

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN DE TIARET



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Génie Civil

Option : VOA

Présenté par :

M^{elle} : BOUSSAHA Belkis

Sujet du mémoire

**Étude des aménagements antiérosifs dans le bassin
versant du barrage de Dahmouni (W. tiaret)**

Soutenu publiquement le / 07 / 2021 devant le jury composé de :

M^r, CHIKH Abdelbaki

Président

M^r, KHILOUN Mokhtar

Rapporteur

M^r, BELMAHI Samir

Examineur

PROMOTION : 2020 – 2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

DEDICACES



Je dédie ce mémoire à

A mes parents, et à toute ma famille

A tous mes amies et mes collègues

A tous ceux qui m'aiment.

M^{elle} : BOUSSAHA Belkis

REMERCIEMENT

Avant tout propos, je remercie « Dieu, le seul, l'unique et le miséricordieux » le tout puissant qui m'a procuré clairvoyance, intelligence, sagesse et santé pour pouvoir réaliser ce travail.

C'est avec grand plaisir que j'exprime ma reconnaissance et mes remerciements à mon promoteur : M^r KHILOUN Mokhtar, Je lui exprime ma reconnaissance pour ses précieux conseils qui m'ont permis de bénéficier de son expérience et d'acquérir de précieuses connaissances tout le long de l'exécution ce travail.

Mes remerciements les plus sincères, ma plus haute considération et mes respects à M^r CHIKH Abdelbaki pour nous avoir fait l'honneur de l'immense plaisir d'accepter de présider le jury.

Mes sincères remerciements, vont également, à M^r BELMAHI Samir qui a bien voulu et accepté avec bienveillance d'examiner ce mémoire.

J'adresse mes remerciements les plus chaleureux à tous les enseignants du département de genie civil et particulièrement ceux et celles qui ont contribué à notre formation.

Merci à nos amis et collègues, qui nous ont aidés pendant ce travail.

Résumé

L'objectif de ce travail consiste à identifier des sites probables nécessitant une protection antiérosifs. Ainsi, une contribution à la réalisation du plan d'aménagement antiérosif du bassin versant de Dahmouni permettra d'assurer une réduction éventuelle du taux de transport des sédiments dans les cours d'eau et dans le barrage.

La présente étude a été menée dans le bassin versant du barrage de Dahmouni (W. tiaret).

Face à l'exploitation des ressources naturelles qui entraîne la détérioration de l'aire d'étude précitée, Le but de notre travail consiste en une réflexion relative à une approche d'aménagement intégré et durable dans cet espace qui tienne compte à la fois de ses contraintes et de ses potentialités.

En effet, la localisation des zones ravinées et la situation socioéconomique des habitants constitue une étape préliminaire à tout aménagement de lutte antiérosive appropriée. Celle-ci permet de mettre en évidence que le phénomène érosif dans cette zone résulte de la conjonction de plusieurs facteurs : agressivité des pluies, érodibilité des sols, raideur du relief, faiblesse du couvert végétal, pratiques agricoles inappropriées sur des versants abrupts. Ainsi, pour parvenir à un équilibre écologique plus ou moins acceptable, il faut entreprendre les travaux d'aménagement antiérosifs proposés par des mesures techniques (correction des ravines), biologiques (reboisement) et socioéconomiques. D'après les résultats du diagnostic, la couverture végétale est faible, l'érosion des sols est assez forte, le barrage est partiellement envasé, L'étude montrent l'intérêt qu'il ya de freiner la dégradation, toute action visant à rétablir l'équilibre écologique.

Mots clés : bassin versant, barrage, envasement, érosion, Courant de densité, drainage.

Summary

The objective of this work is to identify likely sites requiring erosion control. Thus, a contribution to the realization of the anti-erosion development plan of the Dahmouni catchment area will ensure a possible reduction of the sediment transport rate in the watercourses and in the dam.

The present study was carried out in the catchment area of the Dahmouni dam (W. Tiaret).

Faced with the exploitation of natural resources which leads to the deterioration of the aforementioned study area, the aim of our work is to reflect on an integrated and sustainable development approach in this area which takes into account both its constraints and its potential.

Indeed, the location of the gullied areas and the socio-economic situation of the inhabitants is a preliminary step to any appropriate anti-erosion development. This makes it possible to highlight that the erosive phenomenon in this area results from the combination of several factors: aggressive rainfall, soil erodibility, steepness of the relief, weakness of the vegetation cover, inappropriate agricultural practices on steep slopes. Thus, in order to achieve a more or less acceptable ecological balance, it is necessary to undertake the proposed anti-erosion works through technical (gully correction), biological (reforestation) and socio-economic measures. According to the results of the diagnosis, the vegetation cover is low, soil erosion is quite high, the dam is partially silted up. The study shows the interest of slowing down the degradation, any action aiming at restoring the ecological balance.

Key words: watershed, dam, siltation, erosion, density current, drainage.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو تحديد المواقع المحتملة التي تتطلب حماية مضادة للانجراف. وبالتالي، فإن المساهمة في تحقيق خطة تخطيط مستجمعات المياه الدحرانية ستضمن انخفاضا محتملا في معدل نقل الرواسب في الأنهار والسد.

تم تنفيذ هذه الدراسة في قدرة مستجمعات المياه من سد الدحموني في مواجهة استغلال الموارد الطبيعية التي تؤدي إلى تدهور منطقة الدراسة المذكورة أعلاه، فإن الهدف من عملنا هو التفكير في تنمية متكاملة ومستدامة تبصير في هذا المجال الذي يأخذ في الاعتبار كل من قنواته وإمكاناته

في الواقع، فإن استئجار المناطق المجذوفة والوضع الاجتماعي والاقتصادي للسكان هو خطوة أولية لأي تنمية مضادة للتآكل. هذا يجعل من الممكن إبراز أن ظاهرة التآكل في هذا المجال ينتج عن مزيج من عدة عوامل: هطول الأمطار العدواني، وقت تنظيم التربة، حتام من الإغاثة، ضعف الغطاء النباتي، الممارسات الزراعية غير المناسبة على المنحدرات الحادة. وبالتالي، من مقبول، من الضروري إجراء أعمال مكافحة التآكل المقترحة من أجل تحقيق التوازن البيئي خلال تقنية (تصحيح اخدود)، والتدابير الاجتماعية والاقتصادية (إعادة التحريج) والتدابير الاجتماعية والاقتصادية. وفقا لنتائج التشخيص، فإن غطاء الغطاء النباتي منخفض، تآكل التربة مرتفع للغاية، يتم طلي السد جزئيا. تظهر الدراسة مصلحة إبطاء التدهور، أي عمر يهدف إلى استعادة التوازن البيئي

الكلمات الرئيسية: مستجمعات المياه، السد، المرسل، التآكل، الكثافة الحالية، الصرف

Liste des abréviations

I_p : Intensité des précipitations

I : Pente du bassin versant

S : Susceptibilité des sols

K : Perméabilité

V_e : Végétation

A : Perte de terre (t/ha)

R : Indice caractérisant l'agressivité de la pluie

K : Indice caractérisant la susceptibilité du sol à l'érosion

L_s : Indice de pente

C : Indice de culture

P : Indice de conservation du sol

E_s : érosion spécifique dans le bassin versant (t/km².an)

T : Coefficient de température

t_0 : Température moyenne mensuelle

P_0 : Pluie annuelle en mm

Z : coefficient d'érosion

Y : Valeur du coefficient de la résistance du sol dû à l'érosion

$[x.a]$: coefficient de régularisation du bassin versant

δ : Equivalent numérique des processus visibles et nettement prononcés dans le bassin versant

I_{moy} : Indice de pente moyenne du bassin versant

E_s : Erosion spécifique (t/km²/an)

Ta_1 : Taux d'abrasion en fonction de la perméabilité du sol dans les sous bassins en t/ km²

S : Superficie totale du bassin versant en km²

S_1, S_2, S_3 : Superficies des sous bassins versants en km²

L_e : Lamme d'eau ruisselée moyenne interannuelle en mm

K : Coefficient qui tient compte de la perméabilité des terrains

Q_s : Apport solide moyen interannuel en t /km².an

P : Pluviométrie du mois le plus arrosé en mm

H_{moy} : Altitude moyenne en m

P_a : Pluviométrie moyenne interannuelle en mm

S : Superficie du bassin versant en km²

q_s : Débit solide en m³/s par mètre de largeur de lit exprimé en volume de grains

τ^* : Paramètre de Shields, sans dimension

d : Diamètre des sédiments en m

γ_s/γ_w : Rapport des poids volumiques du matériau solide sur celui de l'eau

β : Paramètre adimensionnel

d : est le diamètre médian d_{50}

q_s : Débit solide en m^3/s

K : Coefficient de Strickler global du lit incluant la rugosité des berges

N : nombre de seuils

L : longueur du ravin

P : pente du lit de la ravine

I : pente de compensation

H : hauteur moyenne de l'ouvrage

H_S : la dénivelée entre deux structures anti érosives

E: Espacements entre seuils

a : pente du ravin

Q_p : débit de pointe pour une période de retour donnée en m^3/h

C : coefficient de ruissellement moyen du bassin versant

I : intensité pluviométrique sur une période de retour déterminée (mm/h)

A : surface du bassin versant (ha)

h : hauteur de pluie (mm)

t_c : temps de concentration (heures)

V_D : vitesse limite de chute (m/s)

r : rayon de la particule à décanter (m)

g : accélération terrestre (m/s^2)

$\Delta(\rho)$: différence de la masse volumique entre la particule et l'eau

μ : viscosité dynamique de l'eau

Sommaire

Remerciements.....	i
Résumé.....	ii
Sommaire.....	iii
Problématique.....	iv
Introduction générale	1
Chapitre 1 Processus de l'érosion hydrique et agents érosifs.....	3
I.1. Processus d'érosion.....	3
I.1.1. Le détachement.....	3
I.1.2. Le transport.....	5
I.1.3. La sédimentation.....	6
I.2. Facteurs de l'érosion.....	7
I.2.1. Le climat.....	7
I.2.2. La topographie.....	8
I.2.3. La lithologie.....	8
I.2.4. Le couvert végétal.....	8
I.2.5. Le facteur anthropique.....	9
I.3. Conséquences de l'érosion et rôle des ravines.....	10
I.3.1. Conséquences de l'érosion hydrique.....	10
I.3.2. Rôle des ravines.....	11
I.4. Approches et méthodes de quantification de l'érosion hydrique du sol.....	13
I.4.1. Mesures de terrain.....	13
I.5. Quantification de l'érosion.....	14
I.6. Conclusion.....	17
Chapitre 2 Processus de l'envasement d'une retenue.....	19
II.1. Origine de l'envasement d'une retenue.....	19
II.2. Conséquences.....	19
II.3. Quantification du transport solide.....	21
II.3.1. Formule de transport solide par charriage.....	21
II.3.1. Conditions d'utilisation des formules de transport solide.....	22
II.4. Etapes de l'envasement d'un barrage.....	23
II.5. Influence des différentes caractéristiques des retenues sur le mécanisme de l'envasement.....	24
II.5.1. Influence de la topographie de la retenue.....	24

II.5.2. Présence de la végétation.....	24
II.5.3. Présence d'affluents.....	24
II.5.4. Influence du mode d'exploitation du réservoir.....	24
II.6. Périodes privilégiées pour la sédimentation.....	25
II.7. Piégeage des sédiments.....	25
II.8. Courants de densité dans les barrages.....	25
II.9. Influence des barrages sur la continuité sédimentaire	26
II.10. Problèmes posés par l'envasement des barrages.....	28
II.10.1. Réduction de la capacité.....	28
II.10.2. Blocage des vannes de fond.....	29
II.10.3. Envasement des canaux d'irrigation.....	30
Chapitre III : Mesure pour prévenir les effets de l'érosion.....	32
III.1. Aménagements antiérosifs.....	32
III.1.1. Différents aménagements antiérosifs.....	32
III.1.2. Aménagements mécaniques.....	33
III.2. Actions humaines et aménagements antierosifs.....	37
III.2.1. Caractéristiques des seuils en gabion.....	37
III.3. Conclusions	40
Chapitre 4 Moyens techniques de lutte contre l'envasement.....	42
IV.1. Aménagement des bassins versants.....	42
IV.2. Gestion du stock sédimentaire.....	43
IV.3. Méthodes de lutte contre l'envasement.....	44
IV.4. Dévasement des barrages.....	45
IV.4.1. Moyens de lutte curative.....	46
IV.4.2. Dévasement périodique : Soutirage des courants de densité.....	46
IV.4.3. Dévasement périodique : Evacuation de la vase par la vanne de fond.....	47
IV.4.4. Dévasement occasionnel : Dragage d'un barrage.....	48
IV.4.5. Mise en place de barrages de décantation.....	49
IV.5. Technique du dragage d'une retenue.....	49
IV.6. Surélévation du barrage	52
IV.7. Conclusion	53
Chapitre V Contribution aux mesures préventives contre l'envasement du barrage de Dahmouni.....	55
V.1. Description de la zone d'étude.....	55
V.1.1. Limites géographiques de la commune Dahmouni.....	55

V.1.2. Caractéristiques de la zone d'étude.....	55
V.1.3. Localisation du site d'étude.....	57
V.1.4. Cadre géographique.....	57
V.1.6. Caractéristiques hydrologiques.....	61
V.1.7. Caractéristiques de la retenue.....	61
V.2. Barrage de Dahmouni.....	62
V.2.1. Objectif.....	62
V.2.2. Caractéristiques techniques du barrage de DAHMOUNI.....	62
V.3. Actions proposées pour la protection du bassin versant de Dahmouni.....	64
V.3.1. Mise en place de seuils de génie mécanique et biologique.....	64
V.3.2. Protection des berges des cours d'eau.....	65
V.3.3. Actions en génie civil.....	66
V.3.4. Implantation des bassins de décantations.....	68
V.3.5. Réalisation des bassins de décantation dans le bassin versant.....	69
V.3.6. Sites d'implantation des bassins de décantation.....	69
V.3.7. Dimensionnement d'un bassin de stockage d'eau et de sédimentation.....	69
V.3.8. Aménagement d'un piège à sédiments.....	69
V.4. Conclusion.....	78
Conclusion générale.....	80
Bibliographie.....	86

Liste des figures

Figure I.1: Rejaillissement du sol et de l'eau suite à l'impact d'une goutte d'eau, ou effets splash d'après Leguédois (2003).....	4
Figure I.2 : l'effet « splash ».....	4
Figure I.3 : les modes de transport.....	5
Figure I.4 : Erosion de ruissellement et par courant.....	6
Figure I.5 : Le convoyeur de sédiments.....	7
Figure I.6 : Mécanisme de l'érosion.....	10
Figure I.7 : Erosion hydrique dans un bassin versant : Schéma dichotomique des différents types.....	12
Figure I.8 : Erosion des fonds par entrainement et des berges.....	13
Figure II.1: Envasement d'une retenue.....	19
Figure II.2: Envasement d'une retenue.....	20
Figure II.3 : Processus d'envasement d'un barrage Réservoir (Remini, 1990).....	23
Figure II.4 : Schéma de la propagation d'un courant de densité au fond d'un barrage.....	26
Figure II.5. Influence des barrages sur le tri granulométrique des sédiments en amont de l'ouvrage.....	27
Figure II.6 : Courbe : Hauteur- Capacité d'un barrage (schéma Remini, 2016).....	28
Figure II.7. Evolution temporelle de la capacité d'un barrage (Remini,1997 ; Remini et al,2017).....	29
Figure II.8 : Blocage de la vanne de fond de la deuxième digue du barrage Boughezoul.....	30
Figure II.9 : Curage d'un canal par les moyens mécaniques (Cliché. OPIM, 2008).....	30
Figure III.1: Seuil en Pierre Sèche.....	34
Figure III.2. Seuil en gabion.....	35
Figure III.3: Seuil en maçonnerie.....	36
Figure IV.1. Une série de seuils réalisée sur une ravine du bassin versant de Beni Chougarne...42	42
Figure IV.2. Banquettes réalisées au niveau du bassin versant d'oued Mina.....	42
Figure IV.3 : Schéma du soutirage d'un courant de densité par les pertuis de vidange d'un barrage.....	46
Figure IV.4 : Deux vannes de fond du barrage de Boughezoul (Cliché. Remini, 2011).....	47
Figure IV.5 : Vanne de fond du barrage de Foum El Gherza (Cliché. ANBT Biskra, 2006).....	47

Figure IV.6 : La drague est au centre de la retenue du barrage de Fom El Gherza	48
Figure IV.7 : Schéma synoptique d'une opération de dragage dans un barrage (Schéma Remini, 2015).....	48
Figure IV.8: Rejet de la vase lors de l'opération de dragage de 2005-2006 (cliché Remini, Mai 2006).....	49
Figure IV.9. Drague suceuse refouleuse (Ifremer, 2008).....	50
Figure IV.10. Drague à godets (LAROUSSE, 2017).....	51
Figure IV.11. Drague à pelle (Ifremer, 2008).....	51
Figure IV.12. Drague mécanique amphibie (FFPP, 2005).....	52
Figure IV.13. Schéma synoptique d'une surélévation d'un barrage (Schéma Remini, 2015).....	52
Figure IV.14. Surélévation du barrage Ghrib par des hausses fusibles (Azzi, 2016).....	53
Figure V.1: Barrage et sous bassin de Dahmouni (ANBT Tiaret) (LADJAL, 2013).....	56
Figure V.2: Digue du barrage DAHMOUNI (Tiaret).....	57
Figure V.3 : Localisation du barrage de DAHMOUNI (google imagerie).....	58
Figure V.4 : Le site de Dahmouni.....	58
Figure V.5 : Le site de Dahmouni.....	59
PhotoV.1: Barrage de DAHMOUNI.....	62
PhotoV.2: Évacuateur de crue barrage "dahmouni"	64
Figure V.6 Illustration schématique d'un seuil en génie mécanique et biologique (ANBT,2008)	65
Figure V.7 Protection d'un cours d'eau par du gabion compartimenté (ANBT, 2008).....	65
Figure V.8 : Seuil en pneu	66
Figure V.9 : Succession de seuil dans les lits de ravine	67
Figure V.10 : En premier plan un seuil en pierres sèches puis plus loin un autre seuil en pneu inondés par les atterrissements.....	67
Figure V.11 : Image d'un bassin de décantation.....	68
Figure V.12. Aménagement d'un piège à sédiments.....	69
Figure V.13. Exemple d'aménagement d'une trappe de sédimentation.....	70
Figure V.14. Trappe de sédimentation.....	71

Liste des tableaux

Tableau V.1	Caractéristiques des dénivelées dans le sous-bassin versant du barrage Dahmouni.....	60
Tableau V.2	Communes dans le sous-bassin versant du barrage Dahmouni.....	60
Tableau V.3.	Récapitulatif du calcul du débit de pointe.....	74
Tableau V.4.	Récapitulatif des données pour le dimensionnement du bassin.....	76
Tableau V.5.	Dimensions du bassin (10 μm).....	76
Tableau V.6.	Dimensions du bassin (15 μm).....	77

Problématique

L'érosion hydrique est un phénomène naturel dont l'intensité varie en fonction des précipitations et de la force du courant, mais aussi de la nature du sol, de la pente et du drainage du terrain, et de son exposition aux intempéries. Par l'action de l'eau, des sédiments sont amenés vers les cours d'eau, où ils sont transportés sur de plus ou moins longues distances, en fonction du débit du cours d'eau et de la grosseur des particules. Les sédiments grossiers sont déposés rapidement, alors que les sédiments fins peuvent demeurer en suspension dans l'eau sur de très longues distances.

La sédimentation survient lorsque l'énergie dans le cours d'eau n'est plus suffisante pour transporter les sédiments. Une accumulation se produit alors dans le lit du cours d'eau, formant parfois des dépôts importants. Ainsi, le cycle des sédiments comprend trois stades : l'érosion, le transport et la sédimentation.

Outre les facteurs tels que la nature du sol ou la pente du terrain, l'occupation du sol est un élément important qui influence l'intensité des phénomènes d'érosion. Un sol laissé à nu sera davantage susceptible d'être érodé qu'un sol recouvert de végétation.

L'érosion et le transport sédimentaire influencent la qualité de l'eau. La sédimentation contribue également à l'envasement des cours d'eau et des lacs.

Introduction générale

Introduction générale

L'érosion est un phénomène largement répandu et dont les conséquences peuvent entraîner la dégradation du sol, les ressources naturelles, perte en sols productifs, transport de sédiments, dégradation du paysage, perte de productivité, dépôts de matériau érodé (cours d'eau, barrages), changements dans la charge solide du cours d'eau, pollution de l'eau douce, impacts sociaux (pauvreté, migrations) et impacts économiques (durée de vie et valeur économique des barrages)...etc.

L'érosion hydrique constitue en Algérie un phénomène très grave qui affecte durement le patrimoine foncier. Elle touche 45% des zones telliennes soit 12 millions d'hectares cultivables. Ce phénomène devient encore plus grave si l'on sait que 85% des surfaces cultivables, sont situées dans les zones les plus sensibles à l'érosion (Chibanni et al, 1999). Dans ce contexte, des mesures claires et exactes de l'érosion sont indispensables pour servir de base aux plans de prévention et de restauration, d'autant plus que l'érosion est un phénomène silencieux et complexe dû à la combinaison de multiples facteurs.

Le phénomène de l'envasement des barrages est l'aboutissement d'un processus naturel d'érosion des bassins versants et du sapement des berges des cours d'eau. Ce phénomène naturel enregistre les valeurs les plus élevées dans les régions arides et semi arides. L'envasement qui représente les dépôts successifs des sédiments, pose des problèmes de quantité et de qualité des eaux des barrages.

L'envasement des barrages est l'une des conséquences la plus dramatique de l'érosion hydrique ; environ 180 millions de tonnes sont arrachés annuellement des bassins versants par le ruissellement dans le nord d'Algérie (Demmak, 1982). En plus de terres arrachées par l'érosion des bassins versant, une quantité non négligeable en provenance des sapements des berges participe à l'accélération de l'envasement des barrages réservoirs.

La particularité de l'envasement des barrages en régions arides réside dans le mécanisme et le processus du comblement. C'est ainsi que les fortes concentrations en particules fines enregistrés dans les oueds en périodes de crues déclenchent la formation des courants de densité à l'entrée des retenues de barrages. Donc les barrages des régions arides s'ensavent en périodes de crues, lesquelles surviennent après une longue sécheresse où le sol devient très favorable à l'érosion par des ruissellements.

Dans cette étude, nous examinons les étapes du processus de l'envasement ainsi que les principaux moyens techniques de lutte.

Chapitre 1

Processus de l'érosion hydrique et agents érosifs

Chapitre 1 Processus de l'érosion hydrique et agents érosifs

L'érosion des sols est un phénomène naturel qui désigne le processus de détachement et de transport de particules solides.

La formation de rigoles ou de ravines est un signe révélateur de l'érosion hydrique. Elles sont liées à la concentration du ruissellement qui permet à l'écoulement d'acquérir une capacité érosive qui entraîne les fragments de sol. On parle d'érosion concentrée. Cependant, quand le ruissellement n'est pas suffisamment concentré pour générer des rigoles, il se produit quand même un transfert et une exportation de terre sous l'impact des gouttes de pluie. Comme elle est répartie sur l'ensemble de la surface, on parle d'érosion diffuse, ou en nappe ou encore « *sheet erosion* ». Elle est moins visible et semble générer moins de pertes en terre mais du fait qu'elle décape la couche superficielle, elle est susceptible d'exporter de fortes quantités de nutriments et de produits phytosanitaires présents à la surface du sol et donc de polluer les ressources en eau.

I.1. Processus d'érosion

L'érosion hydrique des sols résultent de la conjugaison de trois mécanismes : le détachement des particules de sol, leur transport et leur sédimentation.

I.1.1. Le détachement

Le détachement des particules de sol se fait sous l'impact de deux agents érosifs :

- La pluie, qui est reconnue depuis longtemps comme un agent essentiel de l'érosion des sols. L'impact des gouttes de pluies sur la surface de sol provoque le détachement des particules de sol.

Plusieurs mécanismes, qui diffèrent par la nature des forces qu'ils mettent en jeu, sont à l'origine de la désagrégation par l'action de l'eau. Quatre principaux mécanismes ont été identifiés :

- L'éclatement, lié à la compression de l'air piégé lors de l'humectation. Les sols argileux sont moins affectés par l'éclatement que les sols limoneux ou sableux, à cause de leur porosité réduite et de leur importante capacité de rétention de l'eau.
- La désagrégation mécanique due à l'énergie dissipée lors de l'impact des gouttes de pluie. Cette énergie se transforme en force de cisaillement qui provoque le détachement des particules de sol et l'effet « splash » (Fig. 1).
- La microfissuration produite par le gonflement différentiel des argiles. Le gonflement et le retrait de ces argiles provoquent des microfissures des agrégats.

