

Département des sciences de la terre
Licence es Sciences et Techniques Eau et Environnement
Mémoire de fin d'études
Année Universitaire : 2011 – 2012

Quantification de l'érosion hydrique linéaire dans le bassin versant d'Oued El Malleh : cas du micro bassin de Sidi Sbea



Présenté par

Kenza ABDELOUAFI & Wissal ANNOUAR

Encadrant :

DAOUDI Lahcen

*(Faculté des Sciences et Techniques de
Marrakech)*

Parrain :

ELBAHI Samira

*(Haut Commissariat des Eaux
et Forêts)*

Soutenu le 1^{er} Mars 2012 devant le jury composé de :

- Pr L. Daoudi : Faculté des Sciences et Techniques Marrakech*
- Pr M. Agoussine : Faculté des Sciences et Techniques Marrakech*
- Mme S. Elbahi : Haut Commissariat des Eaux et Forêts*

DEDICACE

Ce mémoire est dédié à :

Nos chers parents qui nous ont supportés, soutenus, ont toujours crus en nous, et ont mis à notre disposition tous les moyens nécessaires pour que nous réussissions dans nos études.

On ne saura les remercier pour tous ce qu'ils ont fait, que dieu les récompense pour tous leur bienfaits.

Nos soeurs et nos frères qui nous ont encouragées durant toute notre vie scolaire.

A nos amis et Collègues Pour leurs soutiens et leurs encouragements.

Remerciements :

À l'issue de ce stage, nous exprimons nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué à sa réalisation.

Nous tenons à exprimer une gratitude toute particulière à Mme Elbahi Samira docteur et chercheur au Centre de Recherches Forestières qui nous a aidées, guidées et dirigées au cours de notre stage.

Nous remercions également Mr Yassine Mohammed qui a toujours été disponible afin de répondre à toutes nos questions et qui nous a aidées dans nos démarches et manipulations.

Un grand merci à notre encadrant Mr Daoudi Lahcen qui a toujours éclairé notre travail avec ses recommandations aiguisées en donnant beaucoup de son temps, et de son professionnalisme.

Merci à toutes les personnes du département de géologie de la FST de Marrakech et au personnel du Centre de Recherche Forestière Rabat-Agdal.

Sommaire

INTRODUCTION	7
CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉROSION HYDRIQUE.....	9
1. DÉFINITION.....	9
2. FACTEURS DE L'ÉROSION.....	9
3. ORIGINE ET MÉCANISME	9
3.1. Le détachement	9
3.2. Le transport.....	10
3.3. La sédimentation.....	11
4. LES FORMES DE L'ÉROSION HYDRIQUE.....	11
4.1. L'érosion en nappe	11
4.2. L'érosion linéaire	12
4.3. L'érosion en masse.....	13
5. ESTIMATION QUANTITATIVE DE L'ÉROSION	14
5.1. Mesures directes.....	14
5.1.1. Mesures topographiques	14
5.1.2. Simulation de pluie	14
5.1.3. Mesures par l'étude du transport solide	14
a) Transport en solution	14
b) Transport de fond	15
5.1.4. Mesures par l'étude de la sédimentation dans les retenues	15
5.2. Les mesures indirecte.....	15
6. FACTEUR D'ÉRODABILITÉ K.....	16
CHAPITRE II : BASSIN VERSANT DE L'OUED EL MALLEH.....	17
1. GÉNÉRALITÉS SUR LES BASSINS VERSANTS AU MAROC	17
2. LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE	20
2.1. Situation géographique	20
2.2. Situation administrative	20
3. CARACTÉRISTIQUES DU MILIEU NATUREL	21
3.1. Topographie du bassin versant	21
3.2 Hydrographie	24
3.3 Climat	26
3.4. Caractéristiques géologiques	27
3.5. Pédologie et occupation des sols au niveau du bassin versant d'Oued El Malleh	29
3.5.1. Les sols	29
3.5.2. Occupation des sols	31
4. EROSION DANS LA REGION DU BASSIN VERSANT D'OUED EL MALLEH.....	34
Chapitre III : MICRO BASSIN DE SIDI SBEA	35
1. CARACTERISATION DU SITE DE SIDI SBEA	35
2. DETERMINATION DU FACTEUR K.....	39
2.1 Techniques d'études	39
2.1.1 Dispositif de mesure sur le terrain.....	39

2.1.2 Étude de laboratoire.....	41
a) Granulométrie.....	41
b) Les analyses chimiques	42
2.2 Résultats obtenues et analyses.....	43
2.2.1. Description de la séquence des sols.....	43
a) Profil 1.....	43
b) Profil 2.....	47
c) Profil 3.....	48
d) Profil 4.....	50
e) Profil 5.....	52
2.2.2. Détermination des paramètres du facteur K.....	53
a) Texture du sol.....	54
b) Code de perméabilité.....	56
c) Classe de structure.....	57
d) calcul de facteur d'érodabilité.....	57

CHAPITRE IV : TECHNIQUES D'AMÉNAGEMENT DANS LE BASSIN VERSANT D'OUED EL MALLEH.....	59
LA GESTION DE L'EAU	59
Les micro- barrages perméables.....	59
Murettes en pierres sèches	59
Cordons en pierres sèches	60
Haies vives	61
Seuils en gabion	62
CONCLUSION	63
PERSPECTIVES.....	64

Liste des figures

Figure 1 :diagramme de Hjulstrom.....	10
Figure 2 : Modes de transport par ruissellement	10
Figure 3 :Carte des bassins versants prioritaires pour l'aménagement au Maroc	19
Figure 4 : carte administrative du site d'Oued El Malleh	21
Figure 5 : répartition des pentes du bassin versant d'Oued El Malleh	23
Figure 6 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant d'Oued El Malleh	26
Figure 7 : Carte de répartition des lithofaciès du bassin versant d'Oued El Malleh	28
Figure 8: Carte pédologique de l'Oued El Malleh	30
Figure 9: Carte d'occupation des sols dans le bassin versant d'Oued El Malleh	33
Figure 10 : Expositions du bassin versant d'Oued El Malleh.....	34
Figure 11 : Carte des sous bassins versants d'oued El Malleh	36
Figure 12: déversoir en V-Notch.....	39
Figure 13: schéma représentatif des profils sur le site	43
Figure 14 : Triangle des textures	55

Liste des photos

Photo 1: Formes d'érosions dans le bassin versant d'Oued El Malleh.....	13
photo 2: Quelques manifestations érosives dans le microbassin de Sidi Sbea.....	38
photo 3 : dispositif de mesure (V-Notch) installé dans le micro bassin Sidi Sbea.....	40
photo 4 : Limnigraphe à flotteur	41
Photo 5 : Profil 1	45
Photo 6 : Profil 2.....	47
Photo 7 : Profil 3.....	49
photo 9 : Profil 4.....	51
Photo 10 : Profil 5.....	53
Photo 11 : Cordons en pierres cimentées.....	60
Photo 12 : technique traditionnelle d'aménagement exemple de murettes en pierres renforcées de cactus.....	61

Liste des tableaux

Tableau 1: Classification granulométrique des particules	11
Tableau 2: Répartition des classes de pentes du bassin versant d'oued El Malleh	22
Tableau 3:Répartition des expositions du bassin versant d'Oued El Malleh (TTOBA, 2004)	24
Tableau 4: Importance des unités lithologiques du bassin versant de l'oued El Malleh	27
Tableau 5 : Les principales unités pédologiques du bassin versant d'Oued El Malleh (TTOBA,2004) .	29
Tableau 6 : Occupation des sols dans le bassin versant d'Oued El Malleh (TTOBA, 2004).....	31
Tableau 7 : Les différentes espèces végétales de la zone (TTOBA, 2004).....	37
Tableau 8: Analyse physico chimique des sols du micro bassin de sidi Sbea profil 1	46
Tableau 9 : Analyses physico chimiques des sols de Sidi Sbea profil 2	48
Tableau 10 : Analyses physico chimiques des sols du microbassin Sidi Sbea profil 3.....	50
Tableau 11 : Analyse physico chimique des sols du micro bassin de sidi Sbea profil 4	52
Tableau 12: Analyse physico chimique des sols du micro bassin de sidi Sbea profil 5	54
Tableau 13 : Texture des sols obtenus au niveau des différents profils	55
Tableau 14 : Classes et codes de perméabilité (Rawls et al (1982)).	56
Tableau 15 : classification de différentes classes de structure d'après (Wischmeier, 1978).....	57
Tableau 16 : résultats de calcul du facteur K pour les différents profils.....	58

INTRODUCTION

Au Maroc, le phénomène d'érosion hydrique est l'un des problèmes qui entrave le développement économique, social et agricole. Ce fléau écologique très dangereux sur tous les plans, prend de l'ampleur et touche, avec diverses intensités, une grande partie du territoire national. Ainsi, sur une superficie étudiée de 22,5 millions d'hectares, 12,5 millions d'hectares de terrains de cultures et de parcours, caractérisés par leur fragilité et leur texture du sol, se trouvent menacés (Plan National d'Aménagement des Bassins Versants 1996)

Outre les pertes importantes en sol et les risques de désertification qui s'ensuivent, l'érosion a un impact extrêmement négatif sur les grands ouvrages hydrauliques en raison des problèmes d'envasement qui menacent les retenues des barrages. En effet, selon le rapport du Ministère Chargé des Eaux et Forêts (1999) sur une capacité de stockage de 14 milliards de m³ d'eau, 800 millions ont été perdus par envasement.

Les facteurs générant ce fléau sont d'origines multiples et donnent à l'érosion hydrique une très grande vigueur qui s'extériorise selon les modes d'action de l'eau sous diverses formes d'érosion, entre autre l'érosion en ravinement. Bien que limitée dans l'espace, cette dernière est importante par les volumes de terre mis en jeu, et par les risques qu'elle fait courir à la stabilité des ouvrages situés en aval. De plus, les ravines servent fréquemment d'exutoires aux eaux évacuées par un réseau de diversion. Leur correction s'intègre dans le problème de l'écoulement des eaux.

