Berges et Terrains Agricoles** : L'érosion des berges peut entraîner la perte de terres agricoles précieuses, réduisant la superficie disponible pour la culture et affectant les moyens de subsistance des agriculteurs.
- **Dégradation des Sols** : L'érosion entraîne la perte des couches supérieures fertiles du sol, diminuant la productivité agricole et augmentant les coûts de réhabilitation.

5. Impacts Environnementaux

- **Destruction des Habitats** : L'érosion peut détruire les habitats naturels des espèces animales et végétales, entraînant une perte de biodiversité.
- **Pollution des Eaux** : L'érosion peut entraîner le transport de sédiments et de polluants dans les cours d'eau, affectant la qualité de l'eau et les écosystèmes aquatiques.

6. Coûts Économiques et Sociaux

- **Réparations et Entretien** : La réparation des dommages causés par l'érosion peut être coûteuse et nécessiter des interventions fréquentes pour maintenir la fonctionnalité des ouvrages hydrauliques.
- **Perte de Revenus** : Les inondations et la dégradation des terres peuvent entraîner une perte de revenus pour les communautés locales, affectant l'économie locale et le bien-être des résidents.

7. Risques pour la Sécurité Humaine

- **Évacuations et Secours** : Les inondations causées par l'érosion peuvent nécessiter des évacuations d'urgence et des opérations de secours, mettant en danger la vie des personnes et nécessitant des ressources importantes pour les opérations de sauvetage.
- **Santé Publique** : L'érosion peut entraîner la contamination des sources d'eau potable, posant des risques pour la santé publique.

Mesures de Prévention et de Gestion

Pour atténuer ces risques, diverses mesures peuvent être mises en place :

- **Stabilisation des Berges** : Utilisation de techniques de génie végétal, de gabions, de murs de soutènement et de revêtements pour stabiliser les berges et prévenir l'érosion.

- **Gestion des Débits** : Contrôle des débits d'eau en amont pour réduire les forces érosives, notamment par la construction de bassins de rétention et de régulation des crues.
- **Surveillance et Maintenance** : Mise en place de programmes de surveillance régulière pour détecter les signes d'érosion et entreprendre des actions correctives rapides.
- **Revêtements Résistants** : Application de revêtements résistants à l'érosion, comme le béton armé ou les géotextiles, sur les surfaces exposées.
- **Planification et Zonage** : Développement de plans de zonage pour limiter la construction et l'utilisation des terres dans les zones à haut risque d'érosion.

Une approche intégrée et proactive est essentielle pour gérer efficacement les risques d'érosion autour des ouvrages hydrauliques et pour protéger les infrastructures, les communautés et les écosystèmes environnants.

[2] "**Soil Erosion and Conservation**" par R. P. C. Morgan

[3] "**The Effects of Erosion on Soil Fertility**" dans des revues environnementales.

[4] "**Principles of Geomorphology**" par W. D. Thornbury.

CHAPITRE 03 : Moyens de protection contre l'érosion

Introduction :

La protection contre l'érosion est cruciale pour maintenir l'intégrité des ouvrages hydrauliques et préserver les infrastructures, les terres agricoles, et les écosystèmes naturels. L'érosion peut causer des dommages significatifs, notamment la déstabilisation des berges, la dégradation des sols, et la perte de terres arables, ce qui peut avoir des conséquences économiques et environnementales graves. Divers moyens de protection peuvent être mis en place pour prévenir ou atténuer les effets de l'érosion. Ces moyens incluent des solutions techniques, biologiques et des stratégies de gestion intégrée.



Figure 12. Lutte contre l'érosion(Wikipédia)

1. Méthodes préventive contre l'érosion

Les méthodes préventives contre l'érosion visent à stabiliser les sols, à réduire les forces érosives et à protéger les structures et les terres environnantes. Voici un ensemble complet de méthodes préventives, réparties en différentes catégories :

1. Méthodes de Génie Civil

A. Revêtements et Enrochements



Figure 13. L'enrochement des revêtements des murs.

- **Revêtements en béton** : Appliquer du béton sur les berges et les talus pour les protéger contre l'érosion causée par l'eau courante.
- **Enrochements** : Placer des roches de grande taille sur les berges des rivières et des canaux pour absorber l'énergie des vagues et des courants.

B. Murs de Soutènement¹

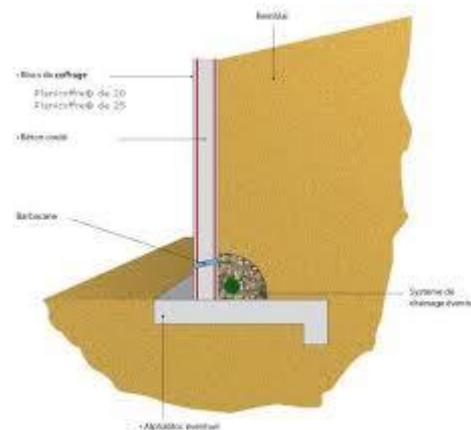


Figure 14. Mur de soutènement.

- **Murs en gabions** : Utiliser des cages métalliques remplies de pierres pour stabiliser les berges et retenir les sols.
- **Murs en béton** : Construire des murs en béton pour soutenir les sols en pente et prévenir les glissements de terrain.