– La dispersion physico-chimique résulte de la réduction des forces d'attraction entre les particules colloïdales composant le sol. Elle dépend de la taille et de la valence des cations présents qui peuvent former des ponts entre les particules chargées négativement.

Suite à l'impact d'une goutte de pluie, des gouttelettes d'eau et des fragments de sol sont éjectés de la surface et transportés radialement autour du point d'impact, avant de se déposer à la surface. Ce rejaillissement d'eau et de sol est communément désigné par le terme de splash (Fig.2).

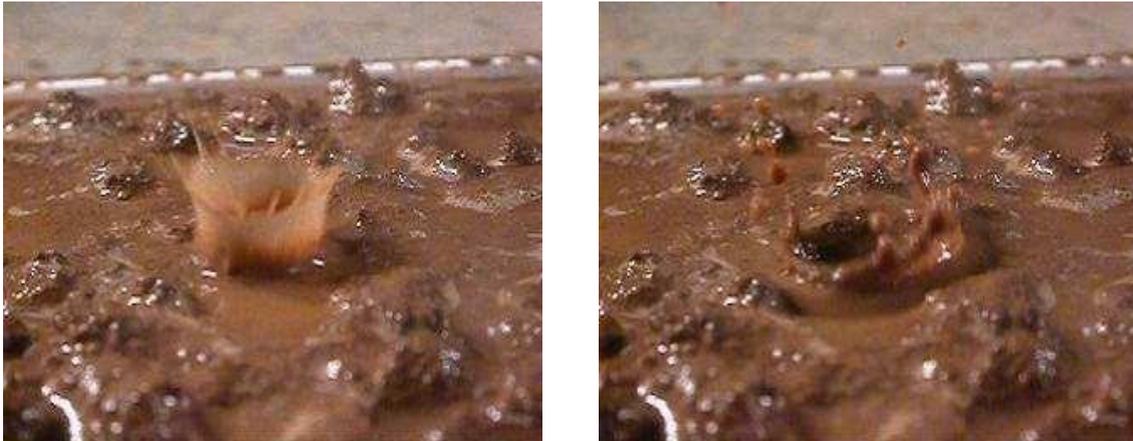


Figure I.1: Rejaillissement du sol et de l'eau suite à l'impact d'une goutte d'eau, ou effetsplash d'après Leguédois (2003).

Photos : Pierre-Olivier Cochard

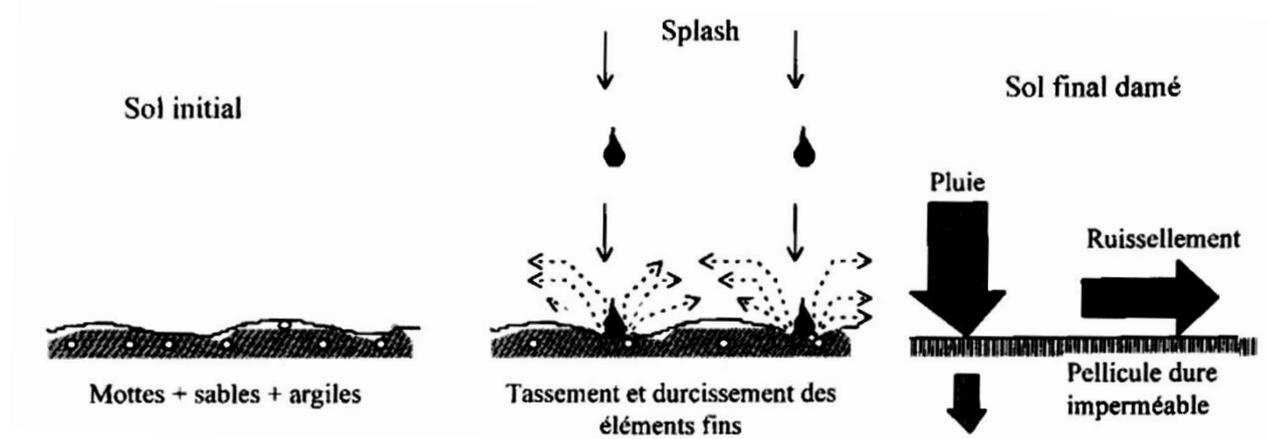


Figure I.2 : l'effet « splash »

source : CILSS/PAC (1989)

- Le ruissellement, dont l'impact dépend de la force de cisaillement (vitesse d'écoulement) et de la résistance du sol, qui peut détacher des particules de sol à son passage.

La stabilité structurale est une propriété qui rend compte de la sensibilité d'un sol à la désagrégation par l'eau, estimé par les tests de stabilité structurale des sols. De très nombreux facteurs intrinsèques comme la texture, la teneur en matière organique ou en cations échangeables agissent sur la stabilité structurale d'un sol.

La mise en mouvement des fragments de terre par le ruissellement (parfois désignée par le terme entraînement) est généralement liée à des conditions de ruissellement concentré. Tout comme pour l'impact des gouttes de pluie, la susceptibilité du sol face au détachement par une lame d'eau ruisselante est dépendante de sa cohésion interne. La résistance au cisaillement du sol est donc une variable souvent utilisée pour caractériser le matériau soumis à l'érosion.

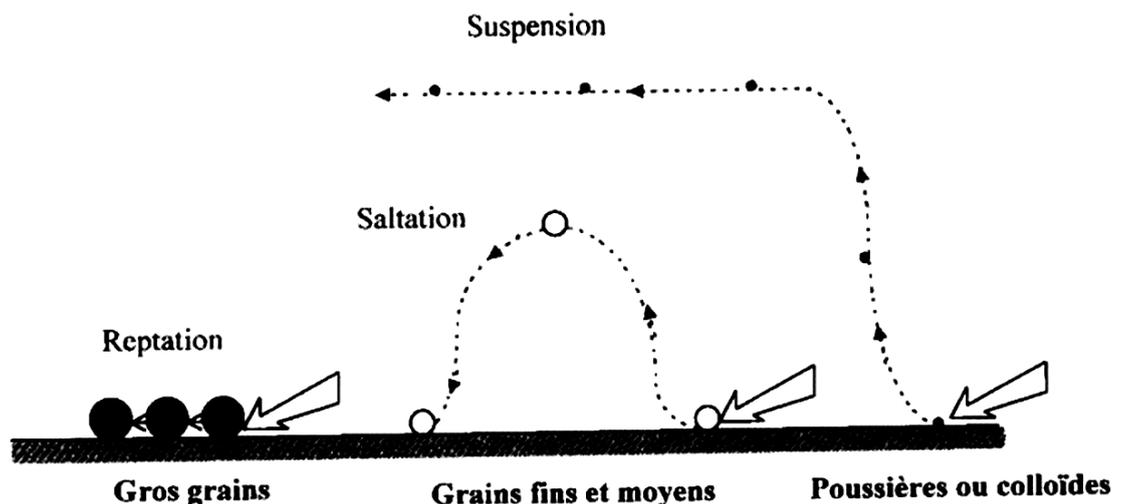


Figure I.3 : les modes de transport

source : CILSS/PAC (1989)

I.1.2. Le transport

Une fois que les particules de sol sont détachées, elles sont transportées sur des distances plus ou moins importantes.

En plus de son action sur la désagrégation et le détachement, l'impact des gouttes de pluie peut être à l'origine d'un déplacement des particules et fragments issus de la désagrégation à la surface du sol « le splash » (Cerdan, 2001a). Ce dernier constitue le principal moteur de l'évolution structurale et du déplacement latéral des particules de sol avant le démarrage du ruissellement.

Le ruissellement est l'agent principal du transport des fragments de sol mis en mouvement sur une surface. Dans la lame d'eau peu épaisse qui s'écoule à la surface lors d'un événement érosif, les fragments de sol sont transportés par suspension, saltation et traction.

Deux types de ruissellement existent : le ruissellement de sub-surface (ou hypodermique) dû à la présence d'un horizon imperméable sous la surface du sol, et le ruissellement de surface. Ce dernier résulte soit d'un refus d'infiltration de surface du sol dû à une pluie dont l'intensité est supérieure à la capacité d'infiltration de la surface du sol (mécanisme de Horton) et qui est souvent conséquence de la formation de la croûte de battance, soit d'un dépassement de capacité de stockage du sol (ruissellement par saturation).

Quand la charge en sédiments est inférieure à la capacité de transport de l'écoulement, les particules de sol peuvent être ainsi transportées. Quand la charge est supérieure à la capacité de transport, les sédiments en excès se déposent. L'exportation des sédiments par le ruissellement est grandement influencée par le fait que la lame d'eau soit soumise ou non à l'impact des gouttes de pluie. Pour un écoulement en nappe peu épais (érosion diffuse), la pluie tend à augmenter la concentration et la granulométrie de la charge solide exportée.

Ce déplacement des particules de sol est favorisé par plusieurs autres facteurs moins importants, tels que la gravité, le labour et le vent.

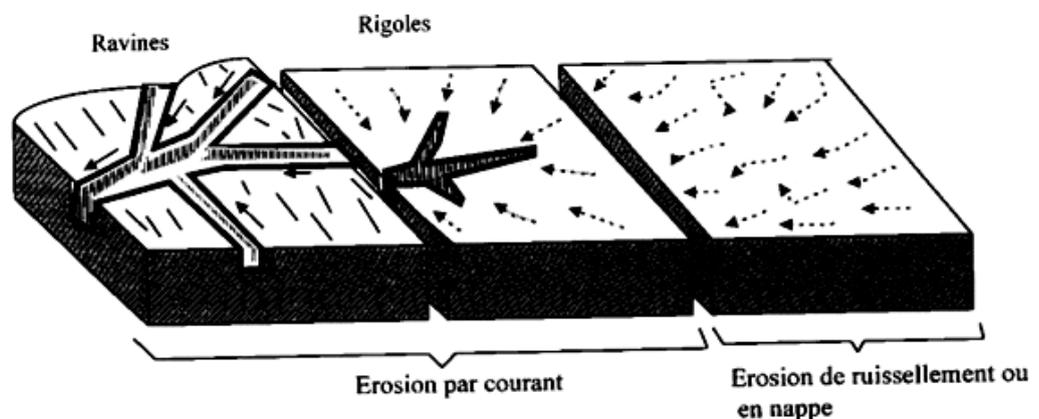


Figure I.4 : Erosion de ruissellement et par courant.

I.1.3. La sédimentation

La sédimentation est le mécanisme qui contrôle et peut limiter la quantité de sédiments exportés. Elle se produit quand la capacité de transport de l'écoulement est dépassée. Cette troisième phase du processus d'érosion hydrique apparaît donc par exemple lors du ralentissement du ruissellement. Les particules les plus grossières sont les premières à sédimenter, les plus fines étant transportées plus loin. On parle de tri granulométrique.

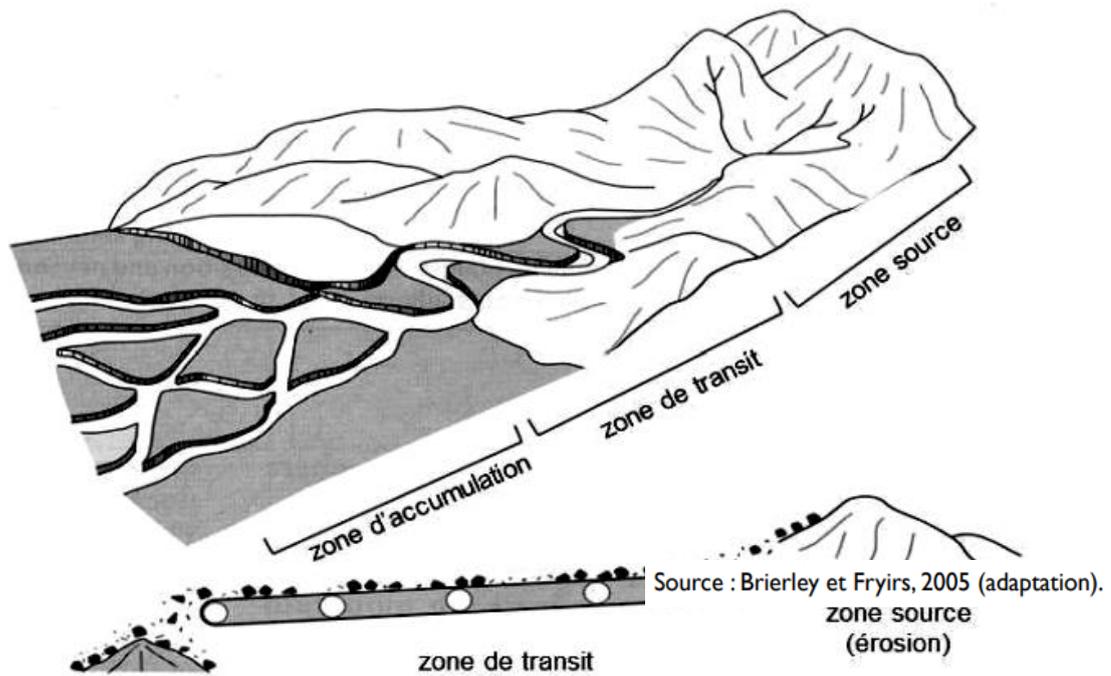


Figure I.5 : Le convoyeur de sédiments

I.2. Facteurs de l'érosion

Deux principaux types de facteurs de l'érosion sont évoqués dans la littérature : les facteurs naturels regroupés sous quatre grandes familles ; à savoir : le climat, la topographie, la lithologie et le couvert végétal; et les facteurs anthropiques relatifs aux activités humaines.

I.2.1. Le climat

La fréquence et l'intensité des précipitations sont les deux caractéristiques importantes du facteur climatique de l'érosion hydrique des sols. Ces caractéristiques sont à l'origine de la formation du ruissellement quand la quantité des pluies dépasse la capacité d'absorption de l'eau par le sol.

Le climat méditerranéen est caractérisé par des précipitations limitées et irrégulières et des orages violents de courte durée et de forte intensité.

Le potentiel érosif de la pluie est désigné par le terme général d'*érosivité*. Ce paramètre est lié à l'intensité des averses et aux caractéristiques des gouttes de pluie (taille, vitesse, forme, angle d'impact) qui déterminent leur énergie cinétique.

La violence du vent intervient dans l'augmentation de l'énergie cinétique des gouttes de pluie. L'efficacité d'une pluie fine qui tombe pendant trois jours est plus faible qu'une pluie d'une heure à grosses gouttes affectées par un vent d'une vitesse de 50 km/heure.

I.2.2. La topographie

La topographie fait avant tout référence à la pente des terres: la pente accélère l'érosion car elle augmente la vitesse d'écoulement de l'eau. La pente intervient dans les phénomènes d'érosion en fonction de sa forme, de son inclinaison et de sa longueur.

En effet, plusieurs études ont montrés que l'énergie cinétique du ruissellement et le pouvoir érosif croissent avec la longueur de la pente.

I.2.3. La lithologie

L'érodibilité du sol désigne sa susceptibilité face aux processus d'érosion. Elle est fonction des propriétés physico-chimiques du sol (texture, profondeur, pierrosité, teneur en matière organique...) et de la cohésion qui existe entre ces particules. Une faible cohésion va entraîner une forte érodibilité.

Il y a moins d'érosion dans les sols sablonneux parce que l'eau est absorbée facilement en raison de sa perméabilité élevée, par contre en cas de ruissellement ils peuvent être très érodibles. Une forte teneur en matière organique dans le sol améliore la structure granulaire et la capacité de rétention d'eau. Plus la matière organique diminue, plus l'érodibilité du sol augmente.

Les sols dans le pourtour méditerranéen sont pauvres en matière organique à cause de la faible productivité végétale, des températures élevées et du manque d'eau. Ces conditions accélèrent la minéralisation des matières organiques du sol et les rendent fragiles, faiblement structurés et prédisposés au tassement et à la formation de croûtes de battance. En conséquence ces sols sont en général très sensibles à l'érosion.

I.2.4. Le couvert végétal

Il s'agit du facteur primordial de protection du sol contre l'érosion.

La présence de la couverture végétale, sa nature et son étendue, jouent un rôle important dans l'interception et le retard de la chute des gouttes des pluies sur la surface du sol permettant ainsi la dissipation de son énergie cinétique, ce qui diminue dans une large mesure l'effet "splash". Elle favorise également l'infiltration de l'eau et le maintien du sol grâce à son système racinaire, et son développement en surface freine le ruissellement.

Roose (1994) constate que l'érosion est fonction non seulement du couvert végétal, mais également de sa hauteur au-dessus du sol. Plus la hauteur est réduite plus la protection est importante et donc l'érosion est minimale.

Les forêts et surtout les couvertures herbacées sont plus efficaces pour fournir une protection du sol qu'une couverture de plantes cultivées ou une jachère. C'est le manque de végétation qui crée la condition permettant l'érosion. L'existence d'une litière protège également les sols de l'érosion.

La dynamique de la croissance du couvert végétal est très variable en fonction du type de plante mais aussi des techniques culturales (densité et date de plantation, fertilisation) et du climat (précipitations et éclaircissement). La combinaison entre cette dynamique de croissance et la dynamique des pluies va donc déterminer l'importance des risques d'érosion.

I.2.5. Le facteur anthropique

Certaines activités humaines accélèrent l'action de l'érosion. Les pratiques qui favorisent l'érosion sont principalement :

*Le surpâturage qui provoque le tassement des sols, diminue sa perméabilité et favorise le ruissellement de l'eau.

*L'intensification de l'agriculture.

*La déforestation favorisant l'écoulement d'eau. Selon la FAO le taux moyen de déforestation des 10 dernières années dans le sud et l'est du bassin méditerranéen est de l'ordre de 1,1 % contre 0,8 % pour la forêt tropicale mondiale (*PNUE- plan bleu, 97*).

*La croissance démographique et l'urbanisation.

Cependant, de nombreuses autres actions menées par l'homme permettent de lutter contre l'érosion hydrique et protéger la ressource sol. En effet, depuis 7.000 ans, l'homme a accumulé les traces de sa lutte contre l'érosion et la dégradation des sols en vue d'améliorer la gestion de l'eau et la fertilité des sols (*Lowdermilk , 1953 cité par Roose, 1994*). Les aménagements ainsi développés peuvent être scindés en deux catégories. La première catégorie représente les aménagements biologiques qui intègrent le reboisement et la re- végétalisation de terres nues, le recouvrement continu des sols soit par les cultures en bandes alternées soit par l'utilisation des plantations pérennes, et l'installation des haies pour délimiter et protéger les parcelles contre l'érosion. La deuxième catégorie comporte les aménagements dites de génie rural avec différentes techniques de stockage d'eau et de freinage du ruissellement, comme la construction des banquettes, des terrasses, des seuils, des gabions, des jessours...

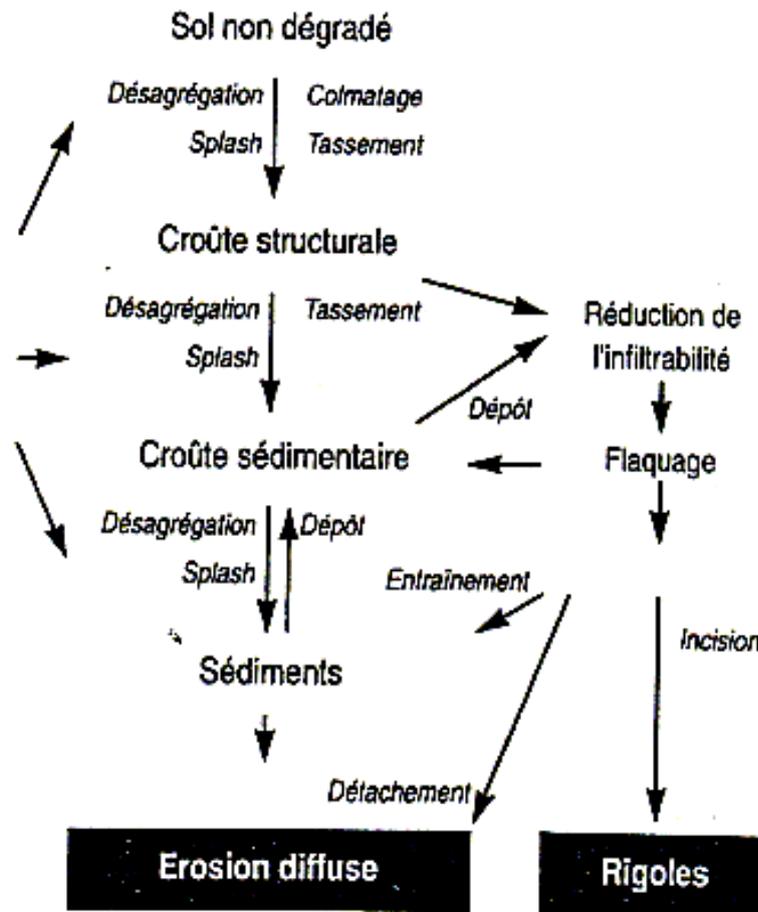


Figure I.6 : Mécanisme de l'érosion

I.3. Conséquences de l'érosion et rôle des ravines

I.3.1. Conséquences de l'érosion hydrique

L'érosion des sols est à l'origine de deux familles de problèmes :

Les conséquences dans la zone de départ des sédiments (on-site effects). Elles sont relatives à la perte de la couche arable ainsi que des semences, ce qui réduit la fertilité du sol et la productivité des cultures. Sachant que la régénération d'un centimètre sol à partir d'un matériau d'origine peut prendre des milliers d'années, le processus peut être considéré comme *quasi* irréversible à l'échelle de générations humaines.

Les conséquences sur les lieux de dépôt (off-site effects) sont plus nombreuses.

Les engrais et pesticides épandus dans une parcelle agricole peuvent être transportés dans les eaux de ruissellement sous forme dissoute ou par adsorption sur les sédiments. Ce transport peut avoir des effets toxiques sur la qualité de l'eau (potable et d'irrigation) et peut provoquer une eutrophisation (prolifération des plantes aquatiques et perte d'oxygène dissout) des milieux

aquatiques. On peut aussi assister à la destruction des infrastructures et le recouvrement de fossés et routes.

Une autre conséquence importante est l'envasement des barrages et des retenues en aval ce qui affecte leur capacité à mobiliser les eaux de surface dans un but d'irrigation ou d'alimentation en eau potable par exemple. Les écosystèmes, les productions et la sécurité alimentaire sont alors sévèrement affectés.

I.3.2. Rôle des ravines

Le ravinement constitue un stade avancé de l'érosion hydrique des sols. Les ravines peuvent atteindre des dimensions considérables, avec des profondeurs qui peuvent varier de 0,5 à 25-30 mètres (*Soil Science Society of America, 2001*). La densité des ravines est fonction essentiellement de la pente et de l'épaisseur du sol (*Slimi, 2008*). Le ravinement est le plus souvent provoqué ou accéléré par la conjonction d'une utilisation inappropriée des terres et d'épisodes de précipitations extrêmes (*Valentin et al., 2005*).

Les informations collectées à travers le monde montrent que les taux de pertes en sol par érosion ravinaire, représentent une proportion variant de 10% à 94% de la production totale des sédiments causée par l'érosion hydrique (*Poesen et al. 2003*). Cette forme d'érosion peut charrier de grandes quantités de terre et être à l'origine de coulées de boue importantes (*Khentouche, 2005*), causant ainsi une perte en sol plus importante que celles dues à l'érosion en surface (nappe + rigoles) (*Poesen et al., 2006*).

Une autre étude réalisée par Poesen et al., en 2002 sur quelques bassins versants méditerranéens, montre que la présence de ravines actives dans ces sites semble être un bon indicateur de l'importance de la production de sédiments à travers ces bassins. En d'autres termes, les ravines constituent des éléments de connectivité qui facilitent le transfert des sédiments dans le paysage. Les ravines peuvent donc être responsables, avec l'oued, du détachement et du transport d'un volume important de sédiments des horizons profonds aux réservoirs (*Poesen et al., 2003*).

Les ravines peuvent avoir aussi un rôle secondaire dans l'infiltration de l'eau dans le sol. En effet, une fois que les ravines sont développées, sur des horizons perméables du sol, le taux d'infiltration d'eau à travers leur lit peut être significativement plus important que celle au niveau des surfaces inter-ravinaires (*Poesen et al., 2003*).

Bien que de nombreuses stratégies pour prévenir et combattre le ravinement se sont révélées être efficaces, elles sont rarement adoptées par les agriculteurs sur le long terme et à grande échelle (*Valentin et al., 2005*).