Depuis 1999, la Direction des Eaux et Forêts et la Conservation des Sols a multiplié ses efforts de lutte contre l'érosion en réalisant des études d'aménagement antiérosif dans de nombreux bassins versants. En 2008, vingt deux (22) bassins versants prioritaires ont été retenus par le plan d'aménagement (HCEFLCD, 2008) dont le bassin versant de l'Oued El Malleh.

Actuellement, le bassin versant de l'Oued El Malleh dispose d'un plan d'aménagement qui présente de façon grossière les techniques mécaniques et biologiques de correction des ravins, mais ne spécifie pas quels sont les ravins les plus dynamiques contribuant à la genèse des crues et des apports en sédiment. Les cicatrices d'érosion résultant du ravinement y sont spectaculaires, elles assurent une évolution rapide des versants, et constituent, par conséquent, une des sources principales de sédiments. Cependant, le développement des ravins est variable

dans l'espace et dans le temps suite à la variabilité des paramètres physiques et naturels qui régissent l'accroissement de ces derniers.

Ainsi, afin de planifier convenablement les actions d'aménagement à entreprendre et de protéger en priorité les zones à grand risque vis-à-vis de l'érosion, il est impératif de faire un suivi du fonctionnement hydrodynamique des ravins dans le bassin versant de l'Oued El Malleh. C'est l'objectif de notre Projet de Fin d'Etudes qui s'est déroulé au sein du Centre de Recherche forestière Rabat - Agdal (Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification). L'étude vise à mesurer la perte en terre par le suivi du ravinement précisément dans le micro bassin de Sidi Sbea, le plus touché par l'érosion et faire un rapport efficacité-coût afin d'optimiser l'intervention antiérosive. Cette étude permettra également de localiser les zones sources de sédiment dans le but de cibler l'intervention. Les étapes du déroulement de ce stage sont comme suit :

- Missions du terrain pour l'identification et la mise à jour des informations concernant la géologie, la géomorphologie, l'hydrologie, et des campagnes d'échantillonnage.
- Modélisation spatiale des processus d'érosion des sols (en utilisant essentiellement le modèle de transport solide de Weischmeier révisé (USLE) par Renard et al. (1996), dans le but d'élaborer un plan d'aménagement fiable actualisé et durable nécessitant l'utilisation de diagnostics de moyens performants et des méthodes numériques. Cependant, ce procédé requiert la détermination de plusieurs paramètres et pendant les deux mois de stage, nous nous sommes limités à la détermination du paramètre d'érodabilité K.
- Vérification des effets de la géomorphologie et de la nature lithologique des formations géologiques sur le comportement des versants du site (phénomène de ravinement et de glissement).

Ces différents volets ont nécessité une recherche bibliographique intensive sur les modèles, le site d'étude (géologie, géomorphologie, hydrologie, climatologie, etc.), et autres aspects fondamentaux liés à cette étude.

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉROSION HYDRIQUE

1. DÉFINITION :

L'érosion hydrique est composée d'un ensemble de processus complexes et interdépendants qui provoquent le détachement et le transport des particules de sol. Elle se définit comme étant la perte de sol provoqué par l'eau qui arrache et transporte la terre vers un lieu de dépôt. (Yacouba, 1999)

2. FACTEURS DE L'ÉROSION

L'érosion hydrique des sols résulte de l'interaction entre les facteurs statiques et les facteurs dynamiques. Les facteurs statiques sont reliés à la vulnérabilité des terrains. Celle-ci représente une caractéristique propre du milieu, dépendante de la nature du terrain et indépendante des facteurs dynamiques. Ces derniers sont ; climat R, érodabilité K, topographie LS, couvert végétal C, et la pression anthropique. (Yacouba, 1999)

$$\text{Risque} = \text{Vulnérabilité} \times \text{Pression.}$$

3. ORIGINE ET MÉCANISME :

Le mécanisme d'érosion d'un sol passe par 3 étapes : détachement, transport et sédimentation. Cependant, il est à signaler que la pluie et le ruissellement superficiel sont à l'origine du détachement, du transport et du dépôt des particules du sol arrachées.

3.1. Le détachement :

Avant que les sédiments et les matières organiques ne soient transportés, ils doivent d'abord être détachés des forces cohésives présentes dans le sol. Ce détachement peut se faire par :

- humectation par l'impact des gouttes de pluie ; effet splash.
- une combinaison d'impacts des gouttes de pluie et du ruissellement,
- le ruissellement seul.

Pour les particules fines l'énergie requise pour les détacher est plus importante que pour les transporter. Dans un sol cohésif, il faut surmonter l'attraction entre particules (argiles, limons et matières organiques) afin de les mettre en mouvement, tandis que pour des sédiments non-cohésifs, il faut lever les particules contre la gravité avant qu'elles soient mises en mouvement dans l'eau.

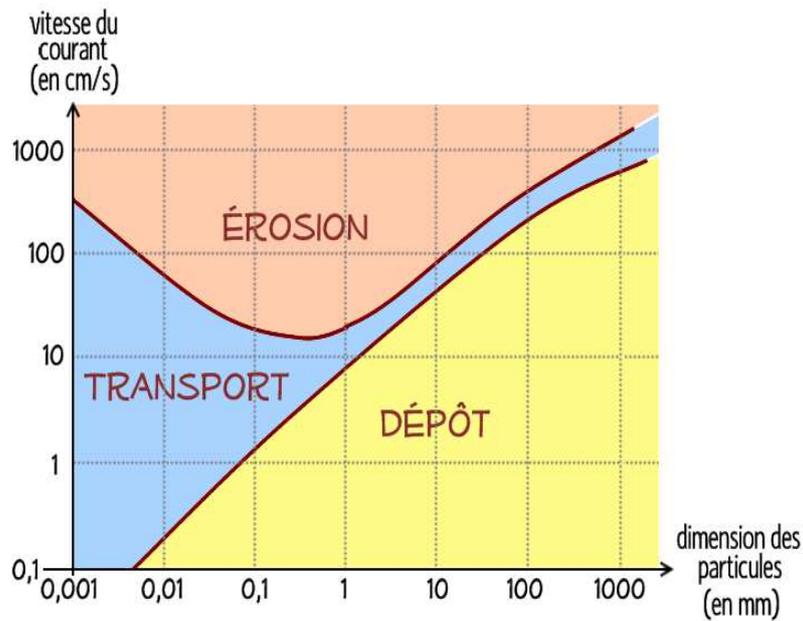


Figure 1: Diagramme de Hjulstrom (1935)

3.2. Le transport :

Il correspond au mouvement des sédiments vers l'aval, que ce soit sur un versant ou dans un cours d'eau. Il est dû à la fois aux gouttes d'eau de pluie (par rejaillissement= effet splash) et aux eaux de ruissellement. Ainsi, le transport est assuré par ces eaux. Cependant, il est à signaler que le mode de transport par effet splash est généralement négligeable sauf sur pente forte. Ce sont surtout les eaux de ruissellement qui sont les plus responsables du transport des particules du sol détachées. Les modes de transport par ruissellement sont illustrés sur la figure 2:

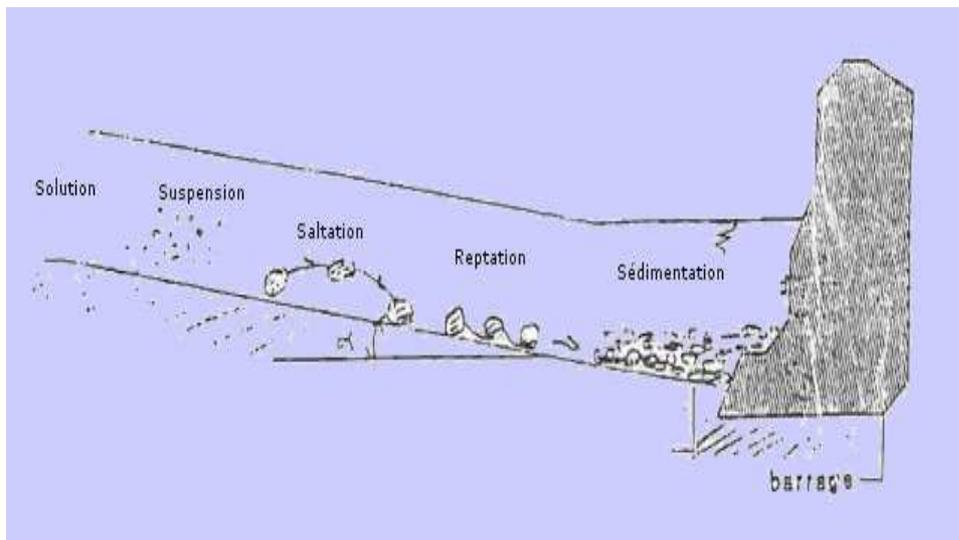


Figure 2: Modes de transport par ruissellement (Yacoubba, 1999)

L'écoulement de l'eau trie les sédiments par tailles par sa vitesse d'écoulement : plus la vitesse est importante, plus elle peut transporter des sédiments grossiers. Dès que la vitesse commence à diminuer les premiers sédiments qui se déposent sont les plus grossiers ; progressivement, les sédiments de tailles de plus en plus fines sont déposés au fur et à mesure que la vitesse d'écoulement diminue. L'écoulement dans un cours d'eau représente donc une zone de tri sélectif dans laquelle il y a des zones de sédiments grossiers là où la vitesse d'écoulement est rapide et des zones de sédiments fins là où la vitesse d'écoulement est lente.

3.3. La sédimentation

L'agent responsable de la sédimentation est l'eau de ruissellement. Les particules arrachées du sol se déposent entre le lieu d'origine et l'aval en fonction de leur :

- Dimension
- Densité
- Et de la capacité de transport du ruissellement ou du cours d'eau.