2. Méthodes de Génie Végétal

A. Végétation de Berge

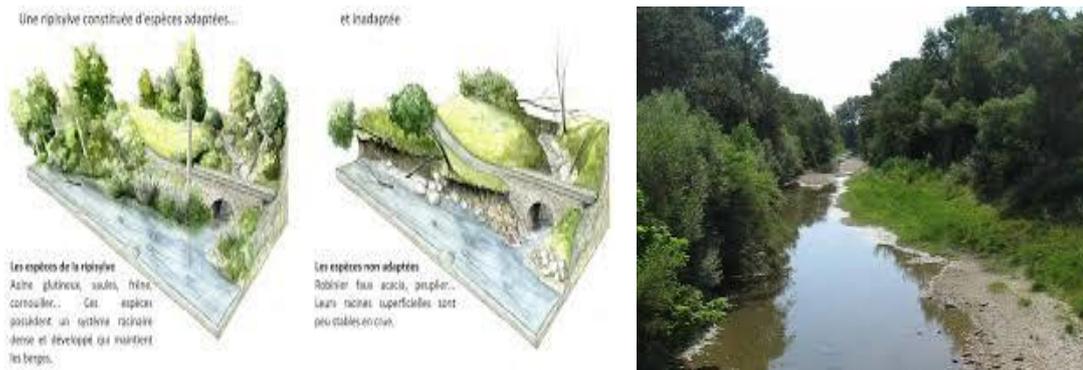


Figure 15. Entretenir la végétation des berges

- **Plantation d'arbres et d'arbustes** : Les racines des plantes renforcent le sol et réduisent l'érosion causée par le ruissellement de l'eau.
- **Ensemencement d'herbes** : Semer des herbes à enracinement dense pour stabiliser les sols de surface.

B. Bioingénierie

- **Fascines** : Utiliser des faisceaux de branches pour renforcer les berges des rivières et stabiliser les sols.
- **Nattes de coco et fibres géotextiles** : Employer des matériaux biodégradables pour couvrir et stabiliser les sols en pente.

1. Méthodes de Gestion des Eaux



Figure 16. Bassins des rétention des eaux pluviales.

- **Bassin de rétention temporaire** : Construire des bassins pour retenir temporairement les eaux pluviales et réduire les débits de pointe.
- **Bassin de rétention permanente** : Créer des étangs ou des bassins qui stockent l'eau en permanence, permettant la sédimentation des particules avant que l'eau ne soit libérée.

A. Canaux de Déviation



Figure 17. Canal de déviation de l'eau.

- **Canaux de drainage** : Construire des canaux pour diriger l'eau loin des zones vulnérables à l'érosion.
- **Systèmes de gouttières et de tuyaux** : Installer des systèmes pour contrôler le ruissellement des eaux pluviales et prévenir l'érosion autour des bâtiments.

4. Techniques de Stabilisation des Sols

A. Stabilisants Chimiques

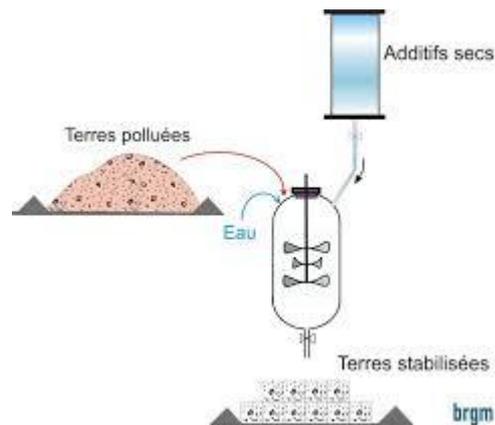


Figure18. Solidification.

- **Liants hydrauliques** : Utiliser des ciments ou de la chaux pour stabiliser les sols et réduire leur susceptibilité à l'érosion.
- **Polymères** : Appliquer des produits chimiques sur les sols pour améliorer leur cohésion et leur résistance à l'érosion.

B. Amendements du Sol



Figure 19. Les amendements organiques.

- **Compost et matières organiques** : Ajouter du compost et d'autres matières organiques pour améliorer la structure du sol et augmenter sa capacité à retenir l'eau.
- **Fibres végétales** : Utiliser de la paille, des copeaux de bois ou d'autres fibres pour stabiliser les sols de surface.

5. Stratégies de Gestion Intégrée

A. Zonage et Planification de l'Utilisation des Terres

- **Réglementation des constructions** : Limiter les constructions dans les zones à haut risque d'érosion.
- **Agriculture durable** : Encourager les pratiques agricoles qui réduisent l'érosion, comme le labour en courbes de niveau et la culture en terrasses.

B. Surveillance et Maintenance

- **Programmes de surveillance** : Mettre en place des programmes pour inspecter régulièrement les zones à risque et détecter les signes d'érosion.
- **Maintenance préventive** : Effectuer des réparations et des entretiens réguliers pour maintenir l'intégrité des structures et des sols.

C. Éducation et Sensibilisation

- **Formation des communautés locales** : Sensibiliser les communautés sur les pratiques de gestion durable des sols et de l'eau.
- **Campagnes de sensibilisation** : Informer le public sur les causes et les conséquences de l'érosion et sur les moyens de la prévenir.

2. Méthodes après l'érosion

Après qu'une zone a subi des dommages dus à l'érosion, il est crucial d'adopter des méthodes de réhabilitation et de restauration pour stabiliser les sols, prévenir de nouveaux dommages et favoriser la récupération de l'environnement affecté. Voici plusieurs méthodes couramment utilisées après l'érosion :

1. Réhabilitation Végétale



Figure 20. Réhabilitation des berges en génie végétal .

- **Replantation d'Espèces Végétales** : Introduire des plantes adaptées au climat local pour restaurer la couverture végétale, stabiliser les sols et réduire l'érosion.
- **Ensemencement** : Semer des graines d'herbes, de légumineuses ou d'autres plantes qui favorisent la couverture végétale et contribuent à la stabilisation des sols.
- **Utilisation de Coupes Végétales** : Utiliser des fragments de végétation existants pour favoriser la régénération naturelle et protéger les sols exposés.