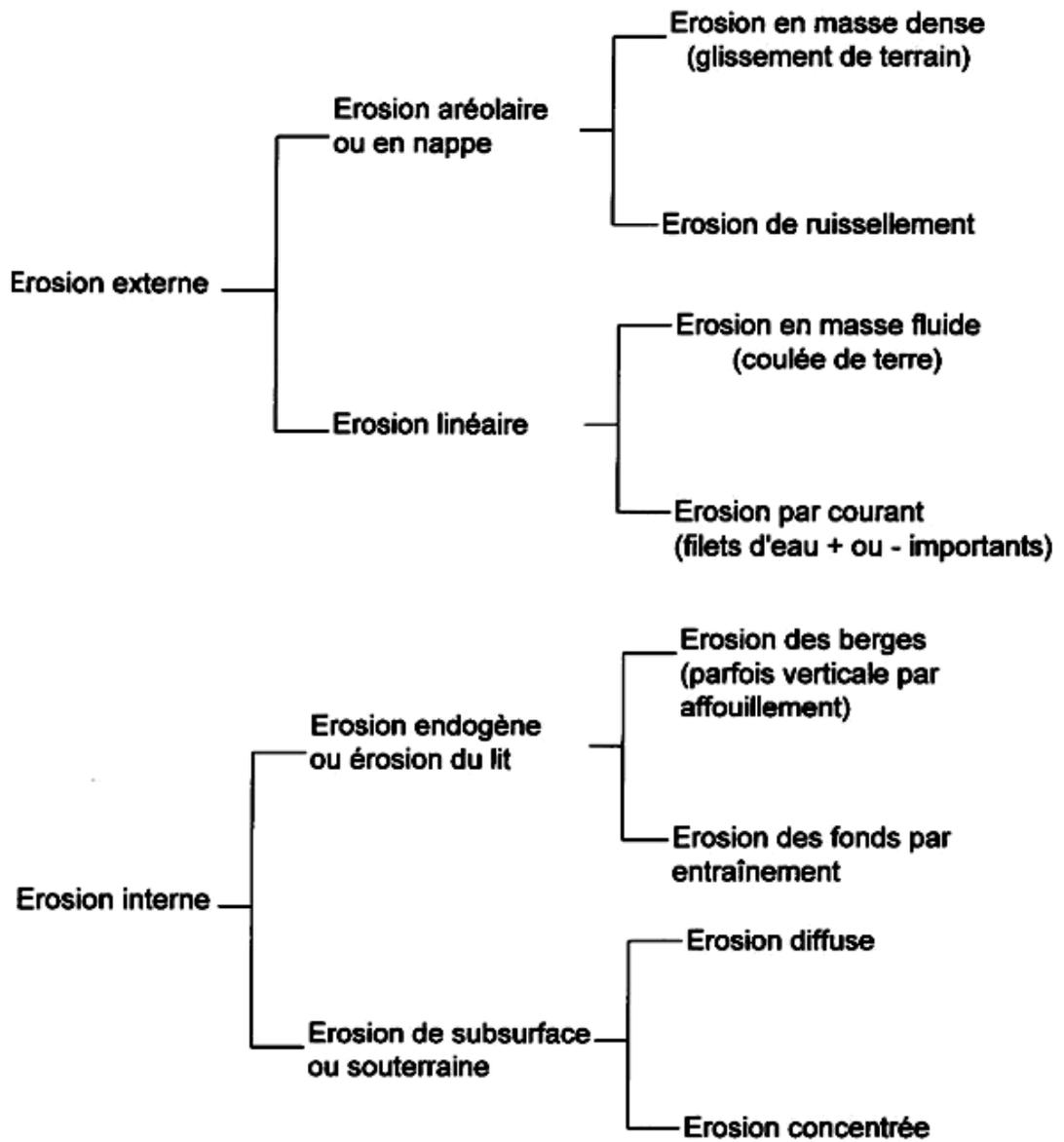


Figure I.7 : Erosion hydrique dans un bassin versant : Schéma dichotomique des différents types.

Source : A.RAMPON (1987)

I.4. Approches et méthodes de quantification de l'érosion hydrique du sol

Les méthodes utilisées dans la quantification de l'érosion varient en fonction des objectifs, des moyens et des échelles d'étude.

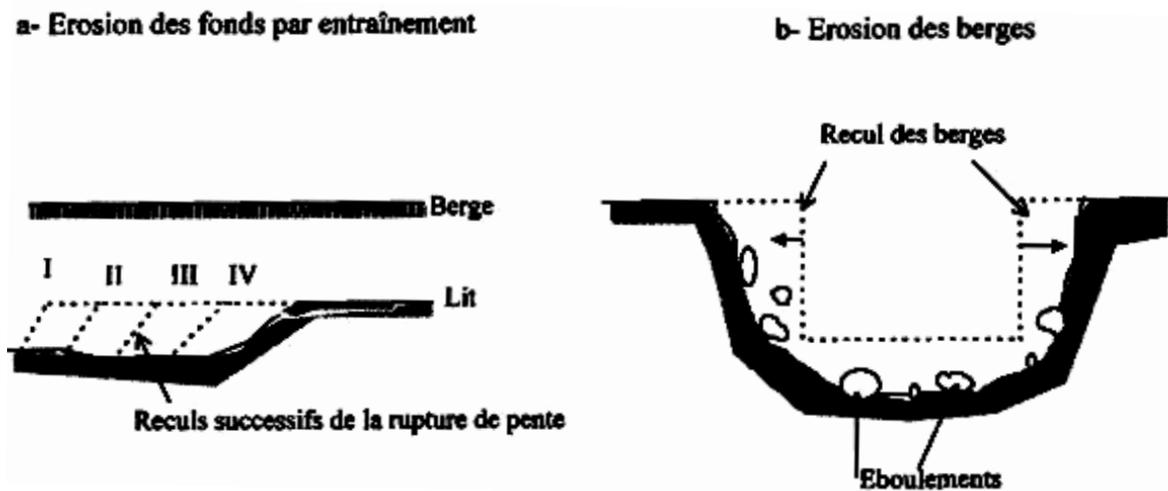


Figure I.8 : Erosion des fonds par entraînement et des berges

Source : CILSS/PAC (1989)

I.4.1. Mesures de terrain

La quantification des pertes de terres peut se faire par mesures directes sur le terrain grâce à l'installation d'une station de jaugeage ou station hydrologique à l'exutoire de la surface d'étude permettant de suivre les flux d'eau et de matières solides associées. Chaque station hydrologique peut par exemple être équipée de capteurs de hauteur d'eau qui permettent de mesurer le débit en continu au droit de déversoirs (pour les faibles débits) et de canaux rectangulaires en béton (pour les forts débits). Le transport solide peut être estimé à partir de mesures de concentration des eaux en matières en suspension (MES) grâce à des préleveurs automatiques asservis aux débits (Ben Slimane, 2008 ; Sauvadet et al., 2012). Dans ce cas, la masse érodée est calculée en intégrant les concentrations obtenues par rapport aux volumes écoulés. Et les bilans annuels moyens de l'érosion sont déduits en intégrant les masses érodées obtenues par rapport à la période et la surface d'étude. Des mesures en continu de la turbidité peuvent aider à l'intégration des concentrations par rapport aux volumes écoulés.

La simulation de pluie constitue l'une des méthodes les plus fréquemment utilisée sur terrain pour déterminer, à une petite échelle correspondant à la surface élémentaire représentative d'une parcelle cultivée et sous diverses conditions de pluie et de sol, certaines caractéristiques hydrodynamiques des sols, et mesurer le ruissellement et les pertes en sol induites. Plusieurs types de simulateur de pluie existent et peuvent arroser des surfaces allant de un mètre carré à une cinquantaine de mètres carré (Benkhelil et al., 2004). Ces simulateurs de pluie présentent

l'avantage d'être des dispositifs mobiles, d'avoir la capacité de produire des averses avec les fréquences, les intensités et les quantités de pluies semblables à des pluies naturelles ou à des événements rares.

Le simulateur de pluie est constitué d'un système d'arrosage fixé au sommet d'une tour pyramidale. L'aspersion est assurée par gicleur calibré monté sur un bras mobile. L'angle de balancement de ce bras permet d'ajuster l'intensité de pluie nécessaire tombant sur la parcelle d'étude (*Bufalou & Elleuch, 1987*). La parcelle étudiée est limitée par un cadre enfoncé dans le sol et équipé d'un canal collecteur pour récupérer l'eau ruisselée ainsi que les particules de sol associées.

L'estimation de la quantité des terres érodées peut aussi se faire par mesure de la sédimentation dans les retenues. Cette évaluation dépend de la densité et du volume des sédiments dans la retenue. L'épaisseur des sédiments est déterminée par bathymétrie, alors que leur densité varie en fonction de la texture, de l'épaisseur des dépôts, de la minéralogie, du niveau de l'eau dans la retenue et de l'âge des dépôts (*Strand and Pemberton, 1982*).

Il existe aussi des mesures topographiques qui permettent d'évaluer la quantité de sol perdue après chaque événement pluvieux, en suivant l'évolution topographique (hauteur) de la surface du sol et les sections des ravines par rapport à un plan et une date de référence.

I.5. Quantification de l'érosion

a) Formule de Henin '1950'

Cette formule symbolise la relation existante entre l'érosion pluviale et les facteurs susceptibles de la favoriser ou de la limiter. La quantification de l'érosion spécifique 'Es' est donnée par la formule suivante :

$$E_s = \frac{I_p I_s}{K V_e} \quad (I.1)$$

I_p : Intensité des précipitations

I : Pente du bassin versant

Les facteurs I_p et I favorisent l'érosion

S : Susceptibilité des sols

K : Perméabilité

V_e : Végétation

Les facteurs S, K et V_e limitent l'érosion

b) Formule universelle de Wischmeier '1959'

Le modèle empirique de perte en terre de Wischmeier et Smith (U.S.L.E) est élaboré, vingt ans après la mise en place des essais d'érosion en parcelle dans une bonne dizaine d'états d'Amérique du nord. Il existait une accumulation d'un grand nombre de données sur l'érosion dont il convenait de faire la synthèse. En 1958, Wischmeier, statisticien du service de conservation des sols fût chargé de l'analyse et de la synthèse de plus de 10000 mesures annuelles de l'érosion sur parcelles et sur petits bassins versants dans 46 stations de grande plaine américaine. L'objectif de Wischmeier était d'établir un modèle empirique de prévision de l'érosion à l'échelle du champ cultivé pour permettre aux techniciens de la lutte antiérosives de choisir le type d'aménagement nécessaire pour garder l'érosion en dessous d'une valeur limite tolérable étant donné le climat, la pente et les facteurs de production.

$$A = R (K . Ls . C . P) \quad (I.2)$$

A : Perte de terre (t/ha)

R : Indice caractérisant l'agressivité de la pluie

K : Indice caractérisant la susceptibilité du sol à l'érosion

Ls : Indice de pente, permettant de comparer les conditions topographiques locales à des conditions standards.

C : Indice de culture, permet de tenir compte du degré de protection du sol par le couvert végétal.

P : Indice de conservation du sol

c) Formule de Grivilovic '1960'

Il a défini l'érosion spécifique, comme étant proportionnel à la température, à la pluie et à un coefficient d'érosion, l'équation est donnée par l'expression suivante :

$$Es = 3.14 . T.Po \sqrt{Z}^3 \quad (I.3)$$

Es : érosion spécifique dans le bassin versant (t/km².an)

T : Coefficient de température

$$T = \sqrt{\frac{t_0}{10}} + 0.1 \quad (I.4)$$

t₀ : Température moyenne mensuelle

Po : Pluie annuelle en mm

Z : coefficient d'érosion

$$Z = y \cdot [x.a] \cdot (\delta + \sqrt{I_{moy}}) \quad (I.5)$$

Avec

Y : Valeur du coefficient de la résistance du sol dû à l'érosion. Il dépend de la roche mère, le type de sol et du climat.

[x.a] : coefficient de régularisation du bassin versant, se rapportant à la protection des sols, des influences des phénomènes atmosphériques des forces érosives liées aux conditions naturelles. Il est aussi tabulé.

δ : Equivalant numérique des processus visibles et nettement prononcés dans le bassin versant.

I_{moy} : Indice de pente moyenne du bassin versant.

d) Formule de Tixeront '1960'

$$Es = [S_1.Ta_1 + S_2 .Ta_2 + S_3 .Ta_3 + \dots S_n.Ta_n] \quad (I.6)$$

Avec

Es: Erosion spécifique (t/km²/an)

Ta₁ : Taux d'abrasion en fonction de la perméabilité du sol dans les sous bassins en t/ km²

S : Superficie totale du bassin versant en km²

S₁, S₂, S₃ : Superficies des sous bassins versants en km²

Si on suppose que la totalité du bassin versant possède une même perméabilité.

On aura :

$$Es = K. Le \quad (I.7)$$

Le : Lamme d'eau ruisselée moyenne interannuelle en mm

K : Coefficient qui tient compte de la perméabilité des terrains

K = 8.5 pour les terrains à perméabilité élevée

K = 75 pour les terrains à perméabilité moyenne à élevée

K = 350 pour les terrains à perméabilité faible à moyenne

K = 1400 pour les terrains à perméabilité faible

e) Formule de Fournier '1960'

$$Q_s = \frac{1}{36} \left[\frac{P^2}{P_a} \right]^{2.65} \cdot \left[\frac{H_{moy}^2}{S} \right]^{0.46} \quad (I.8)$$

Q_s : Apport solide moyen interannuel en $t / km^2 \cdot an$

P : Pluviométrie du mois le plus arrosé en mm

H_{moy} : Altitude moyenne en m

P_a : Pluviométrie moyenne interannuelle en mm

S : Superficie du bassin versant en km^2

I.6. Conclusion

Ce premier chapitre nous a permis, à partir d'une analyse bibliographique, de recenser les différents processus d'érosion hydrique, d'identifier les facteurs intervenants et de présenter les impacts résultants. Une attention particulière a été portée au rôle de l'érosion ravinaire à l'échelle du bassin versant, en montrant que l'érosion ravinaire est un processus significatif de dégradation du sol et que les ravines peuvent jouer à la fois le rôle de source de sédiments et d'éléments facilitant le transport de sédiments.

Chapitre 2

Processus de l'envasement d'une retenue

Chapitre 2 Processus de l'envasement d'une retenue

II.1. Origine de l'envasement d'une retenue:

Tout cours d'eau est le vecteur de 2 débits:

Le débit hydraulique Q .

Le débit solide Q_s

Ce débit solide appelé transport solide est généré par l'érosion de ruissellement des sols ou l'érosion des berges du cours d'eau.

Il est donc constitué de particules de tailles différentes selon que l'on a affaire à des limons, du sable ou des galets.

Les éléments solides se déplacent soit en suspension dans l'eau, soit par charriage sur le fond de la rivière.

Lorsque le cours d'eau débouche dans une retenue, le passage vers une section beaucoup plus large que celle de la rivière entraîne le ralentissement de l'écoulement, ce qui a pour effet de provoquer la décantation au fond de la retenue de ces particules.

Ces matières qui se sont décantées vont avec le temps se fixer au fond et se sédimenter.

C'est ainsi qu'une retenue s'envase au gré de l'évolution de ce transport solide.

II.2. Conséquences

Au cours du temps, si aucune action de désenvasement n'est mise en place, la retenue va augmenter son volume de sédiments. Si ce volume devient trop important des effets vont se faire sentir à plusieurs niveaux.



Figure II.1: Envasement d'une retenue

Tout d'abord on risque de colmater les organes de prise d'eau et de vidange. Ce qui peut gêner le bon déroulement d'une vidange et même être dangereux lorsqu'il est nécessaire, pour des mesures de sécurité, de vider rapidement la retenue.

De la même façon, si l'eau, qui est prise dans la retenue pour être turbinée, est chargée de matières en suspension, on risque d'encombrer les conduites d'amenée et les conduites forcées avec ces matériaux et donc de limiter les possibilités de turbinage, voire même d'abîmer les turbines.

Plus la retenue est envasée, plus, lors des vidanges, l'eau qui passera à l'aval de la retenue, dans la rivière, sera chargée en sédiments remis en suspension.



Figure II.2: Envasement d'une retenue

Ce qui confèrera à l'eau, tout d'abord, une couleur brunâtre sur une distance plus ou moins longue, ainsi qu'une certaine toxicité due à la diminution du taux d'oxygène dessous (consommé par les MES organiques) et l'augmentation de polluants (relargués par ces mêmes MES).

En conséquence le secteur à l'aval direct risque d'être gravement affecté:

- Colmatage des frayères.
- Mortalité piscicole.
- Dégradation des berges.

Pour finir, lorsque de petites retenues sont beaucoup envasées, celles-ci perdent alors une bonne partie de leur capacité, et donc de leur utilité et, par là même, de leur rentabilité pour la production d'hydro-électricité.

Face à tous ces inconvénients plus ou moins graves une politique de gestion des sédiments s'impose de plus en plus. Cette gestion qui existe déjà pour les petites retenues tend à se généraliser pour des ouvrages plus importants.

Il convient donc de gérer une retenue non plus en fonction seulement de l'hydraulicité mais en tenant également compte du transport solide des rivières, d'où l'idée de notre étude.

II.3. Quantification du transport solide

De nombreux hydrauliciens ont cherché à établir des relations permettant d'estimer le débit solide d'un cours d'eau, à partir de nombreuses mesures en modèle réduit ou sur des fleuves.

Ces différentes formules donnent rarement des résultats comparables, car elles ont été établies dans des conditions différentes. Il n'y a pas de formules universelles de transport solide (Degoutte)[13], il existe un grand nombre de formules mais nous nous contenterons de deux formules les plus utilisées, l'une pour le charriage seul et l'autre pour le transport solide total.

Ces formules évaluent la capacité de transport solide constituée par des sédiments présents au fond du lit ou sur les berges.

II.3.1. Formule de transport solide par charriage

1^{re} formule empirique

- Rivière à granulométrie uniforme :

La formule empirique de Meyer-Peter et Muller (1948) donne la capacité de transport solide par charriage lorsque les sédiments ont une taille uniforme.

$$q_s = 32 (\beta \cdot \tau^* - 0.047)^{3/2} \cdot d^{3/2} \quad (\text{II.1})$$

q_s : Débit solide en m^3/s par mètre de largeur de lit exprimé en volume de grains

τ^* : Paramètre de Shields, sans dimension

d : Diamètre des sédiments en m $4 \cdot 10^{-4} \text{m} < d < 3 \cdot 10^{-2} \text{m}$

γ_s/γ_w : Rapport des poids volumiques du matériau solide sur celui de l'eau [2.6 à 2.75]

β : Paramètre adimensionnel compris entre 0.35 et 1 et qui dépend de la

rugosité des grains et du fond (pour un fond plat à granulométrie uniforme $\beta = 1$)

$$\beta = \left(\frac{K_f}{K_{\text{grain}}} \right)^{3/2} \quad (\text{II.2})$$

$$K_{\text{grain}} = \frac{21}{d_{50}^{1/6}} \quad (\text{II.3})$$

- Rivière à granulométrie étendue

A partir des travaux de Parker, il peut être établi que la formule de Meyer-Peter et Muller reste applicable aux rivières à granulométrie étalée en remplaçant le seuil critique (0.047) par 0.138, le paramètre β valant 1.

$$q_s = 32.L (\tau^* - 0.138)^{3/2} .d^{3/2} \quad (\text{II.4})$$

d : est le diamètre médian d_{50}

2^{ème} formule empirique

La formule empirique d'England et Hansen (1967) donne le transport solide total en volume de grains à saturation par des sédiments non cohésifs (charriage et suspension) cette formule a été établie pour les sables $0.15\text{mm} < d < 5\text{mm}$ ($d = d_{50}$)

$$q_s = 0.020 K^2 .R_h^{1/3} . \tau^{*5/2} .d^{3/2} \quad \tau > 0.25 \quad (\text{II.5})$$

q_s : Débit solide en m^3/s

K : Coefficient de Strickler global du lit incluant la rugosité des berges

$$\gamma_s / \gamma_w = 2.6$$

A partir d'une banque mondiale de 1900 données de laboratoire et 800 données de fleuves, des chercheurs portugais ont établis que la formule d'England et Hansen donnait de bons résultats. 66% des valeurs calculées sont entre la moitié et le double des valeurs mesurées, ce qui est honorable, puisque pour les 10 formules testées, ce ratio varie de 35% à 68%. [13]

II.3.2. Conditions d'utilisation des formules de transport solide

Dans le calcul du transport solide il faut tenir compte des conditions suivantes [13] :

- Toutes les formules de transport solide total ou par charriage doivent être utilisées avec la plus grande prudence car elles sont établis à partir de mesures dans les fleuves ou en laboratoire dans des conditions particulières de topographie, granulométrie, vitesse.
- Il faudra toujours mieux utiliser ces formules en tentant de les recalculer, ces tout l'intérêt de leur formulation en variables adimensionnelles.
- Le débit solide $Q_s = L.q_s$ dans une section s'obtient en multipliant q_s par la largeur L du lit. En général il n'est pas tenu compte de la largeur des berges car celles-ci contribuent moins au transport solide.

II.4. Etapes de l'envasement d'un barrage

Le processus de l'envasement d'un barrage débute dans la première phase par l'arrachage des particules fines de leurs positions initiales par le ruissèlement. Dans la seconde phase, les sédiments seront drainés par les cours d'eau jusqu'au barrage. Enfin dans la troisième partie, les particules seront pièges pour se décanter et se tasser au fond du lac du barrage (fig. 3).

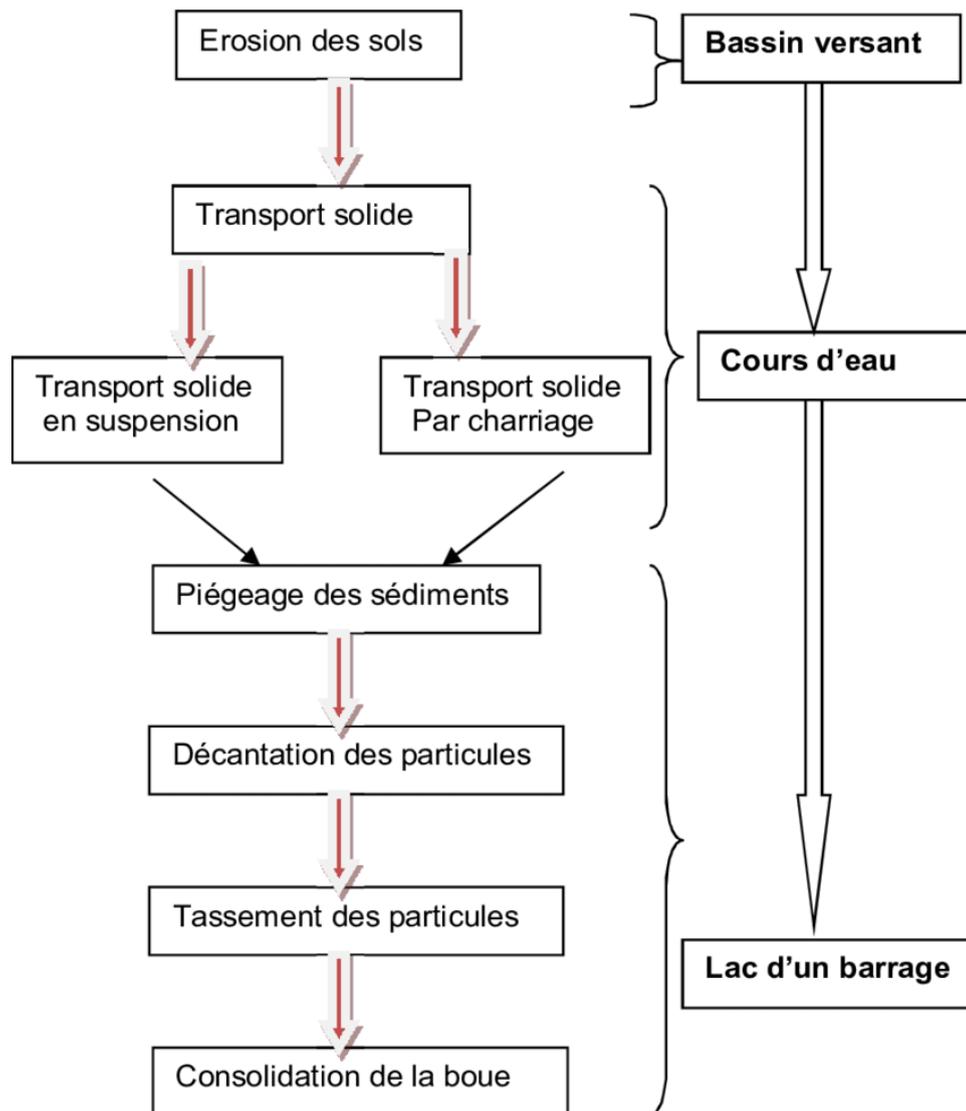


Figure II.3 : Processus d'envasement d'un barrage Réservoir (Remini, 1990)

II.5. Influence des différentes caractéristiques des retenues sur le mécanisme de l'envasement

II.5.1. Influence de la topographie de la retenue

La topographie de la retenue modifie l'envasement en modifiant les conditions d'écoulement des courants. Cet effet, bien peu étudié est difficile à quantifier. Il est probablement déterminant pour la localisation des dépôts. En général, plus la forme de la retenue est tortueuse, plus l'envasement se déplace vers l'amont.