Comme il a été précisé précédemment les particules se déposent selon leur taille (tableau : 1)

Maxi	Appellation	Mini
200 mm	Cailloux	20 mm
20 mm	Graviers	2 mm
2 mm	sables grossiers	0,2 mm
0,2 mm	sables fins	20 µm
20 µm	limons	2 µm
2 µm	argiles	

Tableau 1: Classification granulométrique des particules

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

4. LES FORMES DE L'ÉROSION HYDRIQUE :

4.1. L'érosion en nappe

C'est le stade initial de la dégradation des sols par érosion. Cette érosion en nappe entraîne la dégradation du sol sur l'ensemble de sa surface, autrement dit c'est une forme d'érosion diffuse. De ce fait, elle est peut-être visible d'une année à l'autre. Le signe le plus connu de l'érosion en nappe est donc la présence de plages de couleur claire aux endroits les plus

décapés. Il y a, également, un autre symptôme de l'érosion en nappe c'est la remontée des cailloux en surface par les outils de travail du sol, ceci s'explique par une fonte de l'horizon humifère et d'un travail profond du sol qui fait remonter en surface les cailloux.

L'importance de l'érosion en nappe dépend à la fois de :

- L'intensité maximale des pluies qui déclenchent le ruissellement
- L'énergie des pluies qui détachent les particules susceptibles de migrer

Lorsqu'il y a l'érosion en nappe, le déplacement des particules se fait d'abord par effet "splash" à courte distance et ensuite par le ruissellement en nappe. La battance des gouttes de pluie envoie des gouttelettes et des particules dans toutes les directions. En fait, ce n'est qu'après formation des flaques et débordement de l'eau non infiltrée d'une flaque à l'autre, que naît le ruissellement en nappe.

4.2. L'érosion linéaire (micro-Channel ou Rill Erosion)

Lorsque l'intensité des pluies dépasse la capacité d'infiltration de la surface du sol, il se forme d'abord des flaques; ensuite ces flaques communiquent par des filets d'eau et lorsque ces filets d'eau ont atteint une certaine vitesse, 25 cm par seconde d'après Hjulström (1935), ils acquièrent une énergie propre qui va créer une érosion limitée dans l'espace par des lignes d'écoulement. Cette énergie n'est plus dispersée sur l'ensemble de la surface du sol, mais elle se concentre sur des lignes de plus forte pente. L'érosion linéaire est donc un indice que le ruissellement s'est organisé, qu'il a pris de la vitesse et acquis une énergie cinétique capable d'entailler le sol et d'emporter des particules de plus en plus grosses. Contrairement à l'érosion en nappe qui est sélective des graviers ou des cailloux et même des blocs peuvent être transportés dans le cas de l'érosion linéaire. (Yacouba.1999)

L'érosion linéaire est exprimée par tous les creusements linéaires qui entaillent la surface du sol suivant diverses formes et dimensions (griffes, rigoles, ravines, etc.). En fait, L'érosion linéaire apparaît lorsque le ruissellement en nappe s'organise, il creuse des formes de plus en plus profondes. On parle de :

- Griffes lorsque les petits canaux ont quelques centimètres de profondeur (photo 1-a)
- Rigoles lorsque les canaux dépassent 10 cm de profondeur mais sont encore effaçables par les techniques culturales. (photo 1-b)

En effet, sur un bassin versant ou une parcelle, l'érosion en rigole succède à l'érosion en nappe par concentration du ruissellement dans les creux. A ce stade, les rigoles ne convergent pas mais forment des ruisselets parallèles.

- Nappe ravinante lorsque les creux ne dépassent pas 10 à 20 cm mais que leur largeur atteint plusieurs mètres. (photo 1-c)
- Ravines lorsque les creux atteignent plusieurs dizaines de cm (plus de 30 cm) et en particulier, lorsqu'ils ne sont plus effaçables par les techniques culturales.

A l'intérieur des ravines on peut encore distinguer des petites ravines dont le lit est encore encombré de végétation herbacée et surtout arbustive et qu'on pourra fixer rapidement par des méthodes biologiques. Par contre, dans des grandes ravines qui peuvent s'étaler sur plusieurs kilomètres, le canal central comporte des blocs rocheux, témoins d'un charriage important et d'une certaine torrencialité.



a) Illustration de griffe



b) Illustration de rigoles



c) Illustration de ravins

Photo 1: Formes d'érosions dans le bassin versant d'Oued El Malleh

4.3. L'érosion en masse

Si l'érosion en nappe s'attaque à la surface du sol, le ravinement s'attaque aux lignes de drainage du versant. Les mouvements de masse concernent un volume à l'intérieur de la couverture pédologique. On attribue à l'érosion en masse tout déplacement de terre selon des formes non définies, comme les mouvements de masse, les coulées de boue et les glissements de terrain. Dans ce cas, seul l'Etat dispose des moyens techniques, financiers et légaux, pour maîtriser les problèmes de glissement de terrain, souvent catastrophiques, et pour imposer des restrictions d'usage aux terres soumises à des risques majeurs de mouvement de masse.

5. ESTIMATION QUANTITATIVE DE L'ÉROSION :

Les méthodes utilisées dans l'évaluation et la cartographie de l'érosion varient en fonction des objectifs, des moyens et des échelles de travail. La quantification peut se faire par des mesures directes ou par des évaluations indirectes.

5.1. Mesures directes :

5.1.1. Mesures topographiques :

Le principe se base sur le suivi de l'évolution topographique de la surface du sol, notamment :

- Mesure par rugosimètre : on estime la variation de la hauteur du sol par rapport à un plan de référence.
- Suivi de l'évolution des ravines : on mesure la variation des dimensions de certaines sections des ravines après chaque évènement pluvieux.

5.1.2. Simulation de pluie :

L'objectif est de déterminer certaines caractéristiques hydrodynamiques des sols et ce, à petite échelle et sous diverses conditions de pluie et de sols.

L'utilisation des simulateurs de pluie présente plusieurs avantages puisqu'ils :

- Sont des dispositifs mobiles
- Sont capables de produire à volonté des pluies d'intensité, de hauteur et d'énergie semblables à celles des pluies naturelles
- Permettent de simuler des averses de fréquence rare qui causent le plus de dégâts
- Permettent de raccourcir les temps d'observation sur le terrain.

5.1.3. Mesures par l'étude du transport solide :

a) Transport en solution :

Sa mesure est relativement facile puisque les concentrations en matières dissoutes sont en général homogènes dans une section. Ces concentrations sont liées à la conductivité qui est facilement mesurable in situ. Une formule établie par N'Guyen (1988) montre cette relation comme suit :

$$C \text{ (mg/l)} = K/R$$

C : concentration en mg/l

K : facteur d'érodabilité

R : conductivité en ohms/cm

b) Transport de fond :

Peut être estimé selon plusieurs méthodes à savoir des pièges à sédiments installés au fond de la zone active du lit, des fosses creusées au fond du lit ou aussi par marquage isotopique des sédiments. Cependant, sa mesure est imprécise.

5.1.4. Mesures par l'étude de la sédimentation dans les retenues :

L'estimation de la quantité des sédiments déposés dans une retenue dépend de deux paramètres : la densité et le volume des sédiments.

La densité des sédiments est variable en fonction du temps et en fonction de la position dans la retenue. Elle varie en fonction de la granulométrie, la composition minéralogique, l'épaisseur des dépôts, le niveau de l'eau dans la retenue et l'âge des dépôts.

Quant au volume des sédiments, il est déterminé sur la base d'une comparaison de la topographie de la cuvette avant et après mise en eau du barrage. La détermination de la profondeur des sédiments par rapport à la surface d'eau est appelée bathymétrie.

5.2 .Les mesures indirectes

La modélisation

Les effets de prédictions mathématiques de l'érosion hydrique ont commencé depuis plus d'un demi-siècle environ et durant ce temps là, plusieurs essais et plusieurs méthodes ont été réinventés avec l'évolution de la technologie. Parmi les méthodes et les équations proposées celle de Weishmeier et Smith a été largement adoptée d'une manière générale. Ces deux auteurs ont établi la première équation universelle de perte en terre (USLE). Le but de cette dernière était de permettre une prévision chiffrée des risques de l'érosion à l'échelle du champ dans le but d'intervenir pour garder l'érosion en dessous d'un seuil tolérable (1à12t/ha/an). L'objectif de cette équation était de prédire les facteurs à partir de données météorologiques, des propriétés physico-chimiques du sol et des données de recherches sur chaque localité et le plus important, l'USLE était un outil libre de toute indexation géographique contrairement aux autres équations établies auparavant et qui étaient plutôt régionales. L'équation exprime l'érosion comme étant le produit de cinq facteurs représentant :

- L'érosivité de la pluie et du ruissellement « R »
- La résistance du milieu à laquelle correspond l'érodabilité « K »
- La longueur et le degré de pente « LS »
- Le couvert végétal et les pratiques culturales « C »
- Les pratiques antiérosives « P »

L'équation est la suivante :

A=R.K.L.S.C.P

Avec A : la perte en sol exprimée en t/ha/an

Vu la contrainte du temps pour prendre les mesures nécessaires et le calcul de tous les paramètres, nos travaux se limiteront à la détermination du facteur d'érodabilité du sol « K ».

6. FACTEUR D'ÉRODABILITÉ K:

Définition

L'érodabilité pour un site donné est définie comme étant la quantité du sol érodé exprimé en tonnes par hectares par unité de l'indice d'agressivité de pluie dans une parcelle standard quand tous les facteurs sont constants.

Le facteur « K » est fonction de la :

- Texture du sol
- Teneur en matière organique
- Perméabilité
- Structure

L'érodabilité d'un sol est sa susceptibilité à être érodé, par réciprocité à sa résistance à la battance des gouttes de pluie à la surface du sol et à l'entaille du ruissellement entre les mottes dans les griffes ou les rigoles (Roose, 1994). Hudson (1981) a défini l'érodabilité du sol comme étant sa vulnérabilité ou susceptibilité à l'érosion.