2. Techniques de Génie Civil

- **Construction de Barrières Physiques** : Installer des gabions, des murs de soutènement ou d'autres structures pour stabiliser les talus et prévenir de nouveaux glissements de terrain.
- **Réparation des Structures Endommagées** : Reconstruire ou réparer les digues, les barrages et autres infrastructures hydrauliques pour restaurer leur fonctionnalité et prévenir les inondations.

2. Stabilisation et Renforcement des Sols



Figure 21. Stabilisation et Renforcement des sols .

- **Utilisation de Stabilisants Chimiques** : Appliquer des agents stabilisants comme des ciments, des polymères ou des produits chimiques pour renforcer la structure des sols et réduire leur érodabilité.
- **Amélioration de la Structure du Sol** : Incorporer du compost, des matières organiques ou des fibres végétales pour améliorer la capacité du sol à retenir l'eau et à résister à l'érosion.

3. Techniques de Gestion des Eaux



Figure 22. Techniques de gestion d'eau.

- **Contrôle des Eaux de Ruissellement** : Aménager des bassins de rétention ou des canaux de dérivation pour capturer et gérer les eaux de ruissellement, réduisant ainsi la vitesse et l'impact de l'eau sur les sols.
- **Érosion Hydraulique** : Gérer le drainage et l'irrigation pour éviter l'accumulation d'eau et prévenir l'érosion par saturation.

4. Surveillance et Maintenance

- **Surveillance Continue** : Établir un programme de surveillance régulier pour évaluer l'efficacité des mesures prises et détecter les signes précoces de nouveaux problèmes d'érosion.
- **Maintenance Préventive** : Effectuer des travaux d'entretien périodiques pour assurer la durabilité des structures et des systèmes mis en place.

5. Éducation et Sensibilisation

- **Formation et Sensibilisation Communautaire** : Informer les communautés locales sur les bonnes pratiques de conservation des sols et de gestion des ressources naturelles pour prévenir l'érosion future.

Ces méthodes après l'érosion sont souvent appliquées de manière intégrée, en fonction des caractéristiques spécifiques du site et des objectifs de restauration écologique ou d'aménagement du territoire. Elles visent à rétablir l'équilibre écologique, à protéger les infrastructures et à assurer la durabilité à long terme des écosystèmes affectés.

-
- [5] *Erosion and Sedimentation* par J. M. R. Wainwright et M. J. S. N. K. Atkinson.
- [6] *Soil Erosion: A Global Overview* par M. P. McCool, et al.
- [7] Zhang, W., & Wang, C. (2018). "A review of soil erosion control techniques in China". *Environmental Science and Pollution Research*, 25(12), 11536-11548.
- [8] Pimentel, D., & Burgess, M. (2013). "Soil erosion threatens food production". *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 93(1-3), 135-143.

CHAPITRE 04 : Présentation de la zone d'étude

1. Introduction :

Ain Témouchent, ville chef-lieu d'une province historique, tire son nom d'un dialecte berbère signifiant "source des chacals", bien que ce sens ait été longtemps débattu. Finalement, il semble que les Berbères du XIV^e siècle utilisaient ce terme pour désigner leur agglomération, même si, étymologiquement, le nom se traduirait plutôt par "source de la femelle du chacal".

2. Racines Historiques d'Ain-Témouchent

Lorsque le poète écrit : « Terre, ne laissez pas mes grandes phrases seules... », il fait écho à l'idée que Ain Témouchent représente « l'Algérie, la terre du Possible ». Initialement un petit village français, Ain Témouchent devient rapidement une commune, exemplaire de la colonisation française en Algérie. La ville se développe notamment grâce à l'introduction de la culture de la vigne après la crise du phylloxéra en France entre 1880 et 1890. En l'espace de 130 ans, Ain Témouchent devient la capitale algérienne du vin, soutenue par la création d'une École d'Agriculture. L'histoire de la ville est inextricablement liée à celle de l'Algérie française, laissant une empreinte durable de cette époque. En 1955, Ain Témouchent est érigée en sous-préfecture du département d'Oran, avant de devenir une Daira après l'indépendance en 1962, puis d'accéder au statut de Wilaya en 1984.

3. Vue d'Ensemble de la Ville :

La wilaya d'Ain Témouchent, en arabe : دَشِيرَةُ عِخَالٍ et en berbère : □□□□□□□□ I □□□□ □□□□□□□□, se situe à l'ouest de l'Algérie, entre les wilayas d'Oran, Tlemcen et Sidi-Bel-Abbès. Il s'agit d'une collectivité publique territoriale et d'une circonscription administrative de l'État algérien, dont le chef-lieu est la ville d'Ain Témouchent. Créée par une loi du 4 février 1984, cette wilaya couvre une superficie d'environ 2 377 km².

4. Localisation Géographique :

La Wilaya d'Ain Témouchent, située dans l'ouest de l'Algérie, bénéficie d'une position géographique avantageuse grâce à sa proximité avec trois grandes villes :

- Oran, au nord-est, à 70 km du chef-lieu,
- Sidi Bel Abbès, au sud-est, également à 70 km,

- Tlemcen, au sud-ouest, à 75 km.



Figure 23. La géographie d'Ain Temouchent.

Elle possède également une façade maritime de 80 km, s'étendant à travers neuf communes : Béni Saf, Bouzedjar, Terga, Sidi Ben Adda, Oulhaça El Gherraba, Sidi Safi, Bouzedjar, Messaid et Ouled Kihal.