II.5.2. Présence de la végétation

La végétation existante en fond de retenue peut retenir une grande partie des sédiments, de plus, elle accélère la consolidation des vases par la succion de l'eau interstitielle.

II.5.3. Présence d'affluents

Des affluents se jetant dans le réservoir (lac) de la retenue perturbent parfois le mécanisme classique d'envasement, notamment s'ils sont eux mêmes chargés de matière en suspension.

II.5.4. Influence du mode d'exploitation du réservoir

La mise en mouvement des sédiments dans la partie découverte dans la retenue, ou la rivière va en général retrouver son lit d'origine, ou en tout cas divaguer en creusant son chenal parmi les alluvions précédemment déposées.

De plus des talus glissent, soit du fait de l'érosion progressive due au rétablissement du cours d'eau, soit simplement parce que les pentes d'équilibre des talus sont plus faibles hors d'eau.

L'exploitation de la retenue à niveau bas déplace vers l'aval l'ensemble de l'alluvionnement. Ceci explique que dans la pratique on n'observe pas toujours un classement granulométrique régulier en fonction de la distance au barrage. L'utilisation fréquente des vidanges de fond contribue à limiter l'envasement, soit en favorisant l'écoulement des courants de densité, soit en ayant un effet de chasse.

II.6. Périodes privilégiées pour la sédimentation:

Le transport solide est le plus abondant au moment des crues. C'est donc durant ces périodes que la sédimentation des retenues s'effectue principalement.

Les périodes de crues ont lieu généralement chaque année à la fonte des neiges, et également en automne lors de pluies ou d'orages importants. En plus de ces périodes annuelles, il existe tous les 5, 10, 100 ans des crues beaucoup plus importantes (crues décennales, centennales...) qui vont aggraver ce phénomène. C'est pourquoi nos calculs se sont basés sur des débits de crues de retour 1, 10 et 50 ans.

Dans le cas où, à ce moment là, le barrage est vide et ouvert, le flot solide et liquide transite à travers le barrage et poursuit son chemin vers l'aval de façon naturelle. Dans cette configuration, le barrage est "transparent" vis à vis du transport solide et de l'écoulement. Dans ce cas on parle de "transparence" ou de "chasse en période de crue".

II.7. Piégeage des sédiments

Une fois l'eau de crue arrive au niveau du lac du barrage, les matériaux sont piégés par les eaux calmes du barrage. Les particules grossières seront freinées à l'entrée du barrage sous forme d'un delta. Par contre les particules fines continueront leur chemin en fonction de la concentration, soit sous forme de courants de densité ou par diffusion.

Les barrages Maghrébins sont considérés comme de véritables fosses à sédiments

II.8. Courants de densité dans les barrages

Dans les régions arides, les crues drainent des quantités élevées en particules fines dépassant généralement la concentration de 100 g/l (Remini, 1997). Le contact des eaux chargées d'une crue avec celles du lac d'un barrage engendre l'apparition des courants de densité qui se propagent sur le fond au-dessous des eaux claires du lac d'un barrage sous forme d'une couche très dense bien individualisée (fig. 4). Arrivés devant l'obstacle (digue), les courants de densité après avoir buter contre le mur se stabilisent sous forme d'un lac boueux sous les eaux claires du lac. La succession des courants de densités provoquées par les différentes crues durant la saison d'automne augmentera rapidement l'envasement du barrage. L'apparition des courants de densité à l'entrée d'un lac (point de plongée) est conditionnée par des concentrations très élevées en particules fines (Remini, 1997). La géométrie du lac du barrage de type « canal » favorise la propagation des courants de densité. Ils peuvent parcourir une distance de plus de 10km du point de plongée jusqu'au pied du barrage.

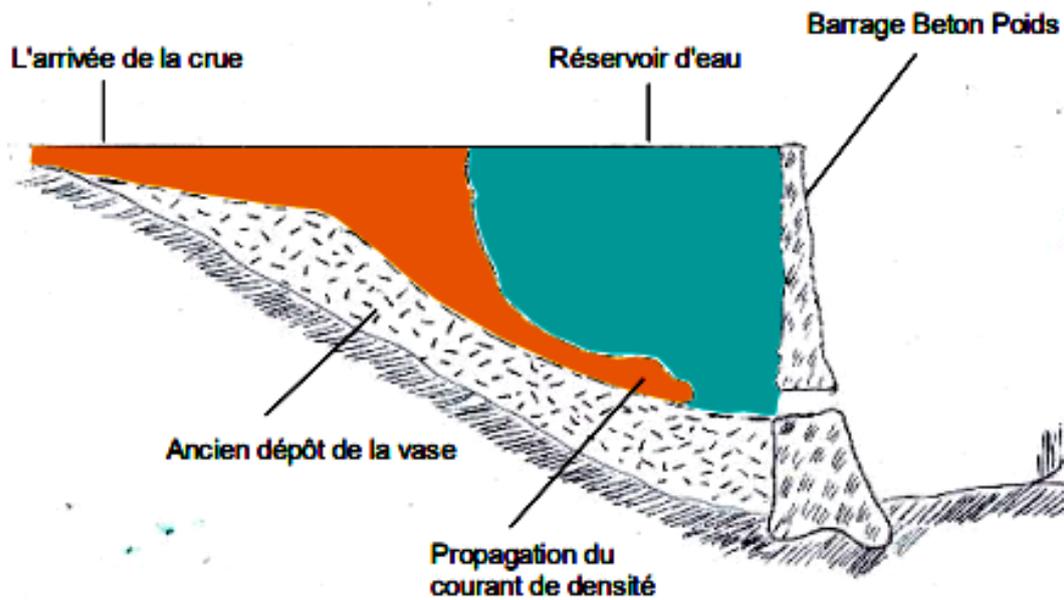


Figure II.4 : Schéma de la propagation d'un courant de densité au fond d'un barrage

(Schéma Remini, 2016)

II.9. Influence des barrages sur la continuité sédimentaire

Les processus à l'origine des sédiments et de leur devenir sont l'érosion, le transport, le dépôt et la compaction. L'implantation de barrages sur les cours d'eau s'accompagne toujours de modifications hydromorphologiques et physico-chimiques en perturbant notamment la **continuité** sédimentaire mais aussi écologique. Ces ouvrages vont modifier le régime hydrologique des cours d'eau concernés, passant de régimes dynamiques fluviaux (avec turbulences liées aux courants) à des régimes statiques proches des domaines lacustres (régimes plus calmes, moins de turbulences). Cette modification de régime permet l'accumulation privilégiée de particules fines à proximité du barrage alors que les plus grossières seront plus abondantes en queue de barrage (Figure 5).

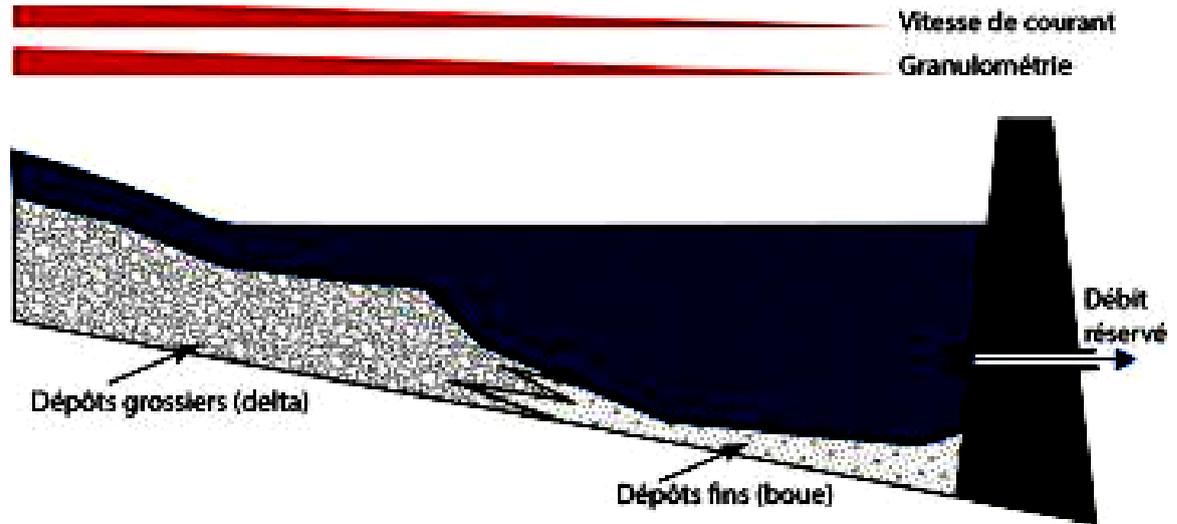


Figure II.5. Influence des barrages sur le tri granulométrique des sédiments en amont de l'ouvrage [Source : adapté de Frémion et al., 2016].

Les barrages peuvent perturber le transit des sédiments de l'amont vers l'aval d'un cours d'eau sur des longues distances, parfois jusqu'à l'estuaire. Ils constituent des barrières physiques qui représentent des pièges à sédiments efficaces. On estime une rétention de 70 à 90% du volume des sédiments exportés du bassin versant, avec comme corolaire un tri granulométrique des sédiments. Par exemple, les galets ou les sables grossiers vont s'accumuler au sein des retenues. Cela aura des incidences en aval sur les habitats des écosystèmes aquatiques et **ripariens** (sur les rives) ainsi appauvris, mais aussi favoriser les phénomènes d'enfoncement (ou **incision**) du lit d'un cours d'eau au cours du temps.

A l'opposé, la perte de sédiments fins également piégés au sein des retenues de barrages va avoir des effets négatifs, par exemple sur le transport en aval des nutriments. Cela peut aussi diminuer la turbidité des cours d'eau, essentielle pour certaines espèces piscicoles.

Toutefois le pourcentage de sédiments piégé va être fonction du temps de résidence de la masse d'eau dans le barrage. Les retenues de barrage sont ainsi alimentées par les produits d'érosion des bassins versants au sein desquels ils sont édifiés. De même l'aménagement du bassin versant va jouer un rôle fondamental sur la nature et l'abondance des sédiments. En effet, l'apport en matériel issu de l'érosion des formations géologiques est fonction de la prédominance des forêts, de l'agriculture, des activités industrielles, de l'urbanisation principalement.

Toutefois, tous les barrages n'ont pas les mêmes incidences sur les cours d'eau. Cela dépend notamment de la hauteur de l'ouvrage, de son implantation – plus ou moins en amont du bassin versant, de l'existence de barrages successifs sur un même cours d'eau. Dans l'absolu, l'implantation des barrages a pour effet d'augmenter l'érosion des zones amont des bassins

versants et donc d'augmenter leur charge sédimentaire. Cela est dû notamment aux modifications du fonctionnement hydrologique du cours d'eau. Or, ce que l'on constate est une réduction de la quantité de sédiments en aval, du fait de leur rétention au sein des retenues.

Cette charge solide est pourtant absolument nécessaire dans les cours d'eau à l'aval des ouvrages pour maintenir leurs caractéristiques morphologiques et écologiques.

II.10. Problèmes posés par l'envasement des barrages

L'envasement pose d'énormes problèmes au barrage et à son environnement. C'est ainsi que les dépôts successifs de la boue réduisent la capacité utile des barrages. Le tassement et la consolidation de la boue bloque les pertuis de vidange d'un barrage.

II.10.1. Réduction de la capacité

A la côte à retenue normale (RN), le volume du réservoir d'un barrage est W_0 . Il désigne la capacité initiale du barrage pour l'année de sa mise en eau. A cette date, chaque barrage possède sa propre courbe : Hauteur-capacité comme le montre la figure 6.

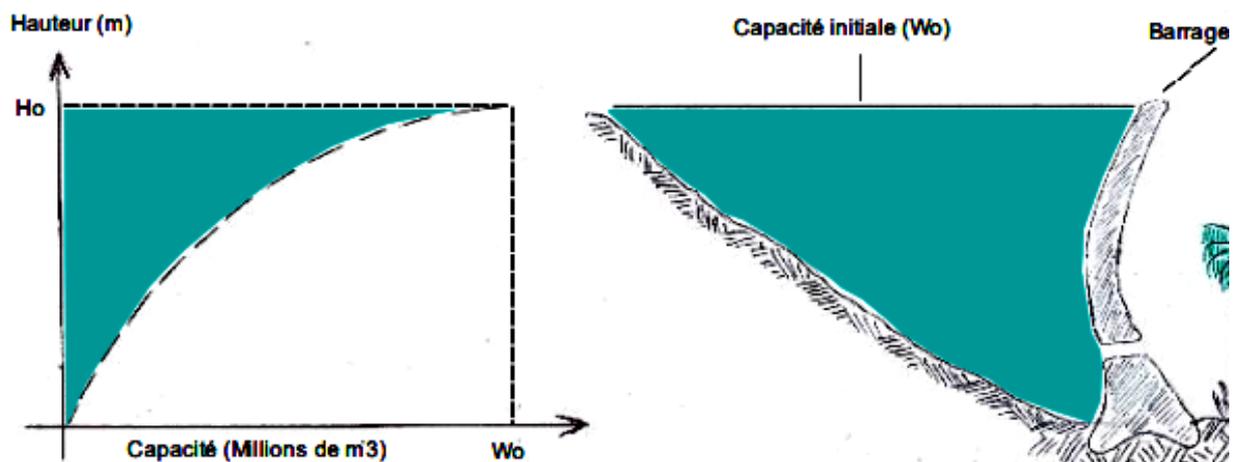


Figure II.6 : Courbe : Hauteur- Capacité d'un barrage (schéma Remini, 2016)

Cependant, ce volume diminue dans le temps suite aux dépôts successifs de la boue au fond du barrage. Sans l'intervention de l'homme (pour le dévasement), le barrage s'envase pendant une durée de temps (nombre d'années) T_0 , on parle dans ce cas de la « durée de vie » d'un barrage qui dépend de la vitesse de l'envasement (ou le taux d'envasement). Remini (1997) a montré que durant les premières années de l'exploitation d'un barrage, la relation de l'envasement est linéaire. A partir d'un seuil, l'envasement évolue avec une fonction parabolique (2eme degré) jusqu'au comblement total du barrage (Remini et al, 1997). D'une autre façon la capacité de stockage d'eau suit les mêmes lois d'évolution mais dans le sens inverse (fig. 7).

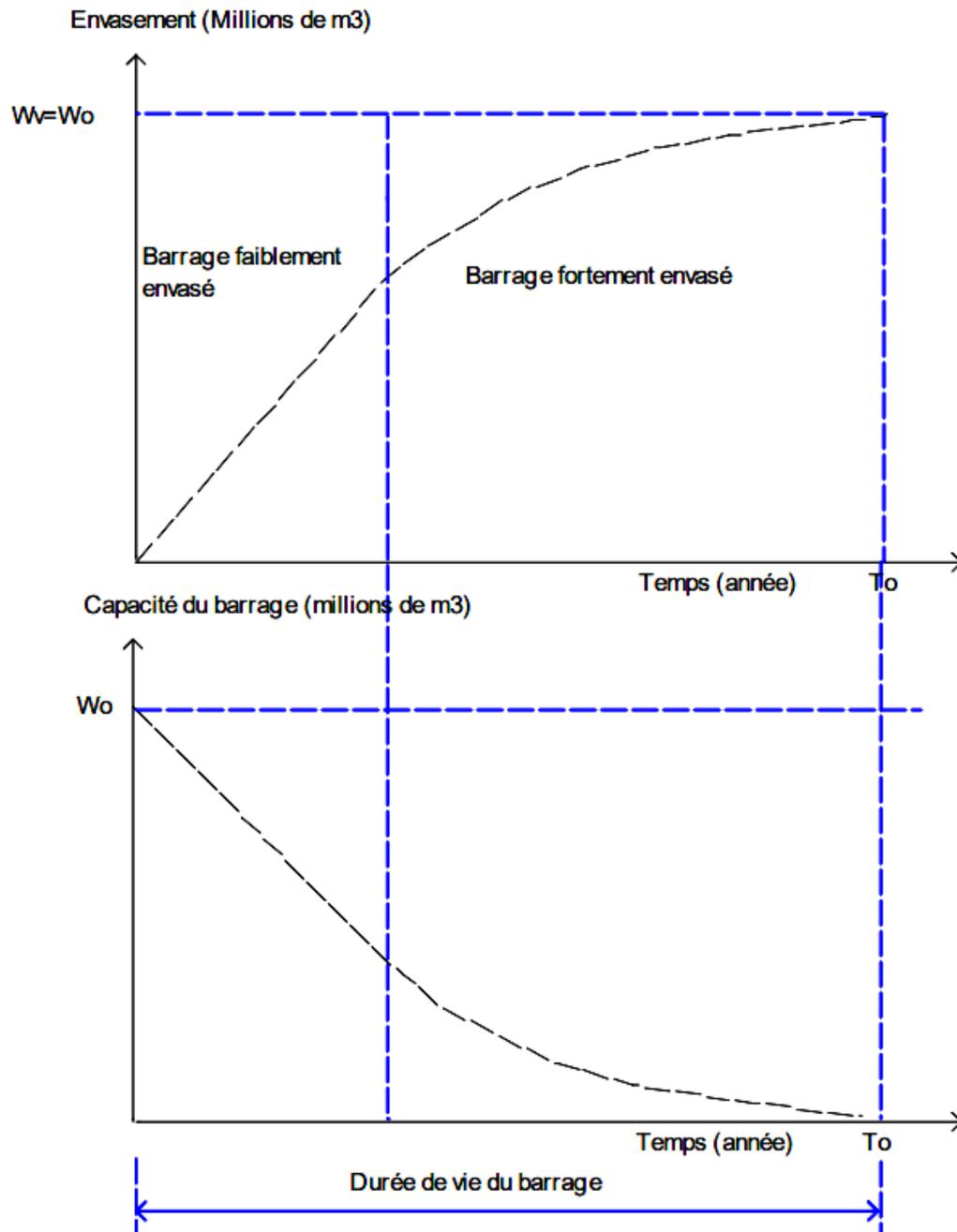


Figure II.7. Evolution temporelle de la capacité d'un barrage
(Remini,1997 ; Remini et al,2017).

II.10.2. Blocage des vannes de fond

Dès que le volume « mort » est atteint, les vannes seront menacées par les dépôts de vase. Avec les manœuvres de vannes, un cône de vase sera dégagé près des ouvertures. Avec le temps les vannes finiront par se colmater et devient difficile toute manœuvres des vannes.

Dans les régions arides, la gestion des vannes d'un barrage est complexe. L'ouverture des vannes en période de crues devient indispensable pour prolonger la durée de vie de l'ouvrage et évitera le dysfonctionnement de ces vannes (Figure 8). Cependant, la violence et l'agressivité des crues

dans les oueds en régions arides drainent divers types de matériaux y compris les troncs d'arbres, et même de cadavres d'animaux. Une telle situation peut bloquer la fermeture d'une vanne par un corps solide lors de soutirage des sédiments. L'eau peut s'écouler à l'aval du barrage durant plusieurs jours avant de solutionner le problème. De tels cas ont été observés dans plusieurs barrages. Une autre situation qui gêne la gestion optimale des vannes de fonds. En période de grandes crues ou les courants de densité marquent leurs présences dans la retenue, le gestionnaire de barrage est forcé par les pouvoirs publics de maintenir les vannes fermées pour éviter les inondations des villages situées à l'aval.



Figure II.8 : Blocage de la vanne de fond de la deuxième digue du barrage Boughezoul (cliché. Remini, 2011)

II.10.3. Envasement des canaux d'irrigation

L'irrigation des terres agricoles par les eaux chargées en provenance des barrages envasés pose d'énormes problèmes pour les agriculteurs. Plusieurs kilomètres de canaux, les bassins et les siphons se trouvent envasés après chaque opération d'irrigation. Ceci oblige les agriculteurs à effectuer périodiquement des opérations de curage par des moyens mécaniques (Figure 9).



Figure II.9 : Curage d'un canal par les moyens mécaniques (Cliché. OPIM, 2008)

Chapitre III

Mesure pour prévenir les effets de l'érosion

Chapitre III : Mesure pour prévenir les effets de l'érosion

Les risques d'envasements des ouvrages peuvent être évités ou atténués par la mise en place d'un programme d'aménagement des bassins versants, lié à la protection des ouvrages. Pour cela, la mise en œuvre de mesures adéquates de protection des berges, de reboisement, de la plantation fruitière, correction torrentielle est indispensable. Les techniques de lutte contre l'érosion sont appelées à être généralisées en vue, notamment de contrer les effets du ruissellement des eaux. Il faut veiller, également à ce que les aménagements de protection afférents soient strictement et vigoureusement entretenus, car leur négligence ou abandon aura un effet inverse, c'est à dire une accélération de l'érosion.

III.1. Aménagements antiérosifs

III.1.1. Différents aménagements antiérosifs

L'érosion reste encore mal connue et surtout mal maîtrisée car elle est discontinue dans le temps et dans l'espace. Les processus, les causes et les facteurs déterminant l'érosion étant très variable, il n'y a pas de recette généralisable de lutte antiérosive.

En matière de traitement des zones touchées par l'érosion hydrique, il est recommandé d'appliquer un traitement à 2 volets :

- Un volet mécanique appelé communément correction torrentielle, consistant à implanter un réseau de seuils à travers des ravins de différents type.
- Un volet biologique nécessitant la végétalisation des versants et des ravins.

Il est essentiel d'appliquer ce traitement dans les 2 volets pour avoir l'effet souhaitable, attendu que l'application du seul volet d'implantation de seuils ne sera conduire à des résultats satisfaisants car les seuils se sédimentent rapidement et perdent leur efficacité. En effet le traitement par l'établissement de la végétation sur les versants assure une permanence des effets positifs.

La majorité des techniques antiérosives s'intègrent dans l'un des deux objectifs : maîtriser l'érosivité du ruissellement ou réduire l'érodibilité de la surface, or ces principales méthodes sont décrites et organisées en fonction des facteurs sur lesquels agissent les techniques de lutte contre l'érosion.

Les principes qui peuvent être retenus pour limiter efficacement l'érosion sont :

- Identifier d'abord les différentes zones suivant les processus dominants, tant du point de vue de la formation du ruissellement que l'érosion elle-même (travail à l'échelle du bassin versant, unité spatiale de base).
- Protéger le sol de l'impact de la pluie.

- Retarder et réduire la formation d'un écoulement superficiel : augmenter la capacité d'infiltration et la capacité de stockage.
- Accroître la protection et la résistance des zones où les conditions morphologiques peuvent favoriser l'incision.
- Réduire les capacités de détachements et de transport du ruissellement en limitant sa vitesse et sa concentration.

III.1.2. Aménagements mécaniques

Un seuil est un ouvrage construit au travers du lit d'un ravin. Il peut être en maçonnerie, en béton, en pierres sèches, en grillage métallique ou en gabion.

Il est placé perpendiculairement à l'axe du lit pour arrêter l'érosion en profondeur et sur les côtés, retenir les matériaux charriés, et stabiliser les éboulis des berges en leur procurant un appui. Son efficacité est fonction de sa durabilité, il faut donc donner au seuil une réelle solidité par l'emploi de matériaux convenables et une construction soignée.

Ces aménagements servent surtout dans les ruisseaux, ravins, et ravines. Ils consistent à réduire la vitesse de ruissellement, retenir les sédiments et protéger les infrastructures socio-économiques en aval.

Il existe plusieurs types de seuils selon les matériaux de construction utilisés :

- **Les seuils en pierres sèches :**

Cette technique consiste à stabiliser le fond des ravines par la construction de quelques seuils en pierres non cimentées mais bien ancrées sur les berges de manière à en augmenter la cohésion et la rigidité. Les pierres doivent être arrangées soigneusement de façon à ce que l'ouvrage soit bien stable, Celles-ci doivent être déposées sur le sol sans architecture spéciale et on continue à construire la diguette jusqu'à une hauteur qui dépasse de 10 à 15 cm du niveau initial du sol avant l'incision par érosion.