En pratique le facteur d'érodabilité du sol est la réponse moyenne du sol et du profil pédologique à la capacité érosive des orages. C'est un paramètre qui représente une intégration de la valeur moyenne annuelle de la réaction du sol et du profil pédologique à un grand nombre de processus hydrologiques et érosifs. Ces processus sont le détachement et le transport dus à l'impact des gouttes de pluie et à l'écoulement de surface.

Le facteur K est difficilement déterminable du fait de l'évolution des sols au cours du temps à l'échelle saisonnière et interannuelle. Il est nécessaire de rappeler que le facteur K traduit uniquement une propriété du sol à savoir sa susceptibilité à l'érosion et non un facteur pour classer ses dangers. (Wischmeier, 1962)

CHAPITRE II : BASSIN VERSANT DE L'OUED EL MALLEH

1. GÉNÉRALITÉS SUR LES BASSINS VERSANTS AU MAROC :

Un bassin versant (hydrologique ou hydrographique) est une portion de territoire délimitée par des lignes de crête, dont les eaux alimentent un exutoire commun : cours d'eau ou lac. (On désigne par cours d'eau tout chenal superficiel ou souterrain dans lequel s'écoule un flux d'eau continu ou temporaire. La ligne séparant deux bassins versants adjacents est une ligne de partage des eaux. Chaque bassin versant se subdivise en un certain nombre de bassins élémentaires correspondant à la surface d'alimentation des affluents se jetant dans le cours d'eau principal.

Un bassin versant se caractérise par différents paramètres :

- Géométriques : forme, surface et pente
- Pédologiques : nature du sol et du sous sol et leur capacité d'infiltration des sols
- Urbanistiques présence de bâti mais aussi biologiques type et répartition de la couverture végétale.

Au Maroc, les ressources en eaux sont limitées, cette limitation est naturelle en raison de la situation géographique du pays. Le Maroc se caractérise par un climat semi aride marqué par une grande irrégularité annuelle et interannuelle des précipitations ainsi que par une grande variabilité spatiale.

Les apports pluviométriques sur l'ensemble du territoire sont estimés à 150 milliards m^3 par an. En vue de favoriser un accès équilibré à l'eau sur l'ensemble du pays. De nombreux ouvrages ont ainsi été édifiés à travers le Royaume dans les zones dépourvues d'eau souterraine, en vue de répondre à des besoins locaux d'eau potable, d'irrigation ou pour protéger les personnes et les biens publics et privés contre les inondations. Le Maroc a déployé des efforts considérables en matière de mobilisation des eaux de surface, un élan de construction de grands et petits barrages, a été lancé depuis 1975. En 1994; 86 grands barrages (suivant les spécifications du comité international des grands barrages ICOLD) était opérationnels, totalisant une capacité totale de l'ordre de 10 milliards de m^3 d'eau. En 2004 la capacité d'eau retenue par les grands barrages, s'élève à 15,8.109 m^3 (PNABV 1996). Aujourd'hui, le royaume compte plus de 130 barrages dont 110 barrages totalisant une capacité de stockage de 16 milliards de m (PNABV 1996).

L'accroissement de l'exploitation des ressources en eaux en vue de satisfaire les divers besoins en eau potable, agricole et industrielle, incite à un besoin de connaissances aussi bien, du

point de vue théorique que pratique, dans les domaines de l'érosion, du transport des sédiments dans les rivières et de l'envasement des retenues de barrages.

L'érosion hydrique est l'un des facteurs primordiaux à prendre en considération par les décideurs dans le domaine environnemental. Cet intérêt réside dans le fait que les impacts de ce phénomène aléatoire et récurrent peuvent se présenter dans plusieurs domaines. L'érosion naturelle et anthropique (induite par les activités humaines) développant l'ablation de matériaux solides de bassins versants, générant ainsi le transport solide dans les fleuves, et entraînent des dépôts de sédiments dans les lacs et les barrages.

La conséquence la plus néfaste des phénomènes d'érosion réside dans le transport vers l'aval d'alluvions qui, en s'accumulant dans les retenues des barrages, réduisent leur capacité de régularisation. Ainsi, la capacité des barrages perdue chaque année par envasement est estimée à 75 millions de m³, soit 0,4% par an. (El majoudi, 2008)

L'érosion des sols constitue, par ailleurs, un grave problème écologique au niveau des zones amont et se traduit par des pertes économiques considérables.

Devant l'ampleur des problèmes d'érosion hydrique, l'Etat a pris, depuis plus d'un demi-siècle, des dispositions juridiques, administratives et techniques pour la promotion des interventions de conservation des sols dans le cadre d'une approche visant l'intégration et la complémentarité entre les interventions de protection des sols à l'amont et la préservation des infrastructures hydro-agricoles à l'aval.

La superficie globale traitée en matière de conservation des sols et de lutte contre l'érosion hydrique dépasse 544 000 ha (El majoudi, 2008) :

- 128 000 ha de reboisement de protection
- 272 500 ha de plantations fruitières avec infrastructures antiérosives
- 84 000 ha d'amélioration pastorale et sylvo-pastorale
- 59 500 ha et 454 400 m³ de traitement des ravins, des berges et des versants

Malgré les efforts déployés, les réalisations sont restées en deçà des besoins et la pression anthropique sur les ressources naturelles n'a fait qu'accentuer la dégradation des sols et donc accélérer les phénomènes d'érosion.

Face à cette situation, le Royaume du Maroc a entrepris entre 1990 et 1996, avec la collaboration d'organismes internationaux et la participation de tous les acteurs nationaux concernés, l'élaboration d'un Plan National d'Aménagement des Bassins Versants qui arrête les priorités d'interventions et inscrit les actions dans la durée et le contexte socio économique garantissant leur efficacité. A partir de l'analyse de l'expérience, ce Plan préconise un

programme d'action de traitement de 75 000 ha/an sur une période de 20 ans au niveau de 22 bassins versants prioritaires :

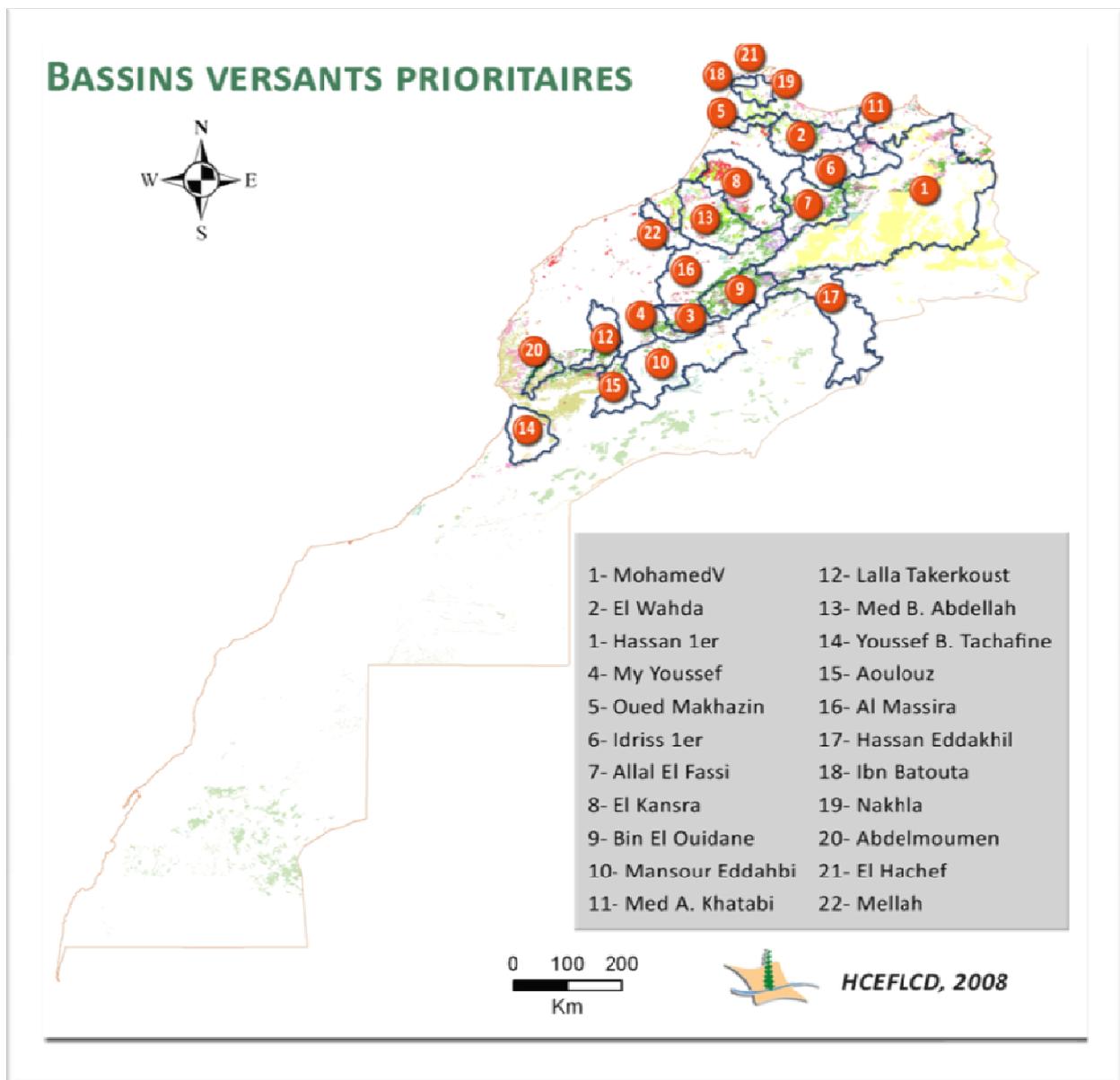


Figure 3: Carte des bassins versants prioritaires pour l'aménagement au Maroc (HCEFLCD, 2008)

Une mise en œuvre a été engagée dans les bassins versants de :

M'Soun, Issen, Ouergha, Nakhla, Lakhdar, Tassaout, Aoulouz, Malleh, Inaouène, Sebou amont, Ourika, N'Fiss, Moulouya, Laabid, Draâ, et Massa

Les inondations représentent un risque naturel qui peut causer des pertes en vies humaines, des dégâts matériels et la dégradation de l'environnement.