Frontières Géographiques :

- Au nord : la mer Méditerranée et Oran.
- Au sud : les wilayas de Tlemcen et Sidi Bel Abbès.
- À l'ouest : la Méditerranée et la wilaya de Tlemcen.
- À l'est : les wilayas d'Oran et Sidi Bel Abbès.

La Wilaya d'Ain Temouchent a été créée lors du découpage territorial de 1984. Elle se compose de 28 communes et de 8 Daïras, réparties comme suit :



Figure 24. Daïras Ain Temouchent.

5. Enquête sur les ouvrages hydrauliques :

Des dégâts occasionnés sur les ouvrages hydrauliques par les crues des 22/23 janvier 2014.

Des inondations catastrophiques ont frappé l'ensemble des territoires de la Wilaya Ain Temouchent du 22 et 23 Janvier 2014 qui sont dues à la conjonction d'une évènement météorologique exceptionnel.

La lame d'eau écoulée à dépassé largement 120 mm, cette intensité a engendré des crues exceptionnels allant de 20 à 150 m^3/s au niveau des principaux oueds qui drainent le territoire de la Wilaya (Oued Malah, O/ Tafna, O/ Hallouf et O/ Mekhaissia) ce qui s'est traduit par l'émersion des petits barrages (O/ Sidi Ameur, O/ Sidi Haddouche, O/ Sekkane, ...)

Propositions et recommandations :

- Aménagement des Oueds.
- Curage des Oueds.
- Rééquilibrage des Oueds.
- Surélévation de la hauteur de la digue.

Quelques Barrages :

A partir du bureau de la Wilaya de Ain Témouchent on a pris ces quelques Images.



Figure 25. Le petit barrage de Ouizert.



Figure 26. Le petit barrage de Hammam Bouhdjar.



Figure 27. Mekhayssiya.



Figure 28. Michemich

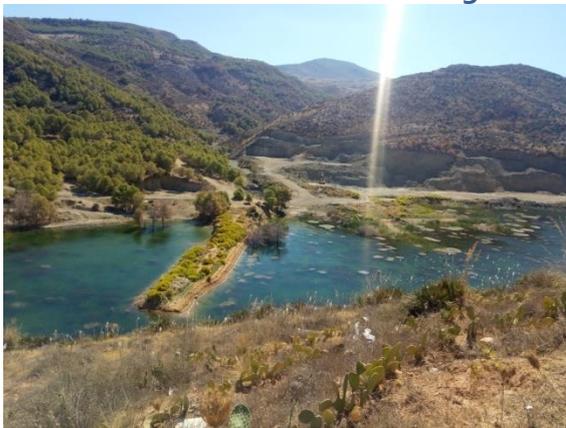


Figure 29. O/ Besbes



Figure 30. Ouled Azzouz



Figure 31. P B Oued Bendjeloul



Figure 32. RC Ain Guemal



Figure 33. RC Chaabet el hamra

6. Recensement :

Durant l'année hydrologique 2022/2023, la wilaya d'Ain T'émouchent a enregistré une importante chute de pluie, environ 239.7 mm qui était bénéfique pour le remplissage des retenus collinaires et petits barrages à travers la wilaya.

Les 13 infrastructures hydrauliques que compte la Wilaya entre 10 petits barrages et 03 retenus collinaires d'une capacité théorique totale de **12 Hm³** sont exploités à des fins d'irrigation par les fellahs limitrophes soit individuellement, soit par l'intermédiaire des associations des irrigants qui ont la charge de gestion.

GRANDES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES EXISTANTES OU EN PROJET SUR LA WILAYA :

Toutefois, la wilaya compte plusieurs petits barrages, dont les emplacements sont répertoriés dans le tableau ci-dessous (à partir du beau d'étude de la Wilaya de Ain Témouchent) :

N°	Nom de l'Ouvrage	Commune	Daira	Année de mise en service	Hauteur de la digue (m)	Capacité (Hm ³)Théorique
1	O/ Sidi Aneur	Ouled Kihal	El Maleh	1998	22.80	1.430
2	O/Bouguedra (R.C)	El Maleh	El Maleh	2008	10.39	0.404
3	O/ Ain Guemmal	Aghlal	Ain Kihal	1992	10.50	0.240
4	O/ Michemiche	Aghlal	Ain Kihal	1989	12.50	0.300
5	O/ Sidi Haddouche	Ain Kihal	Ain Kihal	1992	18.00	0.520
6	O/Bendje lloul	Oulhaça	Oulhaça	1995	14.50	0.962
7	O/Sekkan e	Ain Tolba	Ain Kihal	1991	13.10	0.547
8	O/ Mekhaissia	Sidi Ben Adda	Ain Temouchent	2008	26.50	2.960
9	O/ Ouled Azzouz (R.C)	Sidi Ouriache	Oulhaça	2007	10.50	0.110
10	O/ Kolla	Hassasna	Hammam Bouhdjar	2006	21.20	0.300
11	Chaabet El Hamra (R.C)	Aghlal	Ain Kihal	2012	11.80	0.200
12	O/ Ghassoul	Tamazourah	Ain Larbaa	2018	27.10	2.100
13	O/Besbes	Sidi Boumedienne	Ain Larbaa	2020	26.30	1.612
					/	11.685

Tableau 01. État des petits barrages et retenues collinaires.

Sur les cinq retenues collinaires construites dans la région des Monts du Tessala - Béni Chougrane au début des années 1990, trois sont actuellement à sec, avec des taux d'envasement compris entre 20% et 60%. La quatrième, la retenue de Hachama, est entièrement envasée et nécessite des travaux de réhabilitation.