Cette technique est efficace du fait qu'elle contribue à casser l'énergie du ruissellement et à limiter sa capacité au creusement.



Figure III.1: Seuil en Pierre Sèche

- **Les seuils en gabion :**

Les gabions sont des caisses en grillage formées de pierres rangées avec soin et entourées de fil de fer galvanisé. Ces caisses sont transportées pliées et déployées sur le terrain, En chantier, les gabions sont assemblées et reliées régulièrement et soigneusement les uns aux autres avec un fil de ligature, les pierres ne doivent pas être friables ni gélifiées et de dimension plus grande que celle de la maille de grillage.

Les gabions sont destinés à freiner la vitesse d'écoulement des eaux de crues et permettent ainsi de recharger nappes souterraines irriguer les terrasses avoisinantes par épandage d'une partie des eaux de ruissellement réduire le pouvoir érosif des eaux et les risques d'inondation dans les zones en aval. (Boufaroua et Al ,1998), (Figure 8).



Figure III.2. Seuil en gabion

- **Seuil en maçonnerie :**

Un seuil en maçonnerie est un barrage construit avec de la pierre cimentée ou du béton, souvent sur des terrains rocheux. Ces ouvrages sont réalisés au travers du lit d'un torrent ou d'un gros ravin pour empêcher le lit de se creuser en remettant ainsi en cause la stabilité des berges et des versants. Il s'agit là de travaux de génie civil auxquels on fait appel pour renforcer, sur le même ravin, une série de seuils moyens (en pierre sèche et en gabions) construits à l'amont ou bien lorsque le torrent ou le ravin est assez important et que les matériaux charriés n'ont aucune chance d'être arrêtés par les ouvrages simples. Le lit du torrent peut être transformé dans ce cas en un grand escalier dans lequel se succèdent plusieurs seuils en escalier, car la correction d'un torrent, est une question de profil en long" (Figure 9).



Figure III.3: Seuil en maçonnerie

- **Seuil en grillage métallique :**

barrage filtrant, très efficace souple sur le terrain, moins cher que les deux premiers mais difficile à manier surtout dans les endroits d'accès difficile. On le suggère dans les régions dépourvues de pierres de qualité.

- **Seuil en sacs plastiques :**

Se sont des sacs de récupération remplis de terre et protégés par une petite couche de cailloux ou de ciment ou simplement de terre car le plastique résiste mal aux rayons ultra violets, il est très efficace, souple et facile à mettre en place, meilleur marché. Pour améliorer ces performances on compte utiliser du plastique noir plus résistant au soleil que le plastique vert.

- **Les seuils en gabions :**

Sont les plus solide et résistent mieux, puis viennent les pierres sèche avec aussi moins d'accident, puis c'est les grillages métalliques et en dernier lieu c'est le seuil en toile plastique.

Le problème rencontré lors de la correction torrentielle, s'exprime dans le type de seuils à mettre en place, leur coût et leur efficacité pour stocker les sédiments, mais surtout pour stabiliser le fond de la ravine et rétablir la pente d'équilibre des talus permettant d'installer une végétation naturelle.

En conclusion, la lutte mécanique est indispensable et efficace temporairement mais exige une fixation biologique rapide des atterrissements, des versants et de l'amont des ravines.

L'aménagement mécanique et biologique d'une ravine peut être réalisé progressivement mais il doit concerner tout le bassin versant dès la première année. La fixation biologique d'une ravine vient consolider les versants et le fond de ravine stabilisé par différents types de seuils.

Les travaux de protection de bassin versant vont permettre d'améliorer l'infiltration de l'eau afin d'augmenter la nappe phréatique et en conséquence augmenter la production de la biomasse en couvrant mieux le sol et de rétablir l'équilibre des bilans des matières organiques et minérales du sol.

III.2. Actions humaines et aménagements antierosifs :

Les seuils en général sont des ouvrages conçus pour stabiliser les ravins actifs et profonds et aider à la végétalisation des versants à pente forte. Le choix du type d'ouvrage est fonction de l'importance des ravines à équiper, de la nature de l'érosion, et de disponibilité des pierres et de l'accessibilité au site.

Parmi les techniques d'aménagement mises en œuvre dans le bassin versant de DAHMOUNI, il a été décidé d'opter pour la correction des ravins à l'aide des seuils en gabions.

III.2.1. Caractéristiques des seuils en gabion :

Hauteur :

Elle est en fonction des profils en travers et en long des ravins. Plus un ouvrage est grand, plus le risque de renversement accroît, plus le prix de revient est élevé.

La hauteur conçue pour le seuil en gabion est d'environ : $H = 1.5 \text{ m}$

Épaisseur :

L'épaisseur moyenne (**d**) d'un seuil de hauteur **H** est donnée par la formule :

$$\mathbf{d = 1/2 H \quad (III.1)}$$

Dans le cas des seuils en maçonnerie de pierres sèches, ou de moellons l'épaisseur à la base doit être supérieure à celle de la crête. Généralement, le fuit du seuil est de l'ordre de 20 %, l'on recommande que :

- L'épaisseur de la crête soit égale à 0,4 H (H étant la hauteur du seuil)
- L'épaisseur à la base du seuil soit égale à 0,6 H.

Les dimensions des seuils doivent être suffisantes pour assurer l'écoulement des plus fortes crues, sans débordement.

Nombre des seuils :

Pour construire les premiers seuils, une pente de compensation est calculée par mesure des pentes d'atterrissement naturelles ou artificielles. Le nombre des seuils à construire sera alors :

$$\mathbf{N = L \times (P - I) / H \quad (III.2)}$$

Avec :

N : nombre de seuils

L : longueur du ravin

P : pente du lit de la ravine

I : pente de compensation

H : hauteur moyenne de l'ouvrage.

Sur les pentes assez forte, le nombre d'ouvrage pourra être réduit pour des raisons économiques généralement de 3 à 5% pour les ravins a traitées d'ordre 4 et plus.

Le nombre de seuils mis en place dans la zone d'étude est de l'ordre de 33 seuils.

Espacement :

L'espacement entre les ouvrages est donné par plusieurs relations :

- la relation liant la longueur du ravin avec le nombre des seuils :

$$E = L/N \quad (\text{III.3})$$

- l'équation de Ramser permettant de calculer la dénivelée qui nous renseigne sur l'espacement :

$$HS = 0.305 * (a + [P\%/ b]) \quad (\text{III.4})$$

Avec :

HS : la dénivelée entre deux structures anti érosives

P : inclinaison de la pente

a : constante égale à 2

b : varie de 2 à 4 si le climat est plus agressif

Ou bien il sera calculé en prenant en considération la hauteur de l'ouvrage et la pente moyenne de la ravine on utilisant la formule de (HEEDE) :

$$E = HS / K * G * \cos a \quad (\text{III.5})$$

Avec:

E: Espacements entre seuils

HS : Dénivelée

a : pente du ravin

G : tan a

K = 30% Pour **G** < 0.20 ; **K** = 50% Pour **G** > 0.20

Avant la mise en place des seuils mécaniques sur les ravins, l'espacement doit être bien calculé ; il dépend surtout de la hauteur valeur de la pente. Plus la pente est élevée, plus l'espacement est réduit et donc plus le nombre de seuils est élevé. Lorsque la pente est faible, l'espacement a tendance à être élevé et le nombre de barrage réduit. Bien sure, quand cela est nécessaire, le nombre des seuils à construire est rectifié en fonction des données du terrain.

III.3. Conclusions

Durant notre travail nous avons pu identifier une des principales formes d'érosion dans la région, représentée essentiellement par l'érosion linéaire, les facteurs principaux gérant ce phénomène, les aménagements antiérosives, ainsi que les différentes caractéristiques du bassin versant.

Dans ce cadre, les techniques antiérosives au niveau des ravins à traiter, sont conditionnés par l'état du sol rencontré, d'ailleurs dans la zone d'étude les corrections mécaniques sont matérialisées par des seuils en gabion.

Dans l'objet de garder la stabilité des ravins traités, l'espacement entre les seuils en gabion doit être bien respecté, par conséquent l'installation des seuils nécessite l'étude de la concavité de la pente (espacement faible en amont et important en aval). Ces conditions d'espacement sont conçues pour éviter à la fois, les dégâts produits lors de déchaussement des seuils, ainsi que les pertes budgétaires considérables.

En perspective il serait souhaitable d'utiliser les différents outils d'aide à la décision, comme la télédétection et les systèmes d'informations géographiques (SIG), afin d'estimer les différents paramètres de l'érosion linéaire à savoir, l'agressivité des pluies, l'érodibilité des sols, le facteur topographique, l'indice du couvert végétal et le facteur des pratiques antiérosives, régissant le bassin versant DAHMOUNI, ainsi que quantifier les pertes en terre par ruissellement.

Chapitre IV

Moyens techniques de lutte contre l'envasement

Chapitre 4 Moyens techniques de lutte contre l'envasement

IV.1. Aménagement des bassins versants

Le meilleur moyen technique de lutte contre l'envasement est situé au niveau de la source de production des particules, c'est-à-dire au niveau du bassin versant. Diverses méthodes sont appliquées comme le reboisement, la réalisation des banquettes et l'aménagement des ravines par la correction torrentielle (Figure 1 et 2).



Figure IV.1. Une série de seuils réalisée sur une ravine du bassin versant de Beni Chougarne (cliché. Remini, 2014)



Figure IV.2. Banquettes réalisées au niveau du bassin versant d'oued Mina

(cliché. Remini, 2011)

IV.2. Gestion du stock sédimentaire

La gestion des retenues de barrages ne concerne pas uniquement l'ouvrage en lui-même. En effet, la gestion du matériel sédimentaire, qui est stocké ou qui peut transiter au sein et au travers de l'ouvrage, est un enjeu fondamental. Néanmoins, lors de la conception, la durée de vie d'un barrage est estimée à partir des taux de sédimentation et du volume d'un bassin optimal. Cependant la dimension des ouvrages est souvent sous-estimée par rapport à une durée de vie réaliste. L'accumulation de matériel sédimentaire peut donc à long terme impacter :

- le rendement de fonctionnement d'un barrage hydroélectrique en affectant sa capacité de stockage ;
- influencer sur la gestion de la ressource en eau ;
- fragiliser ou accélérer le vieillissement d'un ouvrage donc influencer sur sa sécurité ;
- influencer sur son rôle de régulateur des crues (écrêtement) ;
- et enfin appauvrir durablement la quantité et la qualité granulométrique en sédiments dans les cours d'eau dans sa partie aval.

La gestion du stock sédimentaire se fait généralement par évacuation ponctuelle et plus ou moins totale, du fait des coûts ou des impacts environnementaux liés à ces pratiques. La gestion peut dès lors être réalisée par différentes approches :

- celles qui permettent de limiter l'apport des sédiments en amont du barrage ;
- celles qui éliminent par curage par exemple les sédiments déjà accumulés ;
- et celles qui permettent aux sédiments de transiter au travers du barrage à des périodes spécifiques, ou de les contourner.

Pour répondre à ces problèmes, des solutions sont mises en œuvre ou envisagées pour les (futurs) constructions. Parmi celles-ci, le choix d'implantation d'un barrage en lui-même est primordial. Il doit être construit plus ou moins en amont du bassin versant, en tenant compte de la propension à l'érosion du site choisi, de la charge solide impliquée, des caractéristiques hydromorphologiques du cours d'eau à aménager... D'autres solutions peuvent aussi être envisagées comme la mise en place de systèmes de by-pass ou encore de turbines acceptant le passage de sédiments plus ou moins fins.

Le remplissage sédimentaire de la retenue au cours du temps demande donc une gestion particulière qui peut être problématique selon la qualité des sédiments. En effet, le barrage ayant joué un rôle d'hyper-accumulation de la contamination, des volumes importants de sédiments fortement contaminés ne pourront pas être évacués par des chasses dans le milieu naturel sous peine de pollution vers l'aval du cours d'eau.

IV.3. Méthodes de lutte contre l'envasement:

1^{ère} méthode : chasse en période de crue.

Démarche à suivre:

Avant chaque crue importante, le barrage est vidé à son minimum d'exploitation et laissé ouvert. On laisse alors transiter la crue dans son ancien lit. La fin de la crue permet au barrage de se remplir.

Avantages:

Diminution considérable de l'accumulation des sédiments dans la retenue et réduction des risques liés aux vidanges du barrage. Le barrage est transparent vis à vis du transport des matériaux par le cours d'eau en crue. Les sédiments présents avant, au fond de la retenue, ne sont pas entraînés. Restitution à la rivière de ses éléments solides, composants écologiques importants des cours d'eau, nécessaires à la régénération des frayères, aux échanges chimiques et à la dégradation de la matière organique.

Conditions de mise en œuvre.

Ce type de gestion n'est toutefois pas applicable à tous les barrages.

Les conditions requises sont les suivantes:

Le volume de la retenue ne doit pas être trop grand pour pouvoir être rapidement vidé pendant la crue : $V < 5$ millions de M^3 .

Les organes de fond du barrage doivent être dimensionnés pour permettre de transiter un débit de crue en écoulement libre.

Ces opérations ne sont réalisées que tous les dix ans.

Elles permettent de redonner aux rivières leur mission naturelle de charrier des sédiments en période de crue tout en permettant aux barrages, le reste du temps, de jouer leurs rôles multiples. Mais cela nécessite: La mise en place d'un suivi écologique à l'aval et un suivi pendant le passage de la crue.

2^{ème} méthode : Hydrocurage.

Il s'agit d'abaisser le niveau du plan d'eau au-dessous de la cote minimale d'exploitation.

On dégage ensuite une partie ou la totalité des sédiments accumulés dans la retenue.

Ceci ne peut se faire que sur des retenues de volume peu important à un moment où les débits sont élevés.

3^{ème} méthode : Chasse courante d'exploitation.

Le niveau du plan d'eau reste au-dessus de la cote minimale d'exploitation.

On évacue les matériaux accumulés, par une manœuvre des organes de fond, pour dégager les vannes de fond.

L'entraînement vers l'aval est limité.

4^{ème} méthode : Dévasement par pompage avec dilution.

Cette méthode est une méthode "mécanique" dans la mesure où l'on utilise un "rotodévaseur" autonome sur pieds télescopiques, qui récupère les sédiments grâce à un outil de découpage rotatif. Une fois ces sédiments enlevés, une pompe de refoulement les conduit, à travers une conduite de refoulement soit dans la rivière à l'aval du barrage, soit sur des terrains avoisinants.

Dans le cas d'un rejet en rivière, un suivi hydrobiologique ainsi qu'un suivi piscicole sont nécessaires pour éviter de trop fortes perturbations du milieu naturel.

Dans le cas d'un rejet sur terrain ce sont des contrôles des nappes et des terrains qui sont mis en place. Ceci afin d'éviter toute pollution des terres ou des nappes souterraines par infiltration.

Cette méthode est surtout utilisée pour des retenues de petite capacité (autour de 100 000 M³) compte tenu du coût élevé des travaux

5^{ème} méthode : Dévasement par curage mécanique.

Cette méthode nécessite d'avoir une retenue à sec. Elle est moins coûteuse que la précédente.

Là encore cette dernière méthode concerne surtout les petites retenues.

Les solutions existent donc, mais pour des raisons de coût, de quantité et de temps, le dévasement des retenues ne se fait qu'en cas de nécessité, ou alors tous les 10 ans.

IV.4. Dévasement des barrages

Pour des solutions préventives, des tentatives de reboisement et des corrections torrentielles ont été appliquées sur plusieurs bassins versants. En parallèle, des opérations de dévasement se déroulent sur plusieurs barrages. Deux modes de désenvasement peuvent être opérés au niveau d'un barrage. Il s'agit d'un dévasement périodique et d'un dévasement occasionnel.

IV.4.1. Moyens de lutte curative

Le but de ces moyens est de récupérer une partie de la capacité du barrage perdu par l'effet du dépôt sédimentaire causé par le phénomène de l'envasement et transports solide, on cite :

Soutirage des sédiments

Elle est possible grâce à l'ouverture partielle ou totale des vannes d'un barrage lors du passage d'une crue, ce qui permet d'exporter ou de chasser une partie des sédiments avant de se décanter au fond du réservoir par la force du torrent d'eau. Cela permet une réduction partielle estimée de 30% jusqu'à 70% de la vase permettant d'atténuer l'ampleur du dépôt dans une retenue.

IV.4.2. Dévasement périodique : Soutirage des courants de densité

A l'arrivée des crues, l'ouverture des pertuis de vidange permet de soutirer les courants de densité qui se rapprochent du mur du barrage (fig. 3). Grâce à la forte concentration en particules fines, le courant de densité arrive au pied du barrage après avoir parcouru plusieurs kilomètres. La technique de soutirage des courants de densité a obtenu de très bons résultats au niveau des barrages d'Ighil Emda et d'Erraguene. Avec un rendement de 55%, la durée de vie du barrage d'Ighil Emda a triplé (Remini et al, 2009 ; Remini, 2000 ; Remini et Avenard, 1999 ; Remini et al, 1997 ; Remini et al, 1996 ; Remini et al, 1995).

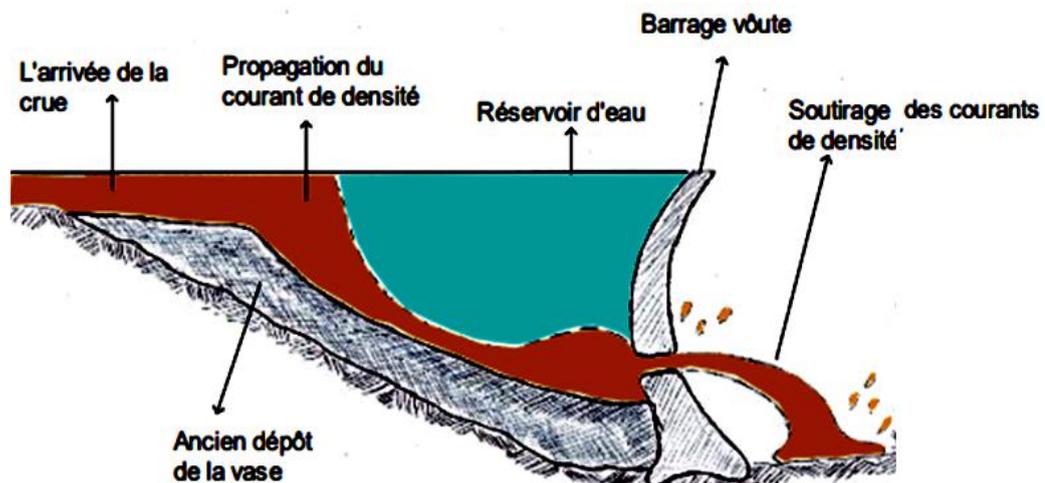


Figure IV.3 : Schéma du soutirage d'un courant de densité par les pertuis de vidange d'un barrage (schéma Remini, 2016)

IV.4.3. Dévasement périodique : Evacuation de la vase par la vanne de fond

Pour éviter le blocage des vannes de fond (fig. 4 et 5). L'ouverture périodique des pertuis de vidange permet d'extraire les dépôts vaseux. Dans ce cas, uniquement la vase située dans la zone basse qui peut être perturbée par les manœuvres des vannes. De telles manoeuvres sont extrêmement nécessaires pour alléger l'ouverture des pertuis. Un retard dans l'ouverture pourra avoir des dégâts. A titre d'exemple, la vanne de fond du barrage d'Oued Fodda est bloquée depuis 1939. Le barrage de fond es Zardezas a été bloquée durant les années 90.

La vanne de fond du barrage de Foum El Gherza a permis d'évacuer environ $0,5.10^6 \text{ m}^3$ durant l'année 1989/1990 (fig. 20) (Remini, 1997). Or du fait de la rapidité de l'envasement, cette vanne a été bloquée au bout de 7 ans (1982-1989) (Remini, 1997). De 1990 jusqu'en 1993, une quantité de $0,1.10^6 \text{ m}^3$ de vase a été évacuée (Remini, 1997).



Figure IV.4 : Deux vannes de fond du barrage de Boughezoul (Cliché. Remini, 2011)

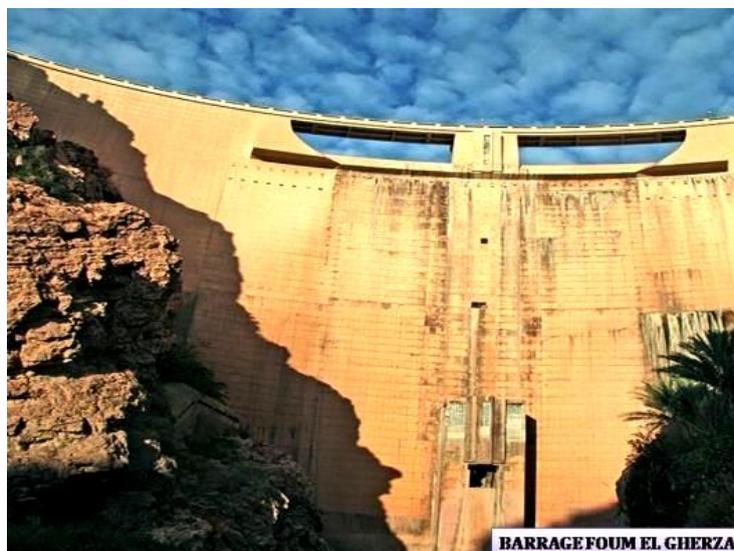


Figure IV.5 : Vanne de fond du barrage de Foum El Gherza (Cliché. ANBT Biskra, 2006)

IV.4.4. Dévasement occasionnel : Dragage d'un barrage

Dans le cas où l'envasement atteint un niveau très élevé dépassant un taux de 50%, le dragage peut s'avérer comme ultime solution pour sauver le barrage et prolonger sa durée de vie. Le dragage des retenues de barrages a été pratiqué environ sur huit barrages algériens.

Il s'agit des barrages de Sig, Cheurfas I, Hamiz, Ksob, Zardezas, Merdja Sidi Abed, Fergoug II (Remini et Hallouche, 2004 ; Remini et al, 2009). Actuellement, il ya une drague au niveau du barrage de Bouhanifia. Au début des années 2000, le barrage de Fom El Gherza a enregistré un envasement cumulé depuis 1950 dépassant les 50% de sa capacité. Vu le rôle économique joué par le barrage dans l'irrigation des palmeraies, le dragage de la retenue s'est imposé. La première opération de dragage a commencé en 2005 et a duré 24 mois pour évacuer 4 millions de m³ (fig 6, 7 et 8). Malgré l'enregistrement de 2 millions de m³ d'apport de vase dans le barrage durant la période de dragage, nous pouvons juger que l'opération a été un succès.



Figure IV.6 : La drague est au centre de la retenue du barrage de Fom El Gherza
(cliché ANBT Biskra, 2006)

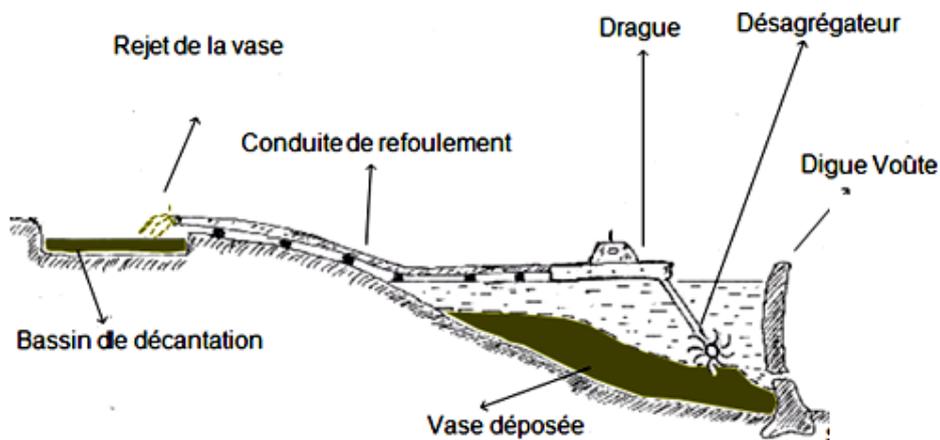


Figure IV.7 : Schéma synoptique d'une opération de dragage dans un barrage (Schéma Remini, 2015)



Figure IV.8: Rejet de la vase lors de l'opération de dragage de 2005-2006 (cliché Remini, Mai 2006)

IV.4.5. Mise en place de barrages de décantation

La mise en place d'un barrage de décantation de la vase permet d'augmenter et de préserver l'efficacité de remplissage d'une retenue. A titre d'exemple, le barrage de Boughezoul, ouvrage écrêteur de crue, situé à l'amont du barrage Ghrib.