Le Maroc a connu de terribles inondations telles que celle de l'Oued Ourika en 1995, celles de l'Oued El Malleh de 2002, ou encore celles très récentes de Tanger, Nador, Fnidek, Boulmane.

Suite aux inondations survenus en novembre 2002, le bassin versant de Oued El Malleh a été reclassé comme prioritaire et programmé pour un aménagement dont le but est la réduction des risques des inondations au niveau de la ville de Mohammedia et des agglomérations en aval de l'Oued El Malleh. La conservation des eaux et sols, le contrôle de l'érosion, constituent les principaux objectifs de ce projet.

2. LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE :

2.1. Situation géographique :

Le bassin versant de l'oued El Malleh est situé dans de la région Nord-est de Casablanca et plus précisément entre la ville de Mohammedia lieu de son exutoire et Khouribga, entre les latitudes 33,00 et 33,71 nord, les longitudes 6,45 et 6,55 ouest. (Figure 3)

C'est un bassin versant d'une superficie approximative de 2055 km² qui est limité au nord par le bassin versant d'oued Nfifikh et au sud par les bassins océaniques de la Chaouia.

2.2. Situation administrative :

Sur le plan administratif, le bassin versant d'oued El Malleh chevauche sur les territoires de la wilaya du grand Casablanca (13 175 ha) et la wilaya de la région de Chaouïa - Ouardigha (192 325ha), qui couvrent respectivement 93 % de la superficie totale du bassin.

Les provinces concernées sont :

- Wilaya du grand Casablanca : province de Mohammedia et préfecture de Benmsik sidi Otman et Bernoussi Zenata.
- Wilaya de Chaouia ouerdigha : province de Ben Slimane Khouribga et Settat.

Ce bassin versant relève de la Direction Régionale des Eaux et Forêts et de la Lutte Contre la Désertification du Centre Casablanca (DREFLCD)

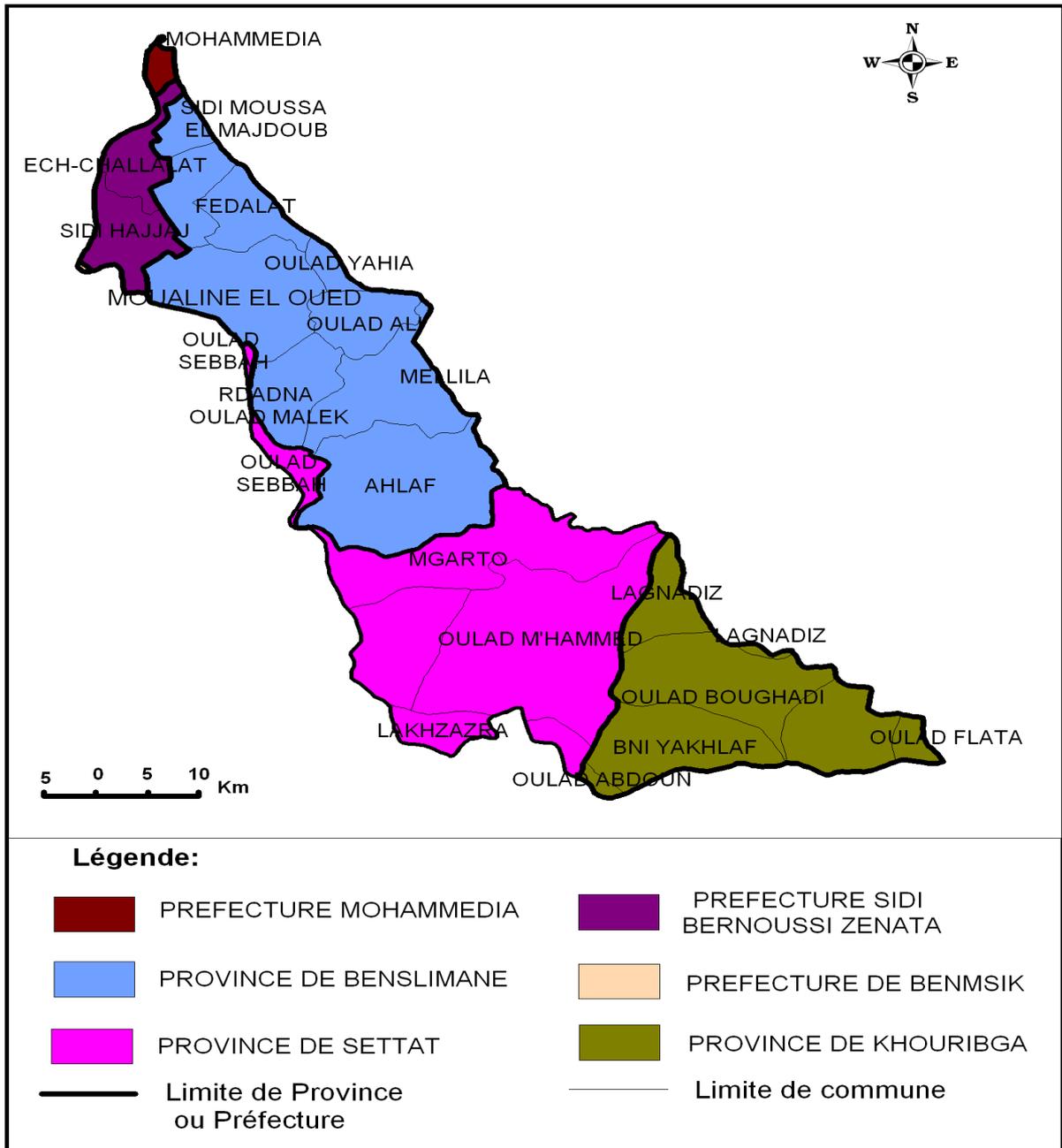


Figure 4: carte administrative du site d'Oued El Malleh (DREF, 2008)

3. CARACTÉRISTIQUES DU MILIEU NATUREL :

3.1. Topographie du bassin versant :

Le bassin versant de l'oued El Malleh constitue un paysage de moyenne montagne où sont taillées les vallées de l'Oued Zemrine et Atteuch qui se prolonge jusqu'à la confluence avec Oued El Malleh. Sa forme est relativement allongée, large et digitée à l'amont et plus étroite à l'aval, l'altitude varie de 6m (Mohammedia) et 884m (Khatouate) avec une dominance d'un relief très accidenté caractérisé par de fortes pentes représentant environ 35% de la superficie totale.

Pour la détermination de la pente des études ont été déjà effectuées dans la région. Les résultats de ces études ont donné la répartition des superficies par classe de pente et qui se résume dans le tableau suivant :

Classe de pente en %	Surface en ha	% à la surface du bassin versant
0-5	110607.44	53
5-10	30900.32	15
10-20	31235.20	15
20-30	18817.16	9
30-40	8404.20	4
Supérieure à 40	6886.56	3
Total	206850.88	100

Tableau 2: Répartition des classes de pentes du bassin versant d'oued El Malleh

(TTOBA, 2004)

Le tableau 2 et la figure 5 mettent en évidence le partage du bassin versant en trois grandes zones :

- 1- Zone à faible pente (0-5%) s'étendent sur 53% de la superficie totale du bassin versant.
- 2- Zone moyennement accidentée (5-20%) couvrant 30% de la surface du bassin.
- 3- Zone très accidentée et très encaissée (plus de 20%) n'occupent que 16% de la superficie totale du bassin.