Dans la région des Plaines et Coteaux d'Ain Témouchent - M'leta, parmi les quatre ouvrages existants, seule la retenue collinaire de Sekkane est encore en exploitation, bien qu'elle soit presque à sec. Le petit barrage de Sidi Aneur, dont le niveau d'eau a atteint un point critique, fait l'objet d'un arrêté du Wali interdisant tout prélèvement d'eau depuis 2006. Le barrage de Mekhaissia et la retenue d'Ouled Bouguedra, plus récemment construits, n'ont pas encore atteint un niveau d'eau suffisant pour leur exploitation.

Enfin, les côtes littorales du Tlemcenais-Oranais comptent deux ouvrages : le barrage de Ben Djelloul et la retenue d'Ouled Azouz, tous deux en exploitation, mais à un niveau réduit.

Il est important de noter qu'aucune valorisation collective de ces ouvrages n'est effectuée en raison de l'absence d'une association d'utilisateurs fonctionnelle. Bien qu'un syndicat ait été créé, il n'est malheureusement pas opérationnel. De ce fait, l'eau est majoritairement prélevée de manière individuelle, souvent par pompage.

7. Les risques d'inondations :

La Wilaya d'Ain Témouchent, située à l'ouest de l'Algérie, fait face à des risques d'inondation significatifs concernant ses petits barrages et oueds. Ces risques sont principalement dus à plusieurs facteurs :

1. **Relief et Climat :** Le relief varié, incluant des pentes abruptes, et un climat caractérisé par des pluies intenses et concentrées favorisent les crues soudaines. Les eaux de pluie s'accumulent rapidement dans les oueds, augmentant le risque de débordement des barrages.
2. **Envasement :** L'envasement des barrages, causé par le dépôt de sédiments, réduit leur capacité de stockage. Cela les rend plus vulnérables aux débordements en période de fortes pluies.
3. **Maintenance et Gestion :** Le manque de maintenance régulière et l'absence de gestion coordonnée des barrages aggravent les risques. Les infrastructures ne sont pas toujours en bon état, et les systèmes de gestion des crues sont souvent insuffisants.
4. **Impact de l'Urbanisation :** L'urbanisation croissante et les changements d'utilisation des sols modifient les régimes de drainage naturel, augmentant le volume de ruissellement et le risque d'inondation.

Pour atténuer ces risques, il est crucial d'améliorer la gestion des barrages, d'augmenter les efforts de maintenance, et de mettre en place des plans de gestion des crues adaptés aux spécificités locales. La coordination entre les différents acteurs et la sensibilisation des communautés sont également essentielles pour une gestion efficace des risques d'inondation.

8. Stratégies de Protection des Cours d'Eau dans la Wilaya d'Ain Témouchent :

En soulignant l'importance des oueds dans la Wilaya d'Ain Témouchent, où ils jouent un rôle vital dans la gestion des ressources en eau et la prévention des inondations, voici une vue d'ensemble des principales techniques de protection des cours d'eau.

1. Aménagement des Berges



Figure 34. Le Projet d'Aménagement d'Oued Harrach

- **Stabilisation des Berges** : Le renforcement des berges à l'aide de gabions (cages en métal remplies de pierres) ou d'enrochements est une méthode courante pour réduire l'érosion le long des oueds. Ces techniques permettent de stabiliser les sols et d'empêcher leur dégradation, surtout pendant les fortes pluies.
- **Reboisement et Végétalisation** : La plantation d'arbres et d'arbustes le long des oueds contribue à réduire l'érosion des berges. Les racines des plantes aident à maintenir la cohésion des sols, réduisant ainsi les risques d'effondrement des berges et améliorant la rétention d'eau.

2. Gestion des Sédiments

- **Désenvasement** : L'accumulation de sédiments est un problème majeur pour les oueds et les barrages dans la Wilaya d'Ain Témouchent. Le nettoyage périodique des lits des oueds et des retenues est essentiel pour maintenir leur capacité à évacuer les eaux. Cette mesure prévient l'envasement qui peut réduire la capacité des ouvrages à gérer les crues.
- **Bassins de Rétention des Sédiments** : Ces structures captent les sédiments avant qu'ils n'atteignent les oueds. Elles permettent de préserver la capacité de drainage et de réduire l'accumulation de matériaux qui pourraient bloquer les écoulements.



Figure 35. Valorisation des sédiments du barrages

3. Gestion des Crues



Figure 36. "Gestion des Crues : Exemples d'Interventions"

- **Barrage Anti-Crue :** La construction de petits barrages destinés à retenir temporairement l'eau de crue est une méthode efficace pour atténuer les inondations. Ces barrages ralentissent le flux des eaux et permettent une libération progressive, évitant ainsi les inondations soudaines.
- **Déviatation des Crues :** En cas de crues importantes, des canaux de dérivation peuvent être utilisés pour rediriger l'eau vers des zones de rétention contrôlées, afin de protéger les zones habitées ou les terres agricoles.

3. Maintenance et Surveillance



Figure 37. Activités de Surveillance et de Maintenance des Barrages.

- **Entretien Régulier des Ouvrages Hydraulique :** La maintenance des infrastructures, comme les petits barrages et les digues, est cruciale pour assurer leur bon fonctionnement. Un entretien régulier permet de détecter les fissures, les affaiblissements ou les problèmes d'érosion avant qu'ils ne deviennent graves.
- **Système de Surveillance :** La mise en place d'un système de surveillance des niveaux d'eau dans les oueds et les barrages permet de prévoir les inondations. Cela inclut des capteurs et des stations hydrométriques qui fournissent des données en temps réel sur les risques potentiels.