Le barrage de Boughezoul a été conçu essentiellement comme bassin de décantation des sédiments du bassin versant du Cheliff, et les empêcher d'atteindre le réservoir du barrage Ghrib. Cette solution a permis un taux de réduction de 24% de l'envasement du Ghrib (ANBT, 2008).

IV.5. Technique du dragage d'une retenue

La technique du dragage reste une technique onéreuse la moins pratique, elle doit satisfaire des conditions de faisabilités très précises de géologie et de morphologie du réservoir, c'est pour cette raison qu'on fait recours au dragage que lorsqu'il représente la meilleure solution du point de vu technico-économique (Mehdi, 2015).

On opte pour le dragage dans un barrage quand :

- L'opération de la chasse des sédiments n'est pas possible.
- La quantité d'énergie requise pour réduire l'envasement en vidangeant la retenue représente une perte économique.
- Le barrage est irremplaçable et de grande utilité.
- Le barrage ne supporte pas une charge supplémentaire qui peut être gagnée par la mise en place d'une surélévation.

Parmi les conditions de faisabilité de l'opération de dragage, on cite :

- La taille de la retenue qui doit être moyenne ou grande.
- La taille de la granulométrie de la vase, qui doit être composée essentiellement des silts et argiles, et donc d'éléments de diamètre très petit inférieur à 1 mm, avec une tolérance à la présence de sables fins de diamètre inférieure à 5 mm.
- Teneur en eau adéquate qui ne soit pas dans les limites de plasticité ni de liquidité.
- L'approximation de la zone de décharge des vases soustraites.

Cependant il existe deux types de dragage :

1. Dragage hydraulique

Il nécessite une drague suceuse refouleuse et une conduite flottante et terrestre pour l'évacuation du produit dragué jusqu'à la zone de rejet.

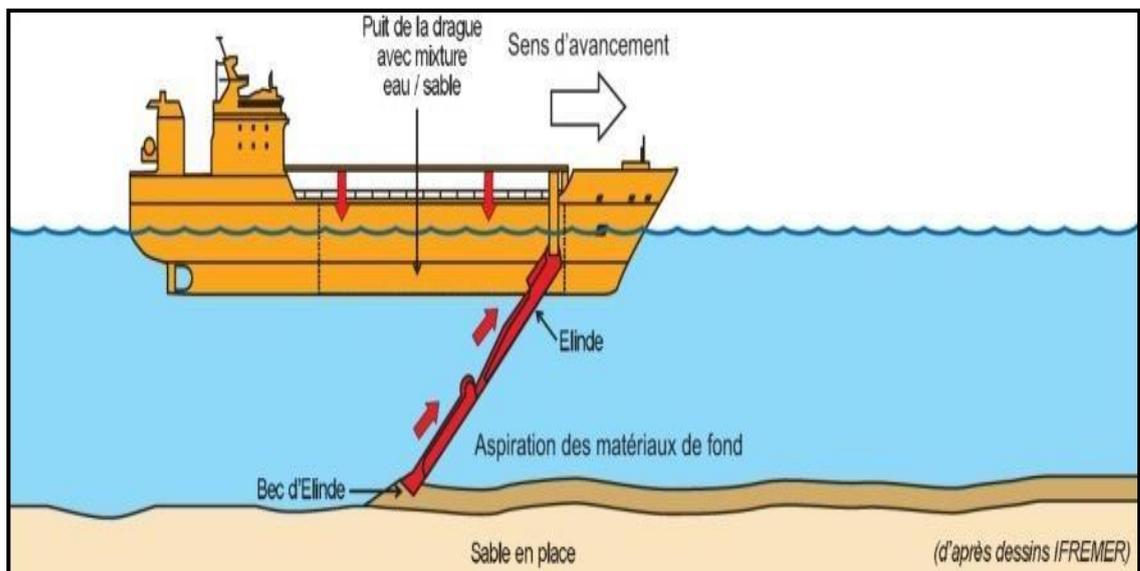


Figure IV.9. Drague suceuse refouleuse (Ifremer, 2008).

2. Dragage mécanique

Il nécessite soit une drague à godets, benne preneuse ou du matériels de terrassement (tel que le bulls, pelles hydraulique, chargeurs hydraulique etc...).

Cette technique ne peut être utilisée que si la retenue est vide.

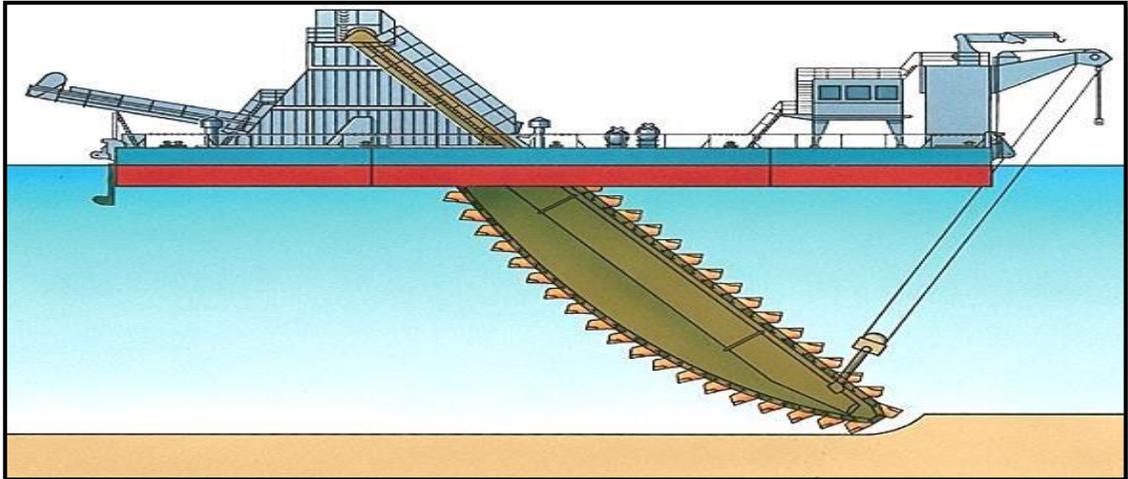


Figure IV.10. Drague à godets (LAROUSSE, 2017)

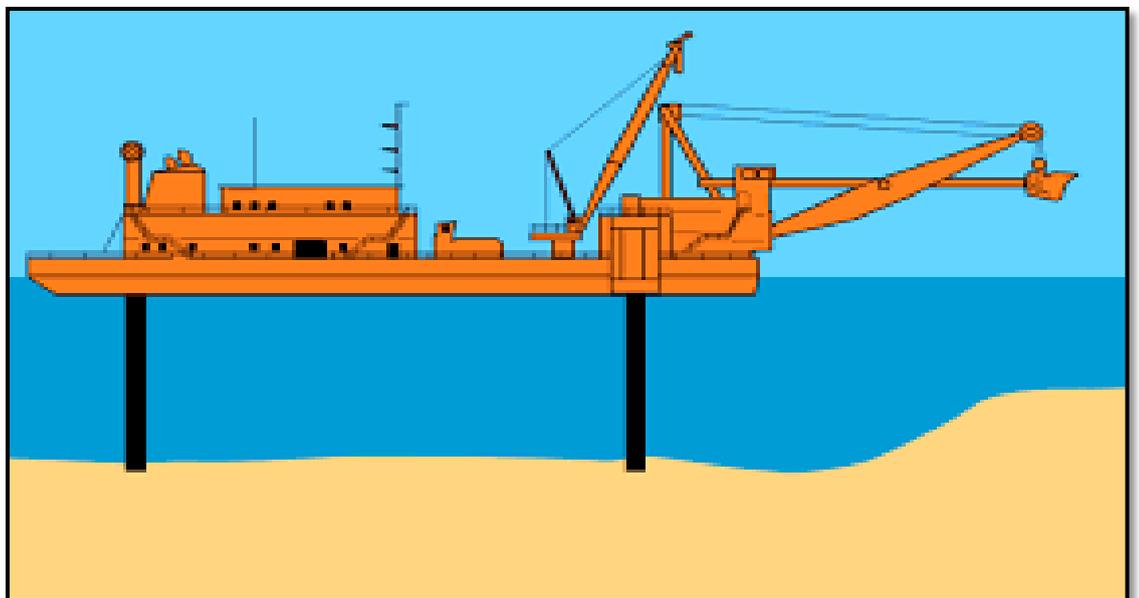


Figure IV.11. Drague à pelle (Ifremer, 2008).



Figure IV.12. Drague mécanique amphibie (FFPP, 2005).

IV.6. Surélévation du barrage

Dans le cas d'un envasement très avancé, la surélévation d'un barrage surtout s'il s'agit d'un grand barrage peut s'avérer une solution efficace (Remini, 2008 ; Remini et al, 2009). Au lieu d'enlever la vase de la cuvette, on surélève la digue de quelques mètres pour gagner un volume supplémentaire (fig. 9).

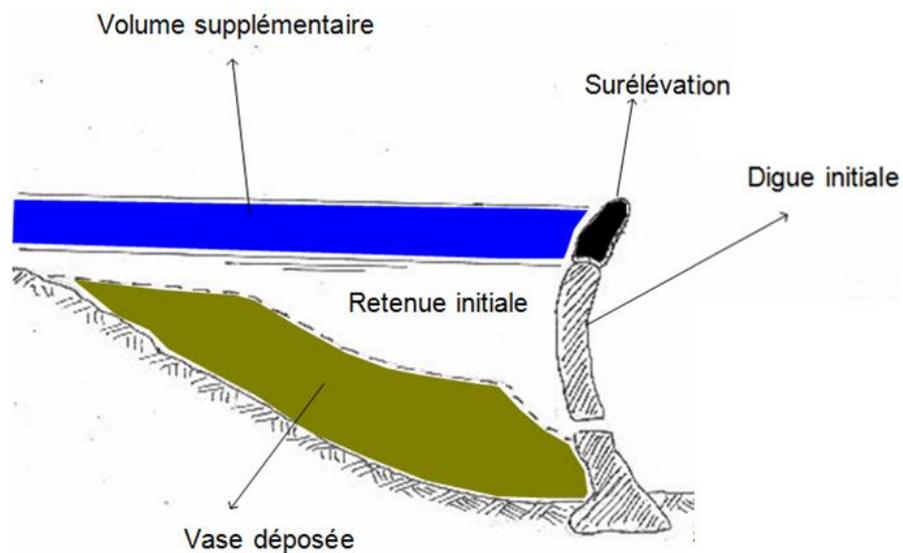


Figure IV.13. Schéma synoptique d'une surélévation d'un barrage (Schéma Remini, 2015)

Il existe plusieurs techniques de surélévation du seuil du barrage selon la nature de cette surélévation. Parmi ces techniques, on citera la surélévation par l'emplacement de hausses fusibles, comme l'exemple du barrage du Ghrib.

L'emplacement de 20 hausses fusibles de type labyrinthe avec 2 clapets automatiques centrales de hauteurs respectives de 4,50 m et 4,00 m, a permis à ce dernier de gagner une tranche de sa capacité initiale qui était à la base de 280 Hm³, puis elle a atteint les 115,3 Hm³ en 2004 pour passer finalement à un volume de 185,32 Hm³ après la surélévation.



Figure IV.14. Surélévation du barrage Ghrib par des hausses fusibles (Azzi, 2016).

IV.7. Conclusion

L'envasement est un phénomène naturel très complexe qu'il faut étudier de l'amont à l'aval du barrage, il est devenu actuellement une réelle menace pour l'infrastructure hydraulique, tant au niveau de la réduction rapide de la capacité utile du barrage qu'à celui de la sécurité de l'ouvrage lui-même. En Algérie la durée de vie d'un barrage est calculée en fonction du taux d'envasement. La plupart des barrages en Algérie ont une durée de vie de l'ordre d'une trentaine d'année à cause de phénomène de l'envasement, Ils sont dans une situation critique, leur exploitation reste en dessous de leur capacité réelle. Le dragage de la retenue est devenu une solution indispensable pour prolonger la durée de vie de cet ouvrage, L'envasement de la retenue augmente d'une année à l'autre.

Chapitre V

**Contribution aux mesures
préventives contre
l'envasement du barrage**

Chapitre V Contribution aux mesures préventives contre l'envasement du barrage de Dahmouni

V.1. Description de la zone d'étude

V.1.1. Limites géographiques de la commune Dahmouni

La commune de Dahmouni appartient à la wilaya de Tiaret. Elle est limitée au nord par la commune de Sidi Hosni, au sud par Nahr Ouassel et la commune de Bouchakif, à l'est par la commune de Sabaïne, à l'ouest par la commune d'Oued Lili et de Tiaret. Ainsi la commune couvre une superficie d'environ 164,25 Km².

C'est une commune à vocation agricole où les terres occupent un total de 13670 ha.

V.1.2. Caractéristiques de la zone d'étude

Cette région possède un réseau hydrographique très important. Ce réseau est formé de deux grands bassins versants, à savoir : le Cheliff et les hauts plateaux oranais. Ils sont subdivisés en quatre sous bassins versants, drainés par 889 Km d'oueds pérennes et 1049 Km de cours d'eau intermittents qui sont comme suit : Oued Touil, Oued Mina, Oued Tiguiguest, Oued Rhiou, Oued Souslem, Oued Mehti, Oued Abed, Oued Taht Et Tounkira.

Trois barrages ont été réalisés qui sont : le barrage Dahmouni, le barrage Boughara et le barrage Bakhadda.

Selon l'ADE, ces trois barrages représentent l'essentiel des ressources superficielles en eau de la région de Tiaret.

Le climat de la zone d'étude est de type méditerranéen semi-aride avec une saison pluvieuse (la pluviométrie moyenne de la région d'étude est d'environ 350 mm/an) allant de septembre à mai, et un été sec et chaud (fortes amplitudes thermiques) La région est également assez ventée (DHT, 2005).

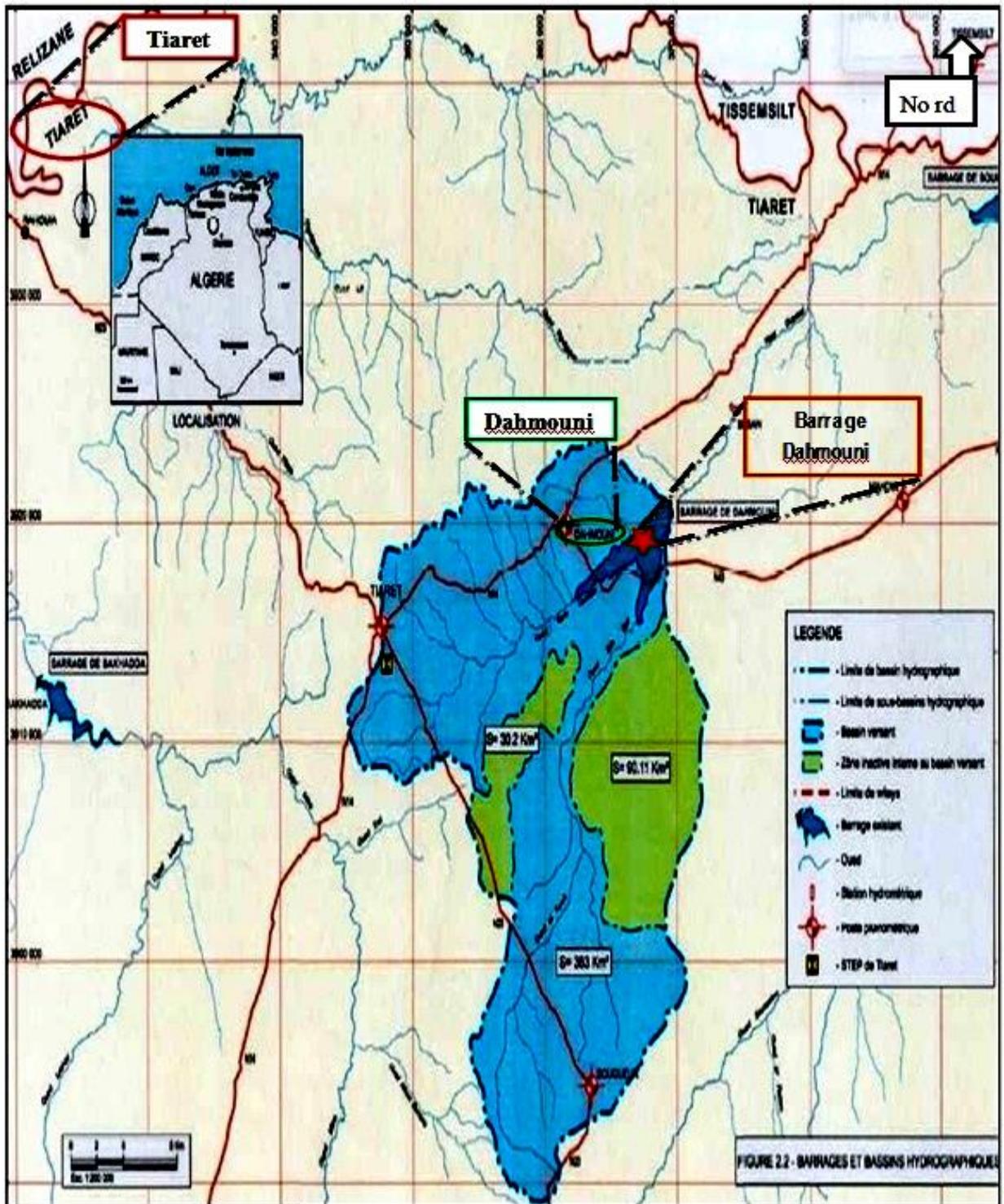


Figure V.1: Barrage et sous bassin de Dahmouni (ANBT Tiaret) (LADJAL, 2013).

V.1.3. Localisation du site d'étude

Le périmètre hydroagricole de Dahmouni se situe dans la région Nord-Ouest de l'Algérie, dans les hauts plateaux de Serous, au sein de la wilaya de Tiaret.

Le barrage de Dahmouni, construit en 1987, se situe sur l'Oued Ouassel, affluent d'Oued Chélif, à environ 8Km au Nord-Est de la ville de Dahmouni et à 20Km à l'Est de Tiaret.

Les eaux de cet ouvrage sont destinées à l'irrigation de 4000 hectares en aval et en amont du barrage et à l'alimentation en eau industrielle (AEI).



Figure V.2: Digue du barrage DAHMOUNI (Tiaret)

V.1.4. Cadre géographique

Le barrage de Dahmouni est situé à la proximité des villes de Dahmouni et à quinze kilomètres (15 km) de la ville de Tiaret dans la Wilaya de Tiaret, il a pour but de stocker les eaux de l'Oued Nahr Ouassel affluent de l'Oued Cheliff.

Le site de Dahmouni se situe dans une zone de sismicité moyenne à basse.

L'objectif principal de l'ouvrage est la fourniture d'eau brute pour l'irrigation de cette région de façon à aider son développement agricole. D'autre part alimenter en eau potable les habitants de la ville de Tiaret ainsi que de fournir de l'eau brute à ces industries. Le volume régularisé est de 09 Hm³ par an.

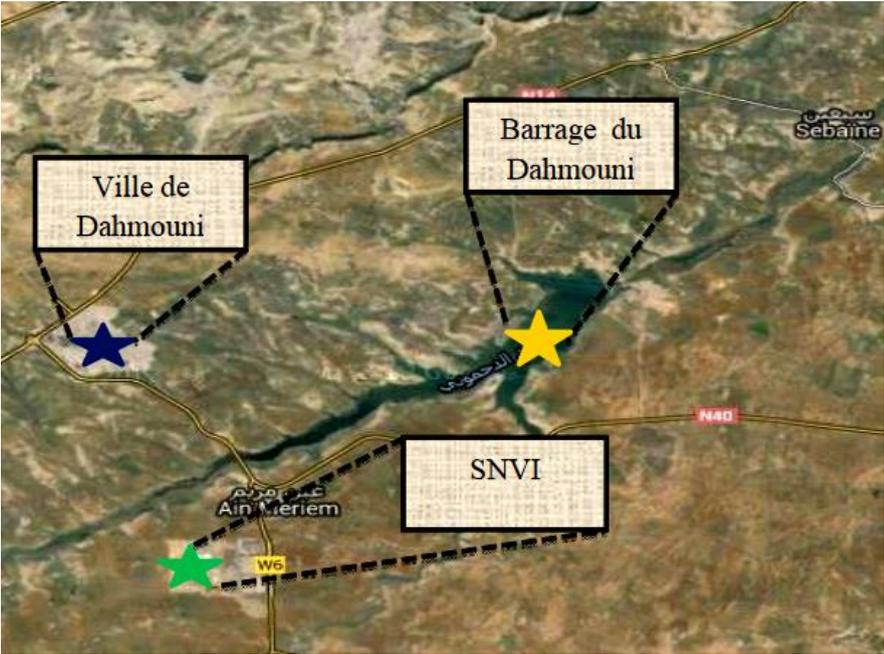


Figure V.3 : Localisation du barrage de DAHMOUNI (google imagerie)



Figure V.4 : Le site de Dahmouni



Figure V.5 : Le site de Dahmouni

Le barrage de Dahmouni est situé à 925 m d'altitude

La superficie du bassin versant du barrage Dahmouni est de 425Km², 55% de cette superficie présente une pente modérée, le reste de la superficie varie entre pente nulle et extrême (tableau VI.1).

La partie en aval du barrage est elle-même facilement accessible à partir de la route nationale N° 14 d'une multitude de routes et de pistes.

Tableau V.1 Caractéristiques des dénivelées dans le sous-bassin versant du barrage Dahmouni

Classe de pente	Superficie et proportion du sous – bassin	
	(km ²)	%
Nulle à faible	156.4	36.8
Modérée	235.8	55.5
Abrupte	19	4.5
Très abrupte	11	2.7
Extrême	2.9	0.7

Source : DHW Tissemsilt

Sur le plan administratif, le sous-bassin versant du barrage Dahmouni couvre dix communes en partie, les commune de Sougueur et Ain Bouchekif présente la moitié du bassin.

Tableau V.2 Communes dans le sous-bassin versant du barrage Dahmouni

Wilaya	Communes	Superficie dans le sous-bassin (Km ²)	Surface partielle (%)
Tiaret	Sougueur	130.4	30.7
	Aïn Bouchekif	91.8	21.84
	Tiaret	71.7	17.12
	Dahmouni	63.1	14.88
	Sebaine	42.5	10.08
	Sidi Abdelghani	24.1	5.68
	Mellakou	1.1	0.30
	Naima	0.1	Insignifiant
	Ain Zarit	<0.1	Insignifiant
	Oued Lili	<0.1	Insignifiant
Total		425	100.00

Source : DHW Tissemsilt

V.1.6. Caractéristiques hydrologiques

Surface du bassin versant :.....	425 km ²
Précipitation moyenne (1986/2006) :.....	305.9 mm
Apport annuel maximum :.....	52 Hm ³
Apport liquide annuel moyen théorique (1913/1968) :	23 Hm ³
Apport solide annuel moyen :	0.1 Hm ³
Volume régularisé :	11.6 Hm ³

V.1.7. Caractéristiques de la retenue.

Niveau de couronnement (NC).....	931 [m]
Plus hautes eaux (PHE).....	928, 80 [m]
Niveau de retenue normale (NRN).....	925 [m]
Surface inondée au N R.....	1.57 [km ²]
Niveau minimale d'exploitation(Nme).....	912,40 [m]
Volume total de la retenue.....	40,58 [Hm ³]
Volume utile de la retenue	36,44 [Hm ³]
Volume mort.....	4,14[Hm ³]

Nombre d'habitants à Dahmouni	24 983 habitants
Densité de population à Dahmouni	152,1 /km ²
Coordonnées géographiques de Dahmouni	Latitude: 35.4167 , Longitude: 1.47629 35° 25' 0" Nord, 1° 28' 35" Est
Superficie de Dahmouni	16 425 hectares 164,25 km ²
Altitude de Dahmouni	Minimale 995 m, Maximale 995 m,
Climat de Dahmouni	Climat méditerranéen avec été chaud

V.2. Barrage de Dahmouni

V.2.1. Objectif

Le barrage de Dahmouni est un ouvrage hydraulique construit en 1987, ayant spécialement pour but de stocker la quantité d'eau nécessaire pour l'irrigation de la région (1422 ha). Il est surtout alimenté par l'oued Nahr Ouassel ainsi que les eaux usées épurées de la ville de Tiaret, et les eaux usées brutes provenant de Sougheur et Dahmouni.