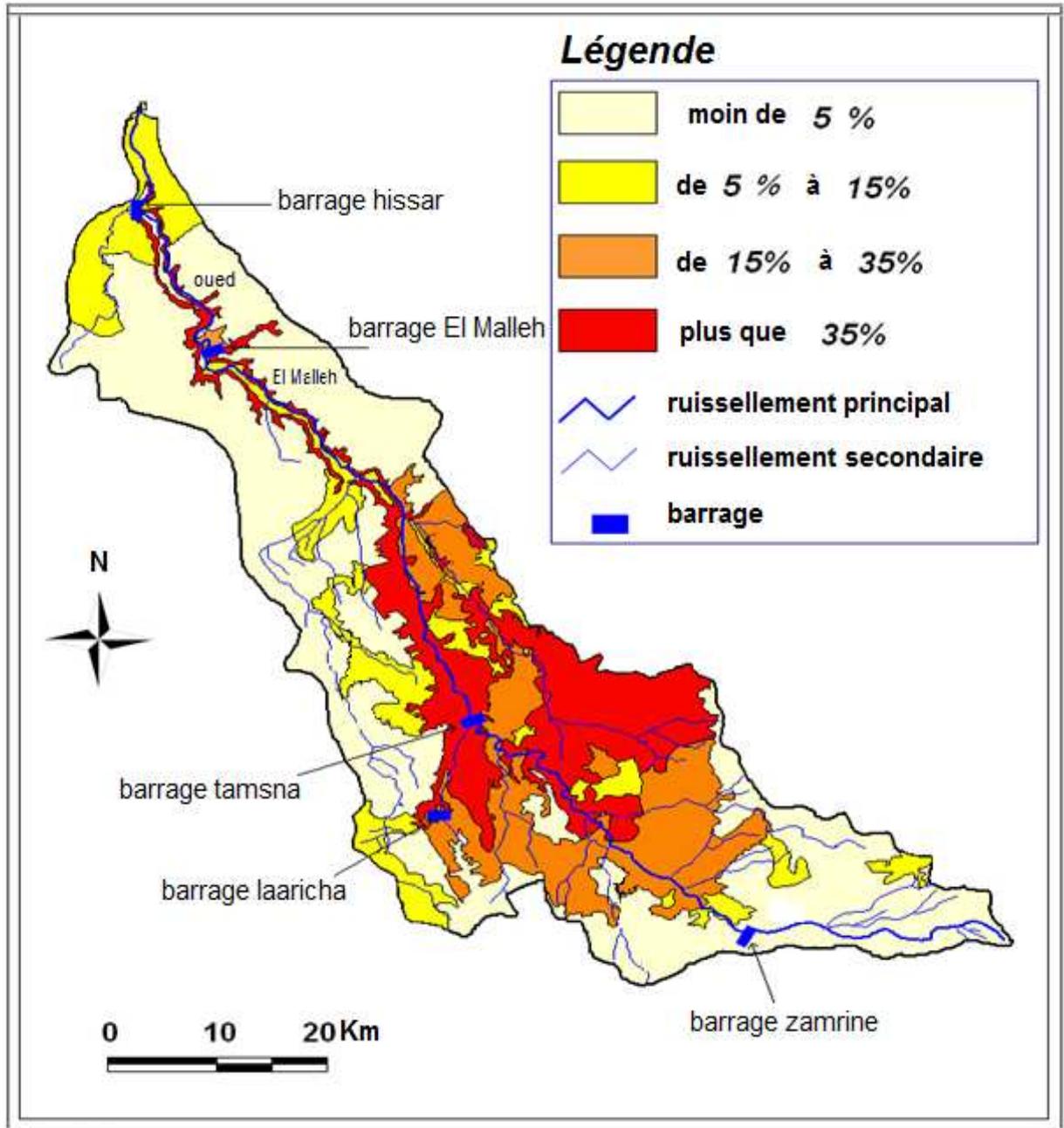


Figure 5: répartition des pentes du bassin versant d'Oued El Malleh (TTOBA, 2004)

Les études préalablement effectuées indiquent que l'altitude au niveau du bassin versant varie entre 0 et 962 mètres avec 15% du bassin ayant une altitude inférieure à 200 m et les 50% avec une altitude supérieure à 500m. (TTOBA, 2004).

. Exposition :

Les zones ayant une pente inférieure à 3% sont considérées comme terrain plat.

La répartition des superficies par exposition est la suivante :

Exposition	Surface en ha	%
Plat	99946.959	48.38
Nord	28411.52	13.74
Est	23704.2	11.46
Sud	22158.96	10.71
Ouest	32629.24	15.77
Total	206850.879	100

Tableau 3: Répartition des expositions du bassin versant d'Oued El Malleh (TTOBA, 2004)

Au niveau du bassin versant d'oued El Malleh, les terrains sur exposition Est et Sud offrant une ambiance chaude et sèche sont beaucoup plus affectés par l'érosion que ceux sur exposition Nord et Ouest. En effet, Beudet (1969) a bien souligné cette constatation qui est facilement observée le long des berges d'Oued El malleh. Ces deux expositions qui défavorisent généralement l'installation et le développement du couvert végétal qui joue le rôle de protecteur de sol contre l'érosion, occupent 22,17% de la superficie totale du bassin versant.

3.2 Hydrographie :

La forme du bassin versant d'oued El Malleh tend plus vers un rectangle qu'un cercle. Cette dernière est déterminée par le coefficient de forme (Remanieras ,1976) qui est calculé selon la relation de Gravellius suivante :

$$Kc=0.28*p/A^{0.5}$$

Avec :

Kc : coefficient de forme **P** : périmètre du bassin versant **A** : surface du bassin versant

Dans notre cas La valeur du coefficient de forme est de 1.12, ce qui indique que le bassin versant n'est pas de nature à générer des crues. Sa forme allongée favorise leur étalement surtout celles provenant des parties hautes du bassin versant. De même, le calcul du temps de concentration du bassin versant estimé selon la formule de Kirpitch (Hundson, 1981) révèle

que le temps que peut mettre une crue générée dans la partie haute du bassin versant pour arriver au niveau de Mohammedia est de 26,7 heures.

Dans l'objectif d'individualiser les surfaces qui génèrent le plus de ruissellement et de sédiments dans un premier temps et d'identifier les zones prioritaires et d'actions dans un deuxième temps, la surface du bassin versant d'Oued el Malleh est divisée en sous bassins versants qui représentent une unité hydrologique constituant l'unité de base de la division. L'identification des sous bassins versants est réalisée par rapport au cours d'eau principal qui est celui de l'oued El Malleh dans sa partie avale et l'oued zamrine dans sa partie amont.

Le réseau de drainage du bassin versant d'oued El Malleh est de type dendritique. Ce modèle du drainage reflète la combinaison du substrat et des pentes du bassin versant. La densité du réseau hydrographique pour l'ensemble du bassin versant est de **1,1 km/km²**, mais la répartition spatiale de cette densité de drainage est inégale.

La densité est beaucoup plus élevée dans la partie centre, centre-est du bassin dominé par les zones à pentes élevées, alors que cette densité devient lâche dans la partie ouest du bassin. De même, cette densité est plus élevée dans la partie amont que la partie avale dominée par les sols sableux et les classes de pentes comprises entre **0** et **12%**. Ainsi, nous pouvons distinguer 3 classes de sous bassins selon la densité de drainage du réseau (Figure 6) à savoir :

- Classe de sous bassins à densité de drainage faible : Il regroupe les sous bassins n° 10 à 18.
- Classe de sous bassins à densité de drainage moyenne : Il regroupe les sous bassins n° 1, 2, 3, 4, 8, 9 et 12.
- Classe de sous bassins à densité de drainage forte : Il regroupe les sous bassins n° 5, 6, 7 et 11.

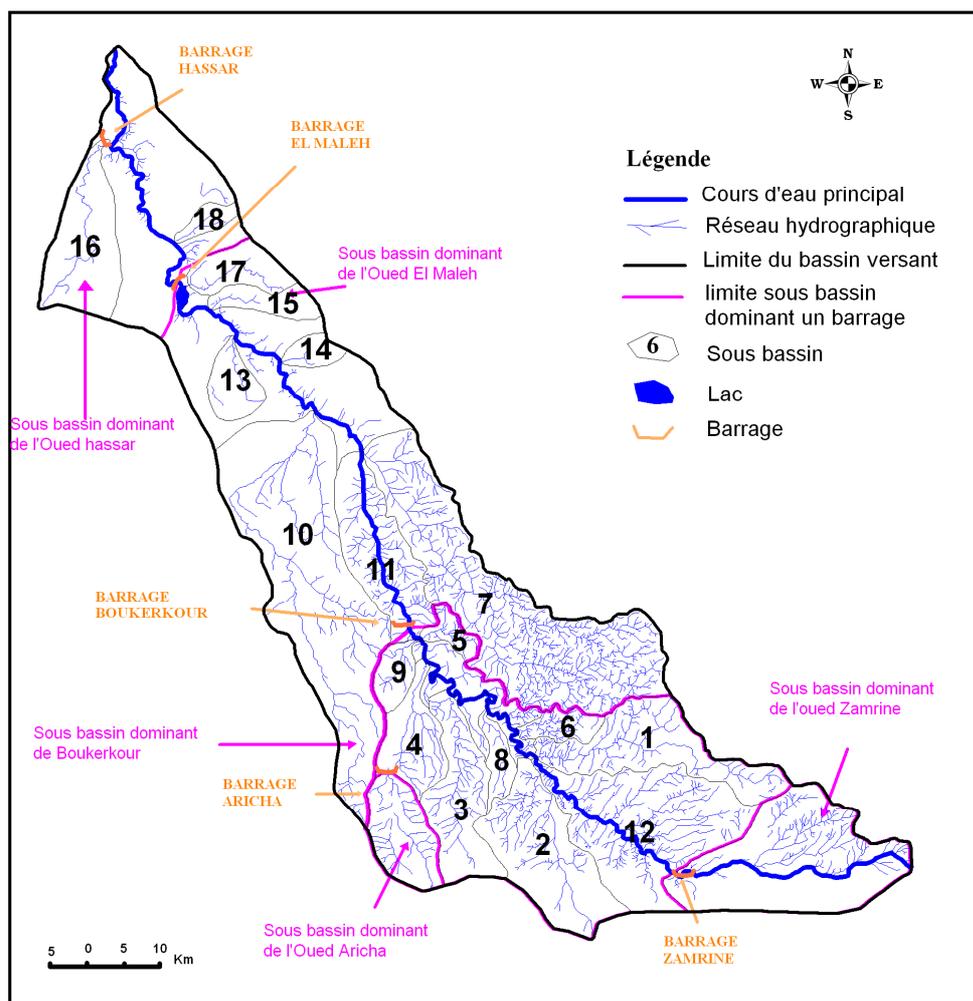


Figure 6: Carte du réseau hydrographique du bassin versant d'Oued El Malleh (DREF, 2008)

3.3 Climat :

Le bassin versant d'Oued El Malleh appartient au climat méditerranéen qui se caractérise par la domination de deux saisons contrastées : saison à climat chaud et sec (l'été) et saison à climat humide et tempéré (l'hiver).

La répartition annuelle des précipitations au bassin versant se caractérise par une oscillation d'une année à l'autre. Cette oscillation peut s'expliquer par l'alternance des influences des courants Nord-Ouest, qui donnent des précipitations importantes.

Le bassin versant reçoit des quantités de précipitations variant d'une région à l'autre, par l'intervention des deux facteurs importants : la continentalité et l'altitude. En général, la moyenne annuelle des précipitations varie entre 270 et 550 mm.