4. Politiques de Préservation et Sensibilisation

Projet de sensibilisation à l'environnement



Figure 38. "Politiques de Préservation : Vers un Avenir Durable"

- **Réglementation et Zonage :** Il est important de mettre en place des réglementations pour limiter les constructions et les activités humaines près des oueds afin de réduire l'impact des inondations. Le zonage permet de définir des zones de protection où les activités risquées sont interdites.
- **Sensibilisation des Populations :** Impliquer les communautés locales dans la protection des oueds est essentiel. Cela peut inclure des programmes d'éducation sur la gestion durable de l'eau, la plantation d'arbres ou encore la création d'associations pour surveiller et entretenir les oueds.

• Utilisation des Infrastructures Vertes



Figure 39. "Infrastructures Hydrauliques et Mesures de Protection Érosive"

- **Infrastructures Vertes** : En complément des ouvrages hydrauliques traditionnels, les infrastructures vertes (comme les zones humides artificielles ou les bassins d'infiltration) aident à absorber et réguler les flux d'eau. Elles permettent de restaurer la capacité naturelle des sols à absorber l'eau de pluie et de minimiser le ruissellement.

Dans la Wilaya d'Ain Témouchent, la protection des oueds est une priorité pour la prévention des inondations et la conservation des ressources en eau. Les méthodes décrites ci-dessus, qui incluent des approches physiques, techniques et communautaires, contribuent à réduire les risques tout en assurant la durabilité des systèmes hydrauliques. Une gestion efficace et intégrée de ces oueds est essentielle pour protéger les infrastructures locales, les terres agricoles et les populations contre les effets néfastes des inondations et de l'érosion.

"Optimisation des Murs de Soutènement : Techniques de Surélévation pour la Gestion des Cours d'Eau" :

La **surélévation d'un mur de soutènement** consiste à augmenter la hauteur du mur existant pour améliorer sa capacité à retenir des sols, gérer les écoulements d'eau ou renforcer la stabilité d'une structure. Cela peut être nécessaire dans des contextes de protection contre l'érosion, les inondations ou pour soutenir des aménagements en terrains escarpés.

Dans le cadre de la **Wilaya d'Ain Témouchent**, une surélévation des murs de soutènement le long des oueds ou barrages peut servir à :

1. **Améliorer la protection contre les crues** : Augmenter la capacité des murs à résister à des débits d'eau plus importants lors des inondations.
2. **Renforcer la stabilité des berges** : Limiter l'érosion des sols en renforçant les structures qui soutiennent les rives.
3. **Prévenir les risques d'éboulement** : S'assurer que les sols ne cèdent pas sous la pression de l'eau ou en raison de l'instabilité du terrain.

La réalisation de telles interventions nécessite une étude préalable pour garantir l'efficacité structurelle et la durabilité de l'ouvrage.

"État des Barrages Endommagés : Hauteur de la Digue"

- **Digue** : Une structure construite pour contenir ou diriger les eaux, souvent utilisée pour prévenir les inondations ou pour gérer les niveaux d'eau.
- **Barrage Endommagé** : Se réfère à un barrage ou à une digue qui a subi des dégradations ou des détériorations qui peuvent affecter son efficacité ou sa sécurité.

Les travaux de réhabilitation et de maintenance des digues et barrages sont cruciaux pour assurer leur bon fonctionnement et leur sécurité. Voici quelques étapes et techniques couramment utilisées dans ces opérations :

- **Enlèvement des remblais** : Retrait des matériaux ajoutés pour supporter ou élever une structure.
- **Creusement en fouille** : Excavation pour créer une cavité ou préparer une base pour des constructions ou réparations.

- **Remise en état des remblais** : Restauration ou renforcement des remblais endommagés ou déplacés.
- **Talus amont** : Pente ou partie inclinée de la structure côté où l'eau arrive.
- **Dépose et pose d'enrochement** : Retrait et remplacement des roches ou pierres pour stabiliser les berges ou pentes.
- **Talus aval** : Pente ou partie inclinée de la structure côté où l'eau s'écoule.
- **Prisme de drainage** : Structure ou zone conçue pour évacuer l'eau excédentaire et prévenir l'érosion.
- **Évacuateur de crue** : Système permettant de gérer les excès d'eau pour éviter les inondations.
- **Surélévation du déversoir en béton armé** : Augmentation de la hauteur d'un déversoir pour améliorer sa capacité à gérer les eaux.
- **Remblai de retour** : Remplissage des espaces autour d'une structure après des travaux de construction ou de réparation.