PhotoV.1: Barrage de DAHMOUNI

V.2.2. Caracteristiques techniques du barrage de DAHMOUNI

Localisation : barrage de dahmouni

Wilaya de tiaret:

Coordonnées :

x = 297,200

y = 237,000

z = 925,00

OUED: MINA

<p><u>BASSIN VERSANT:</u> Surface de drainage Précipitation moyenne annuelle Evaporation moyenne annuelle Apport moyen annuel Type Cote de la crete Longueur en crete Largeur en crete Hauteur maximale hors fondation débit spécifique</p>	<p>425 km² 41522 mm 70 mm 11,4 hm³/an en terre 929,5 NGA 850 m 6,50 m 8,5 m 0,85 hm³ / s/ km²</p>
<p><u>BARRAGE:</u> Pentés des talus aval Pentés des talus amont <u>VOLUME DES TRAVAUX:</u> Recharges Noyau Filter Rip rap Injection</p>	<p>1/2,2 m 1/3 m 871,000 m³ 27,600 m³ 80,870 m³ 5496,5 m³</p>
<p><u>RETENUE:</u> Cote des plus hautes eaux Cote de retenue normale Cote minimale d'exploitation Surface de la retenue à la cote normale Volume de la retenue à la cote normale Volume utile Volume regularisé Volume mort</p>	<p>927,8 NGA 924 NGA 5,35 km² 42 hm³ 35,3 hm³ 13 hm³ 4,8 hm³</p>
<p><u>OUVRAGE D'EVACUATION:</u> Type Volume de béton Débit</p>	<p>DEVERSOIR LATERAL 10,800 m³ 515 m³/s</p>
<p><u>VIDANGE DE FOND:</u> Type Debit</p>	<p>VANNE 20 m³/s</p>
<p><u>PRISE D'EAU:</u> Type Nombre de prises Niveau des prises</p>	<p>TOUR DE PRISE 2 912,4 et 917,4</p>



Photo V.2: Évacuateur de crue barrage "dahmouni"

V.3. Actions proposées pour la protection du bassin versant de Dahmouni :

Pour permettre la protection de la retenue du barrage contre le transport sédimentaire, on propose plusieurs solutions pour lesquelles on cite :

V.3.1. Mise en place de seuils de génie mécanique et biologique

Objectifs :

- Aménagement des ravines dont le stade de développement ne permet plus d'utiliser le seuil de génie végétal.
- Dissiper l'énergie de l'écoulement et créer un atterrissement de sédiments.
- Utiliser des techniques alternatives au gabion relativement onéreux.

Principe :

- Réaliser un barrage filtrant en pierres sèches, grillage, sacs plastiques, pneus.
- Rangées d'herbacées à enracinement profond plantées au pied du seuil pour limiter les risques d'affouillement.
- Stabilisation des atterrissements par des plantations (espèces fourragères ou fruitières).

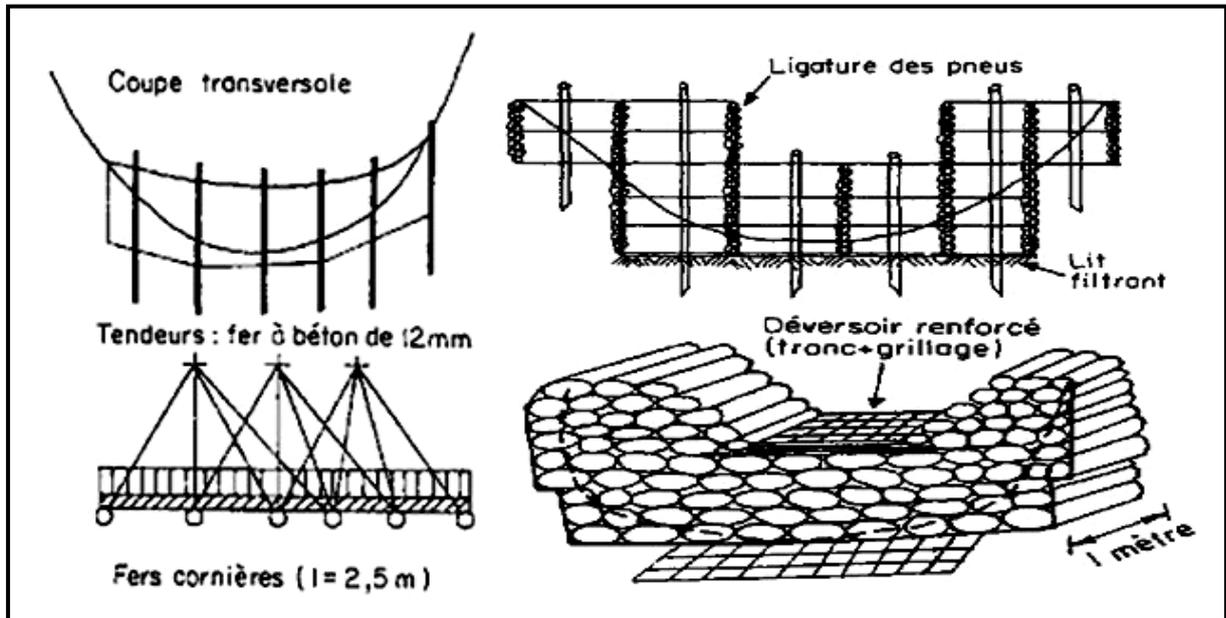


Figure V.6 Illustration schématique d'un seuil en génie mécanique et biologique (ANBT,2008).

V.3.2. Protection des berges des cours d'eau

La méthode classique de protections des berges se fait par la mise en place de gabions tout le long des berges.

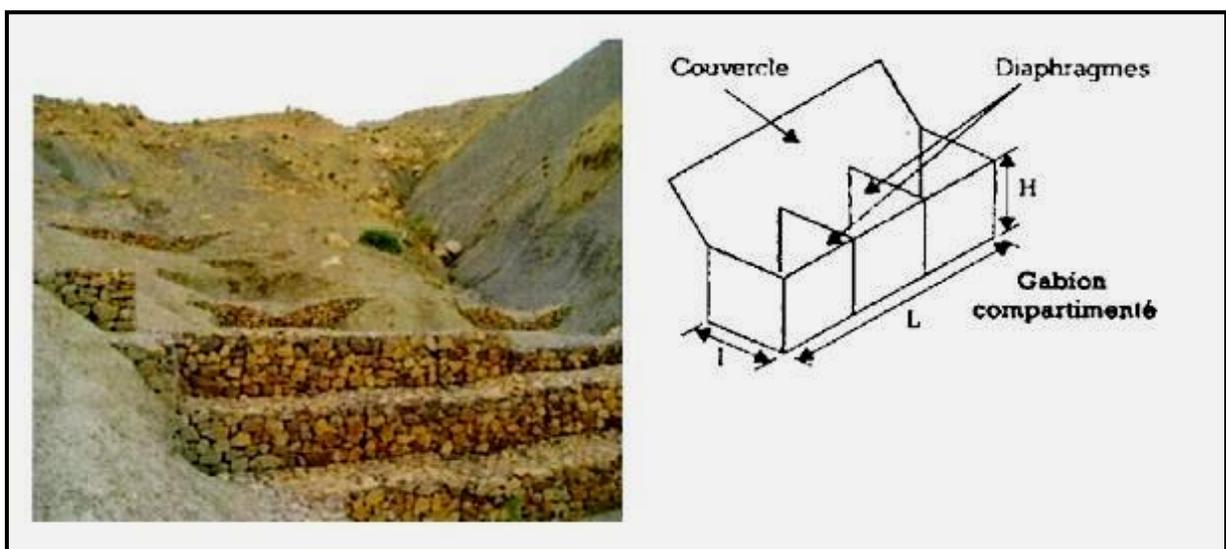


Figure V.7 Protection d'un cours d'eau par du gabion compartimenté (ANBT, 2008).

V.3.3. Actions en génie civil

L'ouvrage de génie civil, représente une étape de lutte contre l'envasement des retenues.

Il existe deux types d'ouvrage en génie civil qui sont décrits ci-après :

1- Les barrages épandeurs de crue à parement aval vertical

L'objectif de ces ouvrages est de favoriser les dépôts sédimentaires tout en assurant lors des crues la recharge des nappes.

Les terrains agricoles sous l'influence des épandages sont alors propices à une intensification de l'agriculture.

2- Les barrages de consolidation implantés en série et destinée à stabiliser les profils en longs, réduire la divagation de certains oueds et limiter ainsi l'érosion des berges qui sont fortement productives en matériaux dans les secteurs avals.

Toutefois l'obtention de résultats notables nécessite souvent un nombre important de barrages dont la réalisation peut prendre de nombreuses années avec un coût disproportionnel par rapport aux résultats attendus.



Figure V.8 : Seuil en pneu



Figure V.9 : Succession de seuil dans les lits de ravine



Figure V.10 : En premier plan un seuil en pierres sèches puis plus loin un autre seuil en pneu inondés par les atterrissements.

V.3.4. Implantation des bassins de décantations

On propose la mise en œuvre des bassins de décantation, l'objectif de notre contribution est la protection du barrage de Dahmouni contre l'envasement par l'emplacement des bassins de décantation à l'amont du barrage en exploitation pour les causes suivantes :

- Son coût est très raisonnable si l'on compare avec le coût de dragage.
- Son entretien est très facile par des moyens simples.
- Facile à construire et pratique.

L'implantation des bassins de décantations de différentes dimensions selon la largeur de cours d'eau et le débit qui le traverse.

Le captage des sédiments en amont du barrage de Dahmouni par des petits aménagements antiérosifs (bassins de décantation) faciles à entretenir et réalisés en priorité dans les principaux cours d'eau alimentant le barrage à étendre par la suite à l'ensemble du bassin versant.



Figure V.11 : Image d'un bassin de décantation.

V.3.5. Réalisation des bassins de décantation dans le bassin versant :

La réalisation des bassins de décantations de différentes dimensions selon la largeur de cours d'eau et le débit qui le traverse, à l'amont du barrage de Dahmouni.

Les bassins sont conçus pour diminuer la charge de particules en suspension dans les cours d'eau récepteurs et intercepter, si possible, une partie des nutriments. Plus le débit à gérer est élevé ou la taille des particules visées est faible, plus les dimensions du bassin devront être importantes.

V.3.6. Sites d'implantation des bassins de décantation :

On a proposé d'implanter ces bassins de décantations dans les zones qui sont caractérisées par des faibles pentes et faibles vitesses de ruissellement entre 0 et 8 %. Cette zone représente une grande surface dans le bassin versant de Dahmouni.

L'avantage de choisir les sites de faible pente est pour favoriser la décantation et réduire la vitesse d'écoulement des eaux et pour diminuer la hauteur de la digue et éviter de réaliser une structure de grande dimension alors un coût raisonnable.

V.3.7. Dimensionnement d'un bassin de stockage d'eau et de sédimentation :

Pour déterminer le volume minimal d'un bassin de stockage d'eau et de sédimentation des équations théoriques sont utilisées. Ce volume permet de capter une partie des sédiments visés par le concepteur. Pour dimensionner le bassin il faut connaître le débit de pointe et la surface du bassin versant et le type des particules qui vont se sédimenter.

V.3.8. Aménagement d'un piège à sédiments

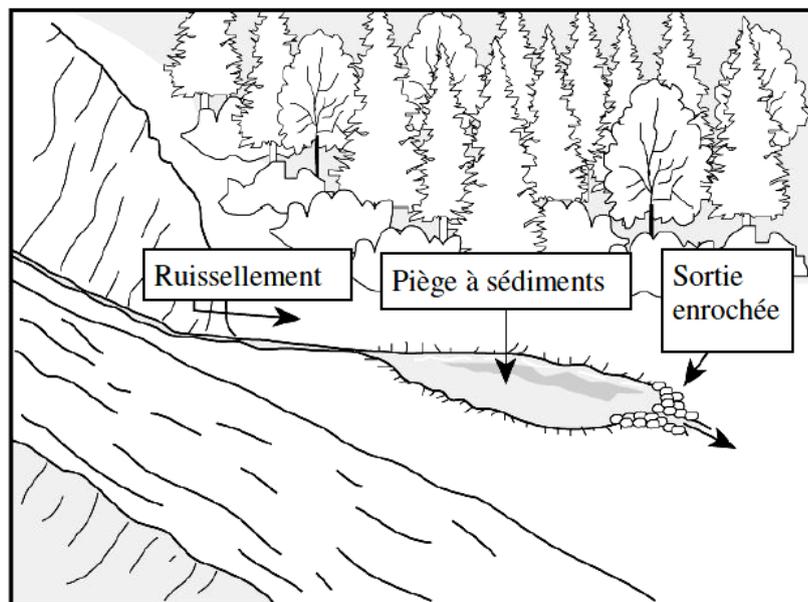


Figure V.12. Aménagement d'un piège à sédiments

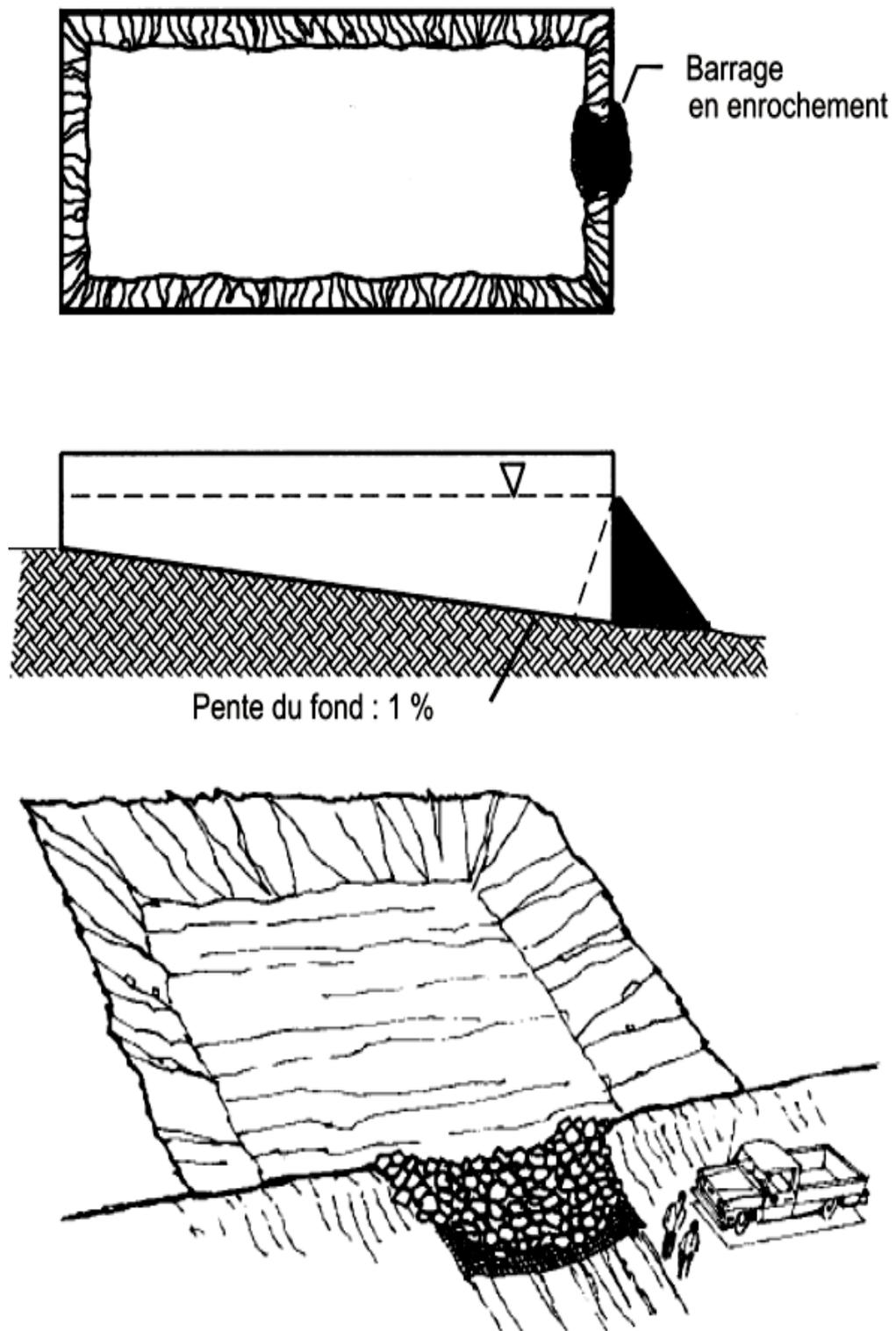


Figure V.13. Exemple d'aménagement d'une trappe de sédimentation



Figure V.14. Trappe de sédimentation

1) Détermination des grandeurs caractéristiques et du débit de pointe :

Le bassin de décantation récupérera la totalité des eaux de ruissellement drainées sur les zones qui représentent un seul bassin versant. La superficie retenue est donc de 10 ha.

nous prendrons les hypothèses de calcul suivantes :

- Temps de retour de 2 ans ;
- Durée de pluie de 2 heures ;
- Taille minimale de particules à décanter : 10 μm

Le calcul du débit de pointe pour une période de retour de 2 ans est effectué par la méthode rationnelle.

Calcul du débit de pointe

Le calcul des débits caractéristiques est réalisé selon la méthode rationnelle qui consiste à appliquer la relation suivante :

$$Q_p \text{ (période de retour)} = 10 \cdot C \cdot I \text{ (période de retour)} \cdot A$$

Avec:

Q_p : débit de pointe pour une période de retour donnée en m^3/h

C : coefficient de ruissellement moyen du bassin versant

I : intensité pluviométrique sur une période de retour déterminée (mm/h)

A : surface du bassin versant (ha)

Intensité pluviométrique I

Sur une période de retour T de 10 ans

On utilise la formule suivante :

$$I(10) = (h/tc) \cdot 60$$

I : intensité (mm/minutes)

h : hauteur de pluie (mm)

tc : temps de concentration (heures)

Calcul du temps de concentration « tc »

Le temps de concentration est déterminé en utilisant la formule de Kirpish :

$$T_c = 0,0195 \left(\frac{L}{\sqrt{P}} \right)^{0,77}$$

Tc : temps de concentration (minutes)

L : longueur (m)

P : pente (m/m)

On considérera une longueur L de 1000m et une pente P de 1 %. On obtient : tc = 23,5 minutes.

Nous considérerons dans notre calcul une durée de pluie de 2 heures car le temps de concentration calculé crée un surdimensionnement tel que les bassins de décantation ne seraient pas acceptables économiquement.

Calcul de l'intensité pluviométrique

L'intensité pluviale pour une pluie décennale est égale à :

$$I \text{ (mm/min)} = a \cdot tc^b$$

Les coefficients de Montana (a et b) permettent d'obtenir localement l'intensité pluviométrique (en mm/min) pour une durée de pluie (120 min) et une période de retour définie (2 ans).

On prendra les coefficients de Montana suivants évalués pour une période de concentration comprise entre 1 heure et 6 heures :

$$a = 10,00$$

$$b = - 0,59$$

Résultat

Par conséquent, en prenant les hypothèses suivantes :

$$I(tc, T) = 0,59 \text{ mm/min}$$

$C = 0,5$: la presque totalité du bassin est occupée par des sols argileux massifs imperméables en surface)

$$A = 10 \text{ ha}$$

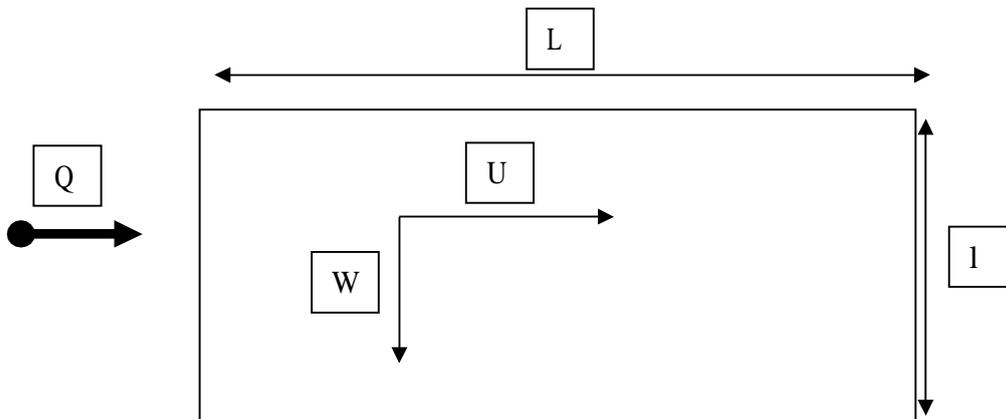
Le débit de pointe pour une période de retour de 2 ans pour le bassin versant du Bassin de décantation est de :

$$Q(10) = 29,5 \text{ m}^3/\text{min} \text{ soit } 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

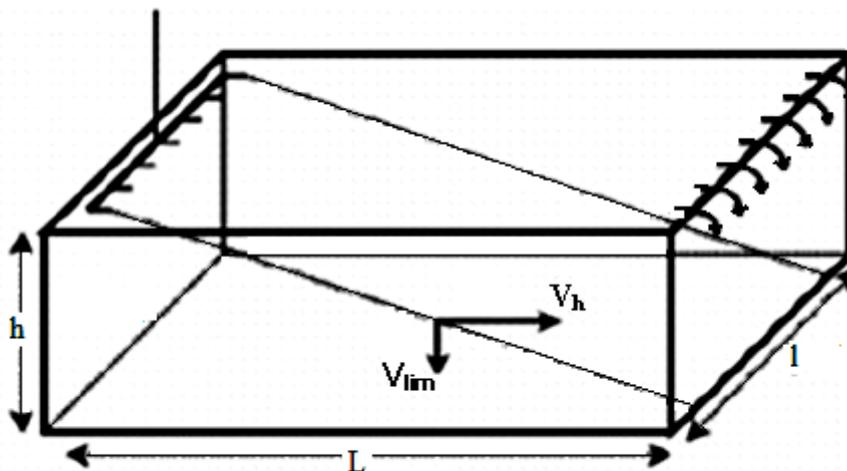
$$Q_p \text{ (période de retour)} = 10 \cdot C \cdot I \text{ (période de retour)} \cdot A$$

2) Dimensionnement des Bassins de décantation

La méthode de dimensionnement des bassins de décantation employée s'appuie sur la méthode de HAZEN.



Selon Hazen, le rapport $\frac{L}{I}$ est égal au rapport $\frac{U}{W}$



**Débit
d'entrée dans les bassins**

Le débit en entrée du bassin est égal au débit de ruissellement calculé en phase d'exploitation.

	unité	Valeur
Taille de particule	µm	10
Temps de retour	années	2
Durée de pluie	Heures	2
Coefficient de ruissellement	-	0,5
Intensité pluviométrique	Mm/min	0,59
Surface drainée	Ha	10
Débit de pointe	m ³ /s	0,5

Tableau V.3. Récapitulatif du calcul du débit de pointe

Vitesse de décantation des particules

La vitesse de décantation des particules calculée selon la loi de Stokes :

$$V_D = \frac{2 \cdot r^2 \cdot g \cdot \Delta(\rho)}{9 \cdot \mu}$$

- V_D : vitesse limite de chute (m/s)
- r : rayon de la particule à décanter (m)
- g : accélération terrestre (m/s²)
- $\Delta(\rho)$: différence de la masse volumique entre la particule et l'eau (à 30°)

$$\Delta(\rho) = 2000 - 995,71 \cdot 1000 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

- μ : viscosité dynamique de l'eau = 0.000798 Pa.s (30°)

$$V_D = \frac{2 \cdot (10 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 9,81 \cdot 1000}{9 \cdot 0,000798} = 2,73 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

Pour des particules de granulométrie de 10 µm, la vitesse de décantation est de $2,73 \times 10^{-4}$ m/s.

Temps de décantation (t_d)

Le temps de décantation minimal t est égal au rapport

Profondeur du bassin

Vitesse de décantation

$$t_d = \frac{\text{Profondeur du bassin}}{\text{Vitesse de décantation}}$$

$$t_d = \frac{3}{2,7 \cdot 10^{-4}} = 10989s = 3,05 \text{ heures}$$

La profondeur des bassins de décantation est fixée à 3 m.

Le temps de décantation est donc dans le cas présent égal à 3,05 heures pour une décantation des particules les plus petites considérée, c'est-à-dire celles de 10 μm .

Temps de transfert (t_t)

La décantation des particules dans le bassin sera complète si le temps de séjour (ou temps de transfert) du flux les transportant est suffisant. C'est-à-dire si $t_t \geq T_d$. Le temps de transfert minimum devra donc être de 3.05 heures.