La température est un élément du climat, qui a un impact significatif sur le bilan hydrique et le couvert végétal. La température du bassin versant, augmente vers l'intérieur en raison de la continentalité et la distance des influences côtière qui jouent un rôle important dans la modération de la température des zones proches de la côte. Les différences thermiques ont des influences sur la répartition du couvert végétal et sur l'érosion.

3.4. Caractéristiques géologiques :

Les caractéristiques lithologiques de chaque structure notamment leur degré de résistance à l'érosion et leur composition ont permis de faire un classement en 5 unités de lithofaciès au niveau du bassin versant. Ces unités se présentent comme suit (Tableau 4) :

Type de lithofaciès	Superficie en (ha)	% par rapport à la superficie du bassin versant
(a) : Roches compactes non altérées, conglomérats fortement cimentées, croûtes, affleurements de grès ferrugineux	20166,17	9,75
(b) : Roches ou sols cohésifs fracturés ou modérément altérés	6224,14	3,01
(c) : Roches ou sols sédimentaires faiblement ou modérément compactés	70976,35	34,31
(d) : Roches et/ou sols peu résistants ou fortement/profondément altérés	69952,43	33,81
(e) : Sédiment ou sol meuble, non cohésifs et matériel détritique	39531,80	19,11
Total	206850,88	100

Tableau 4: Importance des unités lithologiques du bassin versant de l'oued El Malleh (TTOBA, 2004)

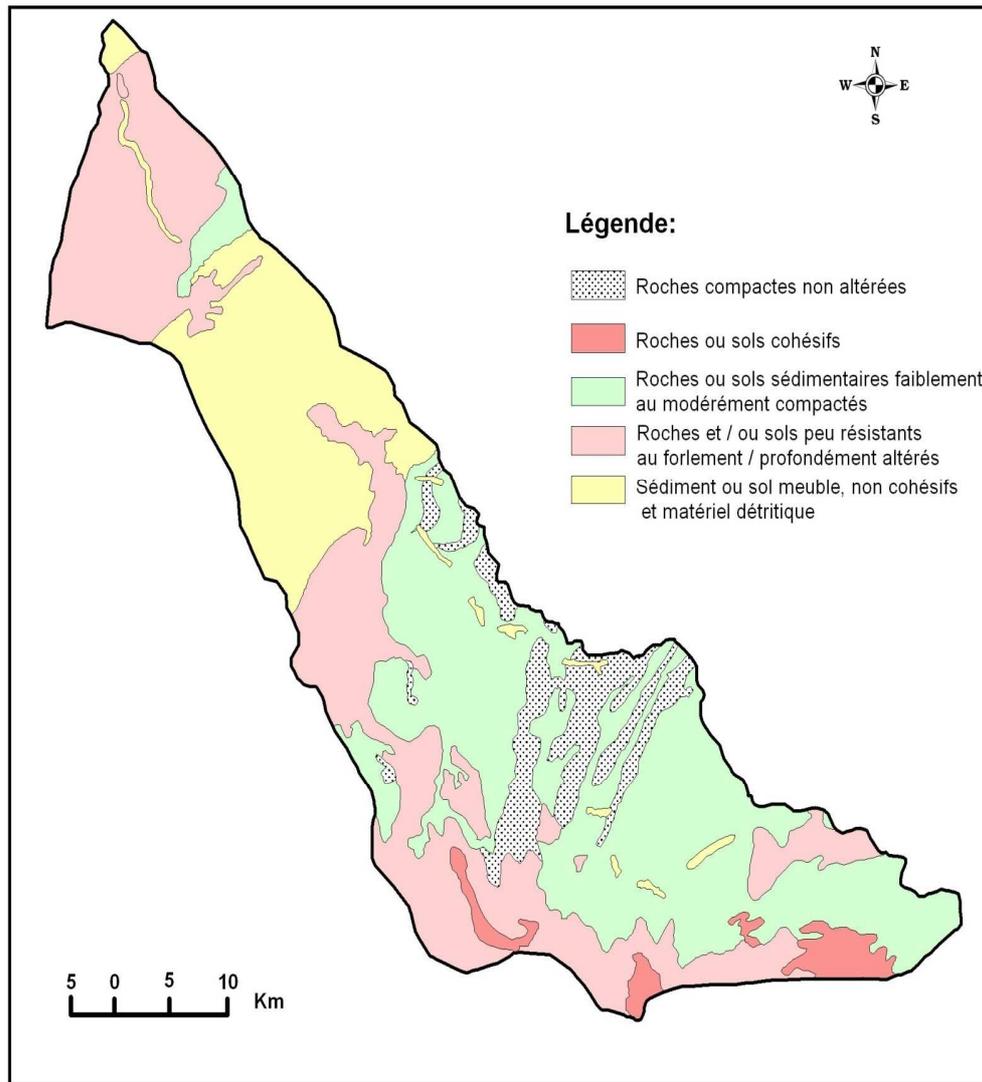


Figure 7 : Carte de répartition des lithofaciès du bassin versant d'Oued El Malleh (DREF, 2008)

En guise de conclusion, l'étude lithologique révèle que 68% de la surface du bassin versant est constituée par un substrat à résistance modérée à faible. Ceci montre la fragilité du bassin envers le phénomène d'érosion et la nécessité d'intervention pour la protection et la stabilisation de ses structures lithologiques.

3.5. Pédologie et occupation des sols au niveau du bassin versant d'Oued El Malleh :

3.5.1. Les sols :

L'identification des zones susceptibles à l'érosion nécessite une étude pédologique qui adoptera une démarche géomorphologique pour la distinction des différentes classes des sols et leur importance de point de vue répartition et occupation au niveau du bassin. Le tableau ci dessous montre les principales unités pédologiques du bassin versant d'Oued El Malleh.

Unités pédologiques	Superficie en ha	% par rapport à la superficie totale du bassin versant
Sols minéraux bruts (I)	42986,84	21
Sols peu évolués d'apports (II)	22649 ,33	11
Sols vertiques (III)	36552 ,13	18
Sols calcimagnésiques (IV)	34984,52	17
Sols isohumiques (V)	8800,31	4
Sols brunifiés (VI)	3104,75	2
Sols à séxioxydes de fer ; sols fersailitiques (VII)	54346,15	26
Sols hydromorphes (IIX)	3409,03	2
Sols holomorphes (IX)	17 ,81	0,04

Tableau 5 : Les principales unités pédologiques du bassin versant d'Oued El Malleh (TTOBA,2004)

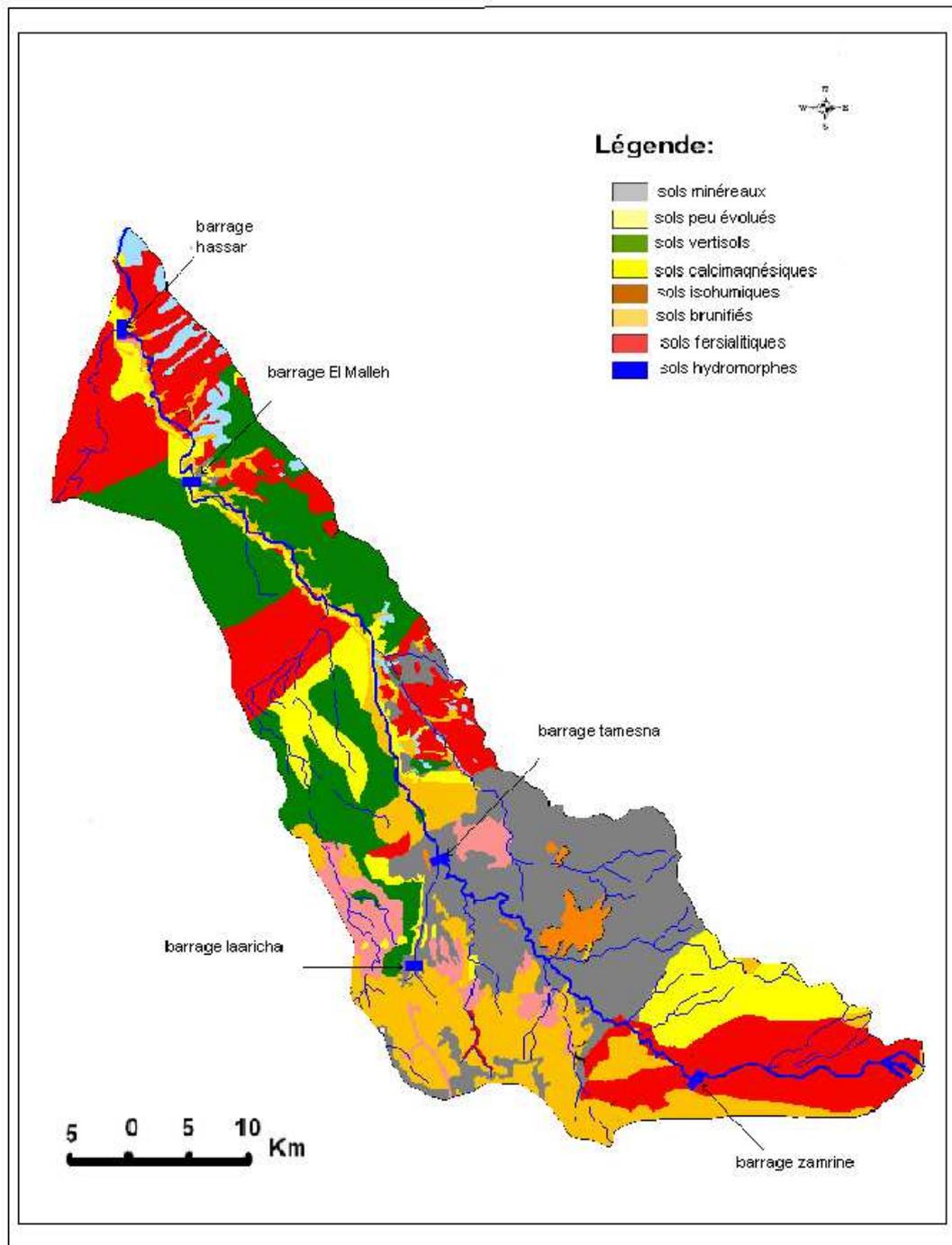


Figure 8: Carte pédologique de l'Oued El Malleh (DREF, 2008)

Les sols fersialitiques sont largement représentés à l'échelle du bassin versant ils occupent 26 % de la surface totale. Les sols minéraux bruts qui se rencontrent essentiellement au niveau de la partie centrale du bassin représentent 21% de la surface du bassin.