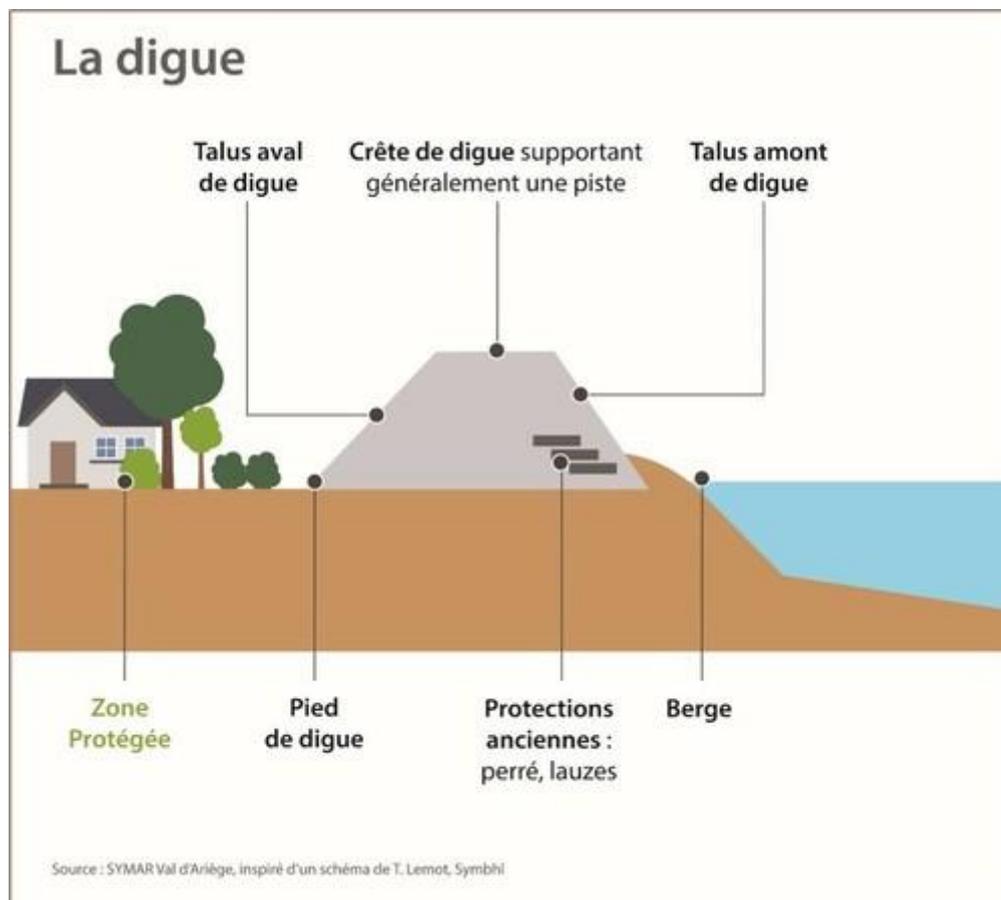


Figure 40. Gestion des ouvrages (La Digue).

Conclusion Générale

Ce mémoire a permis d'explorer en profondeur les défis liés à l'érosion des ouvrages hydrauliques dans la Wilaya d'Ain Témouchent, région située à l'ouest de l'Algérie et caractérisée par un relief varié, une façade maritime, et des sols soumis à une forte pression hydrique. À travers une étude détaillée des facteurs géomorphologiques et climatiques propres à la région, nous avons mis en évidence les principales causes d'érosion qui menacent la pérennité des infrastructures hydrauliques locales, notamment les barrages et systèmes d'irrigation qui sont vitaux pour l'agriculture.

L'analyse scientifique menée dans ce mémoire s'appuie sur des données de terrain, des relevés géotechniques et hydrologiques spécifiques à la Wilaya d'Ain Témouchent. Nous avons étudié les effets de l'érosion fluviale et pluviale sur plusieurs sites stratégiques de la région, tels que les barrages et les ouvrages d'évacuation des eaux pluviales, où l'érosion accélérée entraîne une dégradation des infrastructures. Les cas étudiés démontrent comment la nature volcanique des sols et l'action continue des oueds (cours d'eau) locaux aggravent le phénomène d'érosion, mettant en péril non seulement les infrastructures hydrauliques mais aussi les terres agricoles.

Les solutions proposées dans ce travail s'appuient sur des approches modernes de génie civil, combinant des techniques traditionnelles, comme l'enrochement et la construction de digues, avec l'utilisation de matériaux innovants tels que les géotextiles et les systèmes de drainage améliorés. Nous avons également intégré des modélisations numériques pour simuler différents scénarios d'érosion, permettant de prédire l'impact à long terme des conditions climatiques changeantes sur les ouvrages hydrauliques de la région.

De plus, ce mémoire a démontré l'importance cruciale de la maintenance préventive et d'un suivi régulier des infrastructures, ainsi que la nécessité de mettre en place des systèmes de gestion de l'eau plus robustes et adaptés aux spécificités locales. L'intégration de ces solutions dans un cadre de développement durable est essentielle pour répondre aux besoins futurs de la Wilaya d'Ain Témouchent en termes de gestion de l'eau et de préservation des terres agricoles.

En conclusion, ce travail apporte une contribution significative à la compréhension des défis posés par l'érosion des ouvrages hydrauliques dans une région à forte activité agricole. Les résultats obtenus et les recommandations formulées témoignent de la rigueur méthodologique appliquée tout au long de ce mémoire. Ils ouvrent également des perspectives pour des recherches futures, en particulier sur l'optimisation des solutions de protection face à l'érosion dans le contexte du changement climatique, qui affecte de plus en plus cette région.

Résumé :

L'érosion est un phénomène naturel qui pose des défis importants à la durabilité et à la stabilité des ouvrages hydrauliques tels que les barrages, les digues et les canaux. Ce mémoire explore les différentes stratégies et techniques de protection des ouvrages hydrauliques contre l'érosion causée par l'eau. L'objectif principal est d'analyser les mécanismes d'érosion, d'identifier les facteurs contribuant à l'usure des structures hydrauliques, et de proposer des solutions efficaces pour minimiser ces impacts.

La méthodologie adoptée combine une revue de la littérature existante sur les types d'érosion (fluviale, hydraulique, etc.), l'utilisation de modèles numériques pour simuler l'impact de divers facteurs environnementaux sur les structures, ainsi que des études de cas sur des ouvrages hydrauliques en Algérie et ailleurs. Ces études permettent de comprendre comment les caractéristiques géologiques et hydrologiques influencent l'érosion.

Les résultats montrent que l'utilisation de techniques telles que l'enrochement, les géotextiles, et les revêtements en béton est efficace pour réduire l'érosion. De plus, l'entretien régulier et la surveillance des ouvrages jouent un rôle crucial dans la prévention des dommages. Ce mémoire met également en lumière l'importance de l'adaptation des solutions de protection aux spécificités locales, en tenant compte des conditions géologiques et climatiques.