Détermination des dimensions du bassin

Le débit d'entrée est égal au produit de la section du bassin par la vitesse de transfert de l'eau au point d'entrée

$$Q = l \cdot h \cdot V_t$$

La vitesse de transfert (V_t)

$$V_t = \frac{\text{Débit en entrée (Q)}}{\text{Section du bassin (l x h)}}$$

$$V_t = \frac{0,5}{20.3} = 0,008m/s$$

La vitesse de transfert (V_t) est par ailleurs égale à $V_t = \frac{L}{t_t}$

$$\text{Soit } L = t_t \cdot V_t$$

$$L = (3,05 \cdot 0,008) \cdot 3600 = 87 \text{ m}$$

Le tableau suivant synthétise les données nécessaires au calcul des dimensions :

Hauteur fixée (m)	3
Largeur fixée (m)	20
Débit en entrée (m ³ /s)	0,5
Temps de transfert (heures)	3,05

Tableau V.4. Récapitulatif des données pour le dimensionnement du bassin

En fixant une hauteur de 3 mètres et une largeur de bassin de 20 mètres, obtient les dimensions suivantes pour le bassin :

Profondeur (m)	3
Largeur (m)	20
Longueur (m)	87
Surface (m ²)	1740
Volume (m ³)	5220

Tableau V.5. Dimensions du bassin (10 µm)

Conclusion

Les dimensions obtenues sont encore difficilement acceptables, et ce, malgré l'application des paramètres du guide (taille de la particule, période de retour de la pollution, durée de pluie).

Compte tenu de la faible proportion de particules de taille comprise entre 10 µm et 15 µm, nous avons choisi de prendre une taille minimale de particule à décantier de 15 µm. Cela permet d'obtenir un bassin de dimensions bien plus acceptables économiquement et écologiquement qu'un bassin qui décantierait des particules de 10 µm, et pour un rejet de qualité très proche.

Dimensionnement du bassin en prenant pour taille minimale de particule : 15 µm

En appliquant la même méthodologie de calcul, on obtient les paramètres suivants :

$$V_D = \frac{2 \cdot r^2 \cdot g \cdot \Delta(\rho)}{9 \cdot \mu}$$

$$V_D = \frac{2 \cdot (15 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 9,81 \cdot 1000}{9 \cdot 0,000798} = 6,15 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

- Vitesse de décantation $6,15 \cdot 10^{-4}$ m/s

$$t_d = \frac{\text{Profondeur du bassin}}{\text{Vitesse de décantation}}$$

$$t_d = \frac{3}{6,15 \cdot 10^4} = 4878s = 1,35 \text{ heures}$$

- Temps de transfert : 1,35 heures

$$V_t = \frac{\text{Débit en entrée (Q)}}{\text{Section du bassin (l x h)}}$$

$$V_t = \frac{0,5}{20 \cdot 3} = 0,008m/s$$

$$V_t = \frac{L}{t_t}$$

$$L = t_t \cdot V_t$$

$$L = (1,35 \cdot 0,008) \cdot 3600 = 39 \text{ m}$$

En fixant une profondeur de bassin de 3 mètres et une largeur de 15 mètres, on obtient les dimensions suivantes :

Profondeur (m)	3
Largeur (m)	20
Longueur (m)	39
Surface (m ²)	780
Volume (m ³)	2340

Tableau V.6. Dimensions du bassin (15 µm)

Les longueurs obtenues en augmentant la taille minimale de particule à 15 µm et en prenant en compte les hypothèses du guide précité sont donc plus acceptables et réalisables.

Recommandations

La mise en place d'un plan de protection contre la dégradation du milieu naturel vis à vis de l'érosion auquel s'oppose le bassin versant de DAHMOUNI présente une nécessité fondamentale. Entre autres, des solutions doivent être apportées dans le but de réduire l'envasement du barrage de la zone d'étude, et ce, pour contribuer au renforcement de la capacité d'emmagasinement des apports liquides et au prolongement de leur durée de vie.

V.4. Conclusion

Notre étude s'est basée sur la lutte contre l'érosion d'abord sur les versants pour retarder le ruissellement et étaler les filets d'eau, ensuite aménager les ravines.

Malgré la grande amélioration de la correction torrentielle de ravines, elle reste insuffisante pour réguler les débits de crues qui bien des fois emportent les aménagements bien établis et provoquant de sérieux dégâts en aval.

La conception des bassins de décantation placés dans le cours d'eau qui alimente le barrage peuvent être réalisés en différents volumes selon la largeur du cours d'eau.

Cette technique peut être utilisée pour piéger les sédiments fins en amont de la retenue lors des crues et même pour la recharge artificielle des nappes et même pour l'irrigation.

La vase sera enlevée par des motopompes ou par les engins des travaux publics et même par les paysans pour les utiliser comme des engrais durant la saison sèche.

Conclusion générale

Conclusion

La genèse des processus d'érosion et de transport des sédiments grossiers et fins a comme origine l'intensité et l'énergie cinétique des pluies, la pente et l'inclinaison des pentes, ainsi que l'absence du couvert végétal et la fragilité des sols.

Le phénomène de l'envasement des barrages est beaucoup plus important dans les régions arides. A cause d'une forte érosion des sols des bassins versant et aussi le sapement des berges des oueds qui peut être spectaculaire en périodes de crues. Mais malheureusement ce phénomène n'a jamais été quantifié.

L'importance du transport solide en Algérie s'est toujours traduit par un comblement rapide des retenues de barrage diminuant considérablement leur capacité de stockage et par conséquent leur durée de vie.

L'intensité de l'envasement est due aux conditions extrêmes climatiques, morphodynamiques et hydrologiques du bassin.

Il importe donc de développer certaines techniques pour améliorer les méthodes de lutte contre l'alluvionnement rapide des barrages.

Aujourd'hui, le réseau hydrographique du nord Algérien est saturé. Il y a peu de sites favorables pour la réalisation de nouveau barrages. La priorité sera donnée à l'entretien et protection des barrages contre le phénomène de l'envasement.

Après l'enquête de terrain, nous avons une bonne compréhension de la situation de dégradation environnementale dans le bassin versant de DAHMOUNI. Le niveau de couverture végétale est faible, les sols sont détériorés à cause de l'érosion ce qui fait que les parcelles agricoles des paysans deviennent de plus en plus moins rentables. On a remarqué la formation de ravines dans les différentes parties du bassin versant.

Il faut des interventions immédiates dans toutes les sections du BV afin d'augmenter la couverture végétale et de conserver les sols et les eaux car la situation est préoccupante.

Un projet d'aménagement peut être réalisé dans le but de diminuer les risques des différents problèmes soulevés. De ce fait, des études prolongées pour entretenir et renforcer le projet peuvent contribuer à protéger la dégradation de l'environnement physique et socioéconomique.

L'insuffisance et bien souvent l'absence d'entretien du réseau de banquettes et des seuils mécaniques provoque des concentrations localisées des eaux de ruissellement, entraînant l'apparition de rigoles et le développement des ravins. Malgré des coûts élevés de réalisation l'entretien de ces réseaux a été dans l'ensemble largement négligé. Des versants entiers traités à grands frais sont laissés sans surveillance, sans aucun suivi. Bien souvent les travaux eux-

mêmes réalisés trop hâtivement, déclenchent la reprise de l'érosion. Les dégradations sont aussi bien dues aux phénomènes naturels liés à l'intensité des averses et la vulnérabilité des terrains (colmatage des fossés, débordements, incisions régressives, solifluxion dans les terrains argileux), que des paysans eux mêmes (destruction par les labours).

Les interventions faites par l'état pour remédier à la situation sont faibles et mal coordonnées ; ce qui fait que la situation se dégrade de jour en jour.

De ce fait, pour contribuer à augmenter la couverture végétale dans le BV, aménager les ravines, contrôler l'érosion, améliorer la fertilité des sols et augmenter la productivité des parcelles agricoles des paysans, nous avons proposé un plan d'aménagement.

On a proposé l'emplacement des bassins de décantation à l'amont de barrage en exploitation comme un système de lutte contre l'envasement pour les causes suivantes :

Son coût est très raisonnable si l'on compare avec le cout de dragage.

Son entretien est très facile par des moyens simples.

Facile à construire et pratique.

On peut l'utiliser pour la recharge artificielle des nappes souterraines.

Système de protection contre les inondations.

Un moyen de préservation du système écologique.

Une protection pour les annexes des barrages contre la poussé de la vase.

Protection des eaux de barrages contre le phénomène d'eutrophisation.

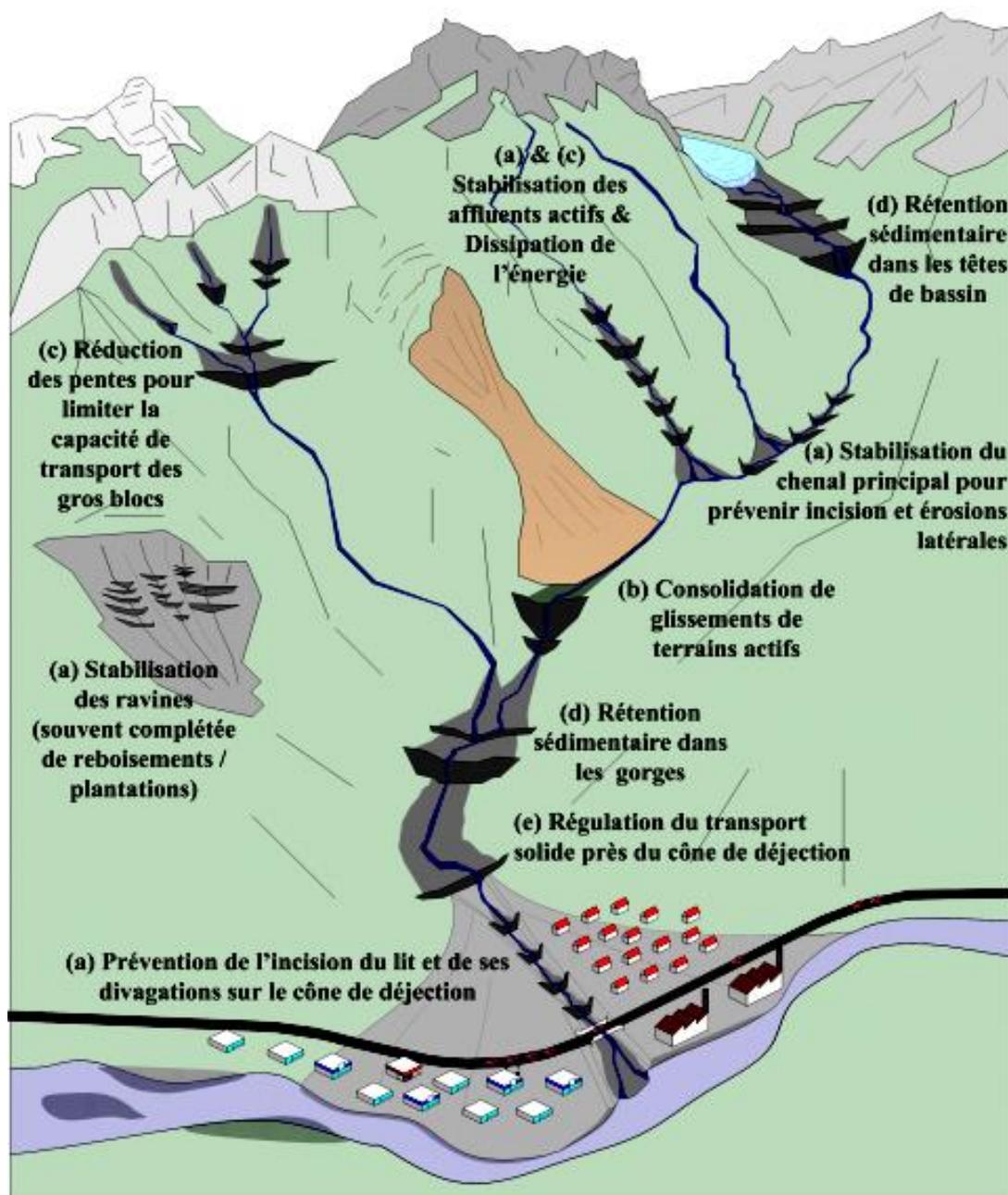
La gestion de la sédimentation peut influencer non seulement le projet des ouvrages mais aussi le choix du site du barrage et même son implantation générale. Les études devraient tenir compte de certaines incertitudes inévitables dans l'évaluation de la sédimentation. Les évacuations des apports par des pertuis de fond peuvent être efficaces pour beaucoup de barrages d'irrigation. Des galeries de dérivation définitives, des chasses et dragages peuvent être économiquement efficaces selon les conditions spécifiques locales. L'utilisation de la retenue elle-même pour le dévasement peut être économiquement efficace. La combinaison des solutions convient souvent.

La lutte contre l'envasement des barrages en Algérie doit revêtir une dimension nationale tant les enjeux sont énormes. Tous les spécialistes s'accordent à dire que les pays du Maghreb, d'ici à 2025, connaîtront des problèmes aigus d'eau. Autant, dès maintenant, penser à une stratégie globale de préservation de nos barrages contre ce grave problème de l'envasement.

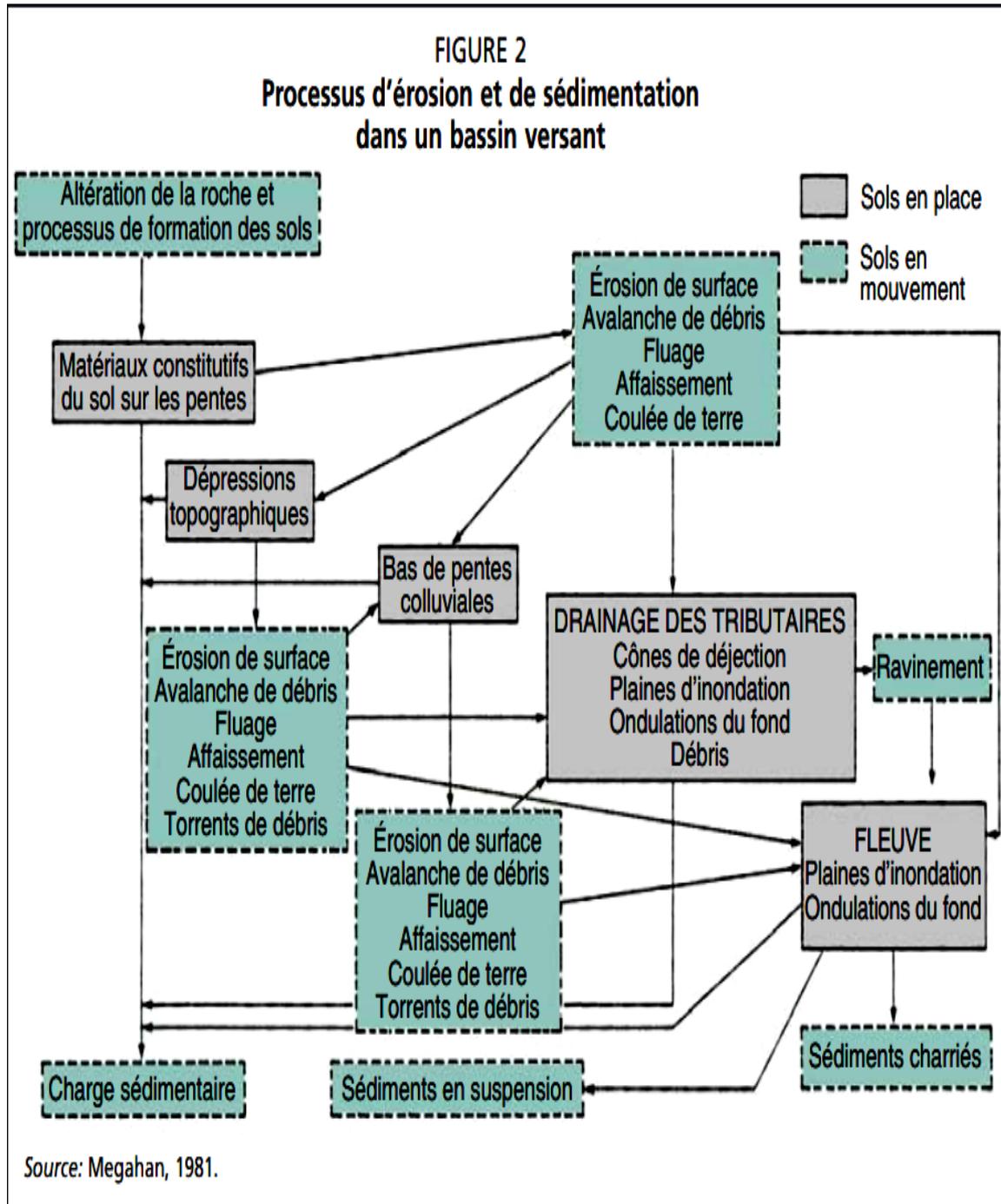
Les aménagements proposés pour diminuer l'effet négative du processus de l'érosion et s'adaptent à la région étudiée pour les différentes zone touchés à savoir : revégétalisation, les bande enherbées ; correction torrentielle ; seuil en Gabion, reboisement et les banquettes.

Annexe

Exemples de localisations typiques de protections torrentielles dans un bassin versant et fonctions principales associées



Légende : (a) stabilisation du lit, (b) consolidation de versant, (c) réduction de la pente, (d) rétention et (e) régulation du transport solide. Les mesures de correction complémentaires (reboisement, drainage, chenalisation, endiguements et plages de dépôt) ainsi que les fonctions et effets secondaires n'ont pas été mentionnés par souci de clarté.



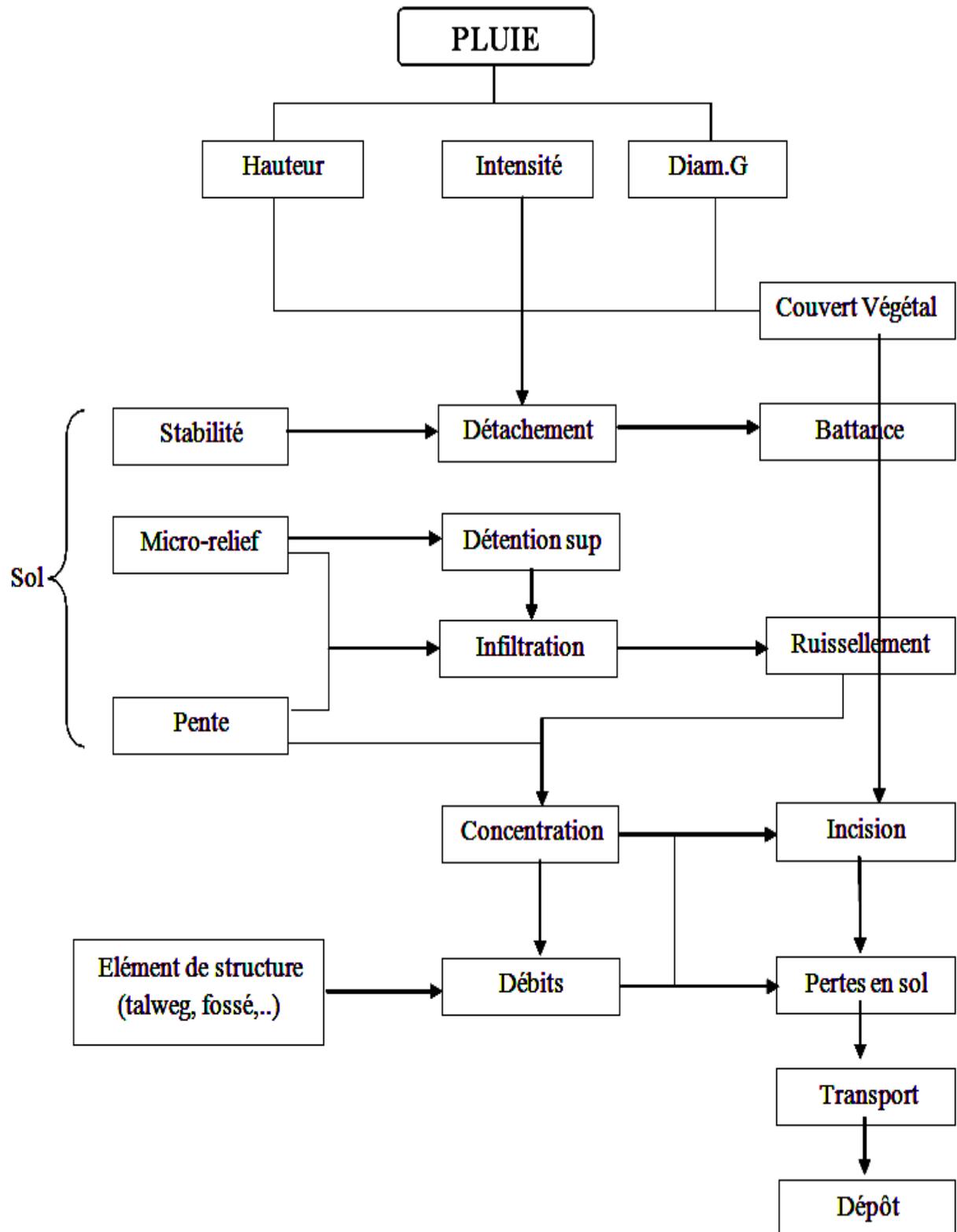


Figure I.4. Différentes étapes de l'érosion (Eimberck, 1990).

Bibliographie

- [1] - REMINI B (2016). Envasement des barrages dans les régions arides exemple algériens
- [2] - ELAHCENE, Omar. 2013. Etude du transport solide par charriage et en suspension dans le bassin versant de l'oued Bellah (Tipaza). Alger.
- [3] - MAZOUR, M., ROOSE, E. 2000. Influence de la couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion des sols sur parcelles d'érosion dans des bassins versants du Nord-Ouest de l'Algérie.
- [4] - REMINI B, hallouche W, (2007) Evolution de l'envasement du barrage d'Oued El Fodda. Revue Eau énergie air, n°1, Avril, pp 75-78.
- [5] - BADRAOUI A., ET HAJJI A., 2001. Envasement des retenues de barrages. Revue la Houille Blanche n° 6/7, pp 72 - 75.
- [6] - AMMARI, A. 2012. Vulnérabilité à l'envasement des barrages (cas du bassin hydrographique des côtières Algérois). thèse de Doctorat. Université de Mohamed Khider (Biskra). Algérie.
- [7] - ANBT. 2008. Agence Nationale des Barrages et Transfères. Etude de protection des bassins versants des barrages de Oued Fodda, Ghrib et Boughazoul. Alger.
- [8] - REMINI B., 2000 La technique du soutirage en Algérie. Bulletin du réseau Erosion (France) n°20, vol. 2, pp. 172- 177.
- [9] - Remini B (1997). Envasement des retenues de barrages en Algérie : importance, mécanismes et moyen de lutte par la technique du soutirage. Thèse de Doctorat d'état, Ecole nationale Polytechnique d'Alger, mars, 342 P.
- [10] - Remini B., 2008, La surélévation des barrages –une technique de lutte contre l'envasement Exemples algériens. Revue La Houille Blanche, n°5.
- [11] - Remini B, 2003, Envasement des retenues de barrage en Algérie et moyen par la technique de soutirage, Thèse de doctorat, école nationale polytechnique d'Alger, 342p.

- [12] - ZEROUAL S (2016). Etude de la sensibilité du sous bassin versant de K'sob à l'érosion hydrique par une approche quantitative, (mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme Master en hydraulique, Université de M'sila).
- [13] - Remini B, (2012) l'envasement des barrages quelques exemples algériens.
- [14] - ZEKRI N., 2001. – Analyse des aménagements anti-érosifs dans le micro-bassin versant du village Tafna tout juste à l'amont du barrage de Hammam Bouhrara – Tlemcen. Thèse d'ing, foresterie, Univ de Tlemcen, 67p.
- [15] - ZEKRI N., 2003. – Analyse du facteur de l'agressivité climatique et son influence sur l'érosion et le ruissellement dans le bassin versant de la Tafna (Nord-ouest Algérien). Thèse Magister : Univ. Tlemcen, 106 pages + annex.
- [16] - DUQUENNOIS H., 1957. Lutte contre la sédimentation des barrages réservoirs - barrage d'IGHIL EMDA. Electricité et gaz d'Algérie. Compte rendu N° 4 Année 1956-1957. 22 pages.
- [17] - RAMPON A., 1990. Erosion hydrique et sédimentation dans les barrages. Informations techniques Cemagref, juin 1990, n° 78 note 6, pp. 1-7.
- [18] - REMINI B., 1990. Etude hydrodynamique du mécanisme de l'envasement. Thèse de Magister .E.N.P, juin ,100 pages.
- [19] - Dernane et al, 2014 ; Contribution à l'estimation des taux d'érosion et l'envasement des barrages du bassin versant de l'Oued Chélif 69p.