Dans les parties Sud Est du bassin se concentrent les sols vertiques et calcimagnésiques qui sont largement convoités par les cultures et qui s'étalent généralement sur les faibles pentes.

Le long des cours d'eau on trouve les sols hydromorphes qui s'étendent sur une superficie totale de 3409,03 ha soit 2% de la surface totale du bassin versant. Les sols holomorphes par contre occupent une faible superficie de 17,81 ha localisés au niveau de la ville de Mohammedia.

3.5.2. Occupation des sols :

L'occupation des terres au bassin versant d'oued El Malleh représente un facteur essentiel pour expliquer l'état actuel de l'érosion et le risque encouru les formations occupant les terres de ce bassin peuvent être définies comme suit :

- Les formations forestières :
 - Le chêne liège dense à très dense.
 - Le chêne vert moyennement dense à clair.
 - Le thuya moyennement dense à clair.
 - Le reboisement mélangé moyennement dense.
- Le matorral est assez dense, il est essentiellement constitué de lentisque, de filiria, d'oléastre, et de rhus ainsi que de cistes.
- Les terrains de parcours constitués de cistes, de plantes annuelles et pérennes.
- Cultures dominées par la céréaliculture.
- Les terrains nus et les bad-lands qui se concentrent essentiellement au niveau des berges des oueds et des terrains accidentés.

Occupation du sol	Superficie (en ha)	%/ à la superficie du bassin versant
Formations forestières dense	9126.76	4.41
Formations forestières claires	8861.44	4.28
Terrains nus et bad-lands,	3397.6	1.64
Terrains de parcours,	12782.8	6.18
Terrains de cultures,	169649	81,99
Terrains de cultures irriguées	1567,44	0,76
Zones urbaines,	1190,17	0.60
Barrage	275.2	0.13
Total	206850,88	100.00

Tableau 6 : Occupation des sols dans le bassin versant d'Oued El Malleh (TTOBA, 2004)

Le tableau 6 ci-dessus montre que les cultures notamment céréalières constituent l'ossature de l'activité agricole ; elles se concentrent essentiellement dans la partie centrale et aval du bassin en occupant 81,99 % de la superficie totale du bassin versant. Du point de vue de la susceptibilité à l'érosion nous pouvons affirmer dès maintenant que ce sont les terrains de cultures qui sont potentiellement la source principale des sédiments. Ceci montre le rôle et l'importance de l'encadrement des agriculteurs et leur sensibilisation aux problèmes d'érosion, de la dégradation du capital sol et les impératifs de conservation des eaux et des sols aussi bien en amont qu'en aval.

Il est à noter que la superficie totale des formations forestières qui s'élève à 17988,20 ha (obtenue par traitement de l'image satellite et appuyée par des vérifications de terrain), ne concerne que les terrains forestiers boisés, alors que la superficie totale de l'assiette du domaine forestier du bassin versant d'oued El Malleh s'étend sur 20504ha (DREF- centre, Casablanca 2004). Ce qui montre que 12,27% (2515,80ha) de la surface forestière domaniale est nue ou à la limite occupée par une végétation très éparse.

Cette superficie forestière domaniale du bassin versant d'oued El Malleh, se répartie comme suit :

- Province de Settât (Forêt d'Achacha) : 13608 ha.
- Province de Benslimane (Forêts de Medakra, Ahlaf-Mlila) : 5000 ha.
- Province de Khouribga (forêt Gnadiz) : 1400 ha.
- Casablanca : 496 ha.

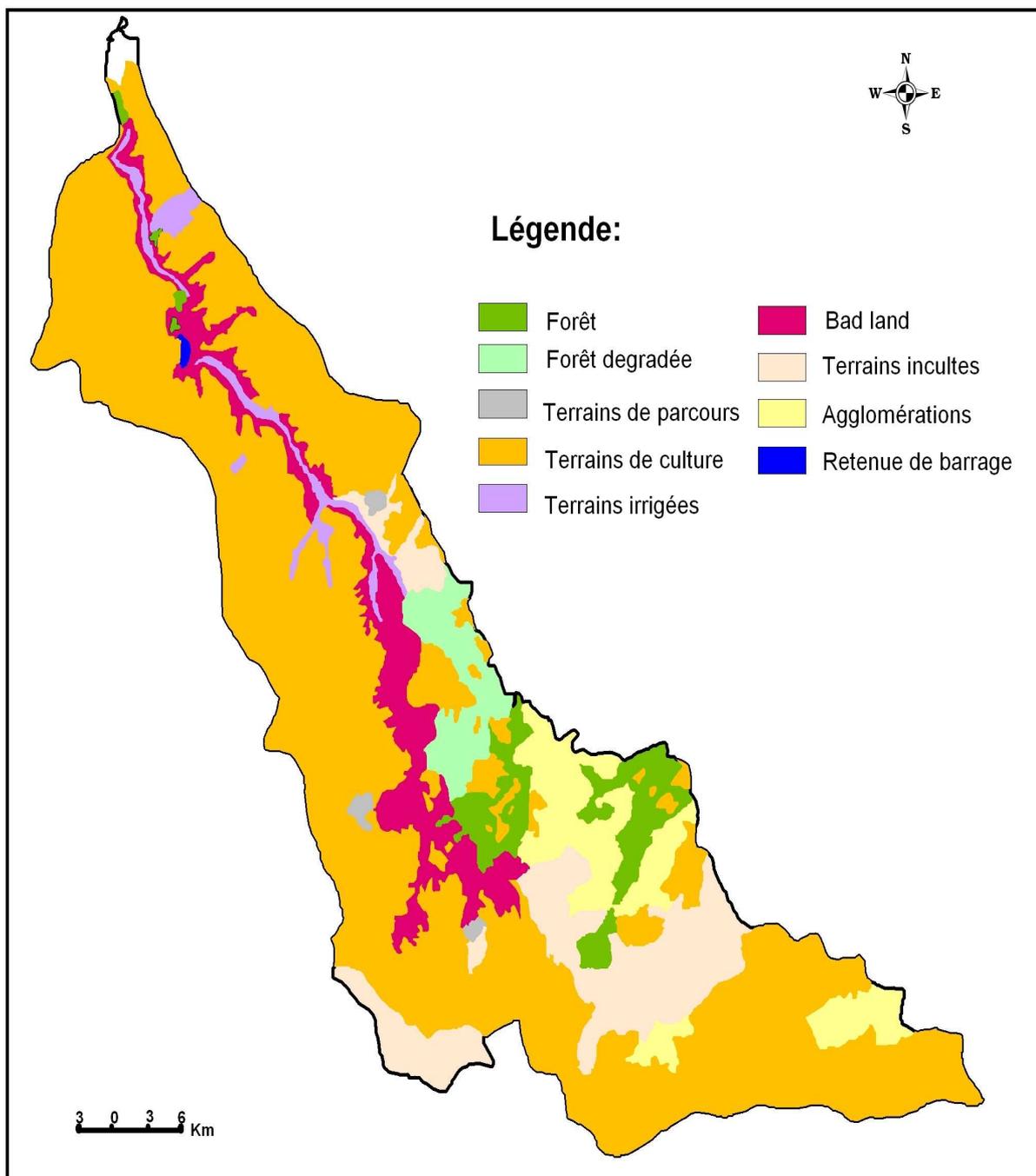


Figure 9: Carte d'occupation des sols dans le bassin versant d'Oued El Malleh (DREF, 2008)

4. EROSION DANS LA REGION DU BASSIN VERSANT D'OUED EL MALLEH

La dégradation de la végétation est l'un des facteurs principaux de l'érosion au niveau du bassin d'Oued El Malleh. Les traces de l'érosion sont plus nettes aux expositions Est et Sud qui offrent une ambiance chaude et sèche qui défavorise généralement l'installation et le développement du couvert végétal qui joue le rôle de protecteur de sol, à l'opposé de ceux à exposition Nord et Ouest qui sont souvent caractérisés par un sol fertile et un couvert végétal plus dense qui empêche le départ des particules les plus fines.

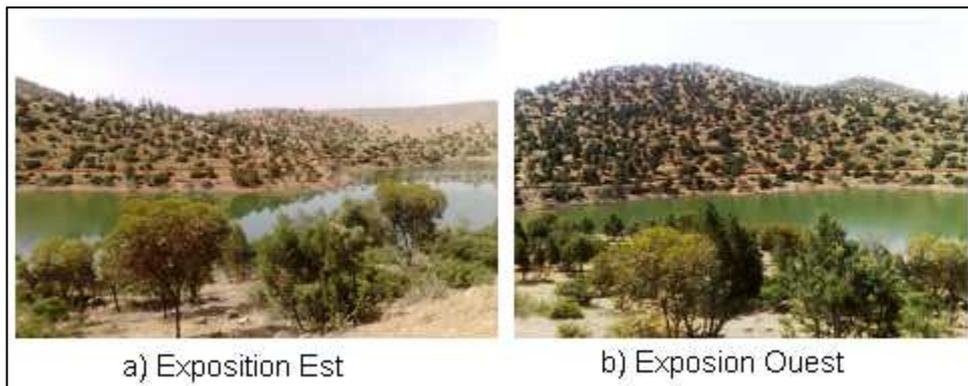


Figure 10 : Expositions du bassin versant d'Oued El Malleh

Les études effectuées montrent que l'érosion qui domine la région du bassin versant de l'oued