En conclusion, ce travail contribue à une meilleure compréhension des défis posés par l'érosion des ouvrages hydrauliques et propose une approche intégrée pour renforcer leur protection, garantissant ainsi leur longévité et leur efficacité.

Mots-clés : Érosion, Ouvrages hydrauliques, Protection, Enrochement, Géotextiles, Modèles numériques, Durabilité, Structures hydrauliques, Facteurs environnementaux, Prévention des dommages.

الملخص:

يُعتبر التآكل ظاهرة طبيعية تُشكل تحديات كبيرة على متانة واستقرار المنشآت الهيدروليكية مثل السدود، الحواجز، والقنوات. يستكشف هذا البحث الاستراتيجيات والتقنيات المختلفة لحماية المنشآت الهيدروليكية من التآكل الناتج عن المياه. الهدف الرئيسي هو تحليل آليات التآكل، وتحديد العوامل التي تساهم في تآكل المنشآت الهيدروليكية، واقتراح حلول فعالة للحد من هذه التأثيرات.

تجمع المنهجية المتبعة بين مراجعة الأدبيات الحالية حول أنواع التآكل المختلفة (النهري، الهيدروليكي، إلخ)، واستخدام النماذج الرقمية لمحاكاة تأثير العوامل البيئية المختلفة على المنشآت، بالإضافة إلى دراسات حالة حول المنشآت الهيدروليكية في الجزائر ومناطق أخرى. تساعد هذه الدراسات في فهم كيفية تأثير الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية على التآكل.

تُظهر النتائج أن استخدام تقنيات مثل تغطية الصخور (الحجرية)، الأقمشة الجيولوجية، والبطنات الخرسانية فعال في تقليل التآكل. بالإضافة إلى ذلك، يلعب الصيانة الدورية والمراقبة المستمرة للمنشآت دورًا حيويًا في منع الأضرار. كما يُبرز هذا البحث أهمية تكيف حلول الحماية وفقًا للخصائص المحلية، مع مراعاة الظروف الجيولوجية والمناخية.

في الختام، يُساهم هذا العمل في فهم أفضل للتحديات التي يطرحها تآكل المنشآت الهيدروليكية ويقترح نهجاً متكاملاً لتعزيز حمايتها، مما يضمن طول عمرها وكفاءتها.

الكلمات المفتاحية: التآكل، المنشآت الهيدروليكية، الحماية، تكسية الصخور، الأقمشة الجيولوجية، النماذج الرقمية، المتانة، العوامل البيئية، منع الأضرار.

Abstract:

Erosion is a natural phenomenon that poses significant challenges to the durability and stability of hydraulic structures such as dams, dikes, and canals. This thesis explores various strategies and techniques for protecting hydraulic structures against water-induced erosion. The main objective is to analyze the mechanisms of erosion, identify the factors contributing to the wear of hydraulic structures, and propose effective solutions to minimize these impacts.

The methodology adopted combines a review of existing literature on different types of erosion (fluvial, hydraulic, etc.), the use of numerical models to simulate the impact of various environmental factors on structures, as well as case studies on hydraulic structures in Algeria and elsewhere. These studies help to understand how geological and hydrological characteristics influence erosion.

The results show that the use of techniques such as riprap, geotextiles, and concrete linings is effective in reducing erosion. Additionally, regular maintenance and monitoring of structures play a crucial role in preventing damage. This thesis also highlights the importance of adapting protective solutions to local specificities, taking into account geological and climatic conditions.

In conclusion, this work contributes to a better understanding of the challenges posed by erosion of hydraulic structures and proposes an integrated approach to enhance their protection, ensuring their longevity and efficiency.

Keywords: Erosion, Hydraulic structures, Protection, Riprap, Geotextiles, Numerical models, Durability, Hydraulic structures, Environmental factors, Damage prevention.

Références

- [1] Master en Sciences Agronomiques Hadid Warda & Sellakh Nour el Houda
- [2] "**Soil Erosion and Conservation**" par R. P. C. Morgan
- [3] "**The Effects of Erosion on Soil Fertility**" dans des revues environnementales.
- [4] "**Principles of Geomorphology**" par W. D. Thornbury.
- [5] *Erosion and Sedimentation* par J. M. R. Wainwright et M. J. S. N. K. Atkinson.
- [6] *Soil Erosion: A Global Overview* par M. P. McCool, et al.
- [7] Zhang, W., & Wang, C. (2018). "A review of soil erosion control techniques in China". *Environmental Science and Pollution Research*, 25(12), 11536-11548.
- [8] Pimentel, D., & Burgess, M. (2013). "Soil erosion threatens food production". *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 93(1-3), 135-143.
- [9] "Hydraulic Engineering" de John A. Roberson, John J. Cassidy, et M. Hanif Chaudhry.
- [10] "Design of Hydraulic Structures" de M. Novak, A.I.B. Moffat, C. Nalluri, et R. Narayanan.
- [11] "Hydrology and Hydraulic Systems" de Ram S. Gupta.
- [12] Articles de revues telles que *Journal of Hydraulic Engineering* et *Water Resources Research*.
- [13] Publications de l'American Society of Civil Engineers (ASCE).
- [14] Rapports techniques et guides de l'US Army Corps of Engineers, tels que l'Engineer Manual (EM) 1110-2-1603 sur le design hydraulique des structures fluviales.
- [15] Documentation et guides techniques du Bureau of Reclamation des États-Unis.
- [16] Matériaux de formation et guides techniques de la Federal Emergency Management Agency (FEMA) concernant la gestion et la prévention des risques liés aux inondations et à l'érosion.
- [17] Publications et études de l'International Commission on Large Dams (ICOLD) sur la sécurité des barrages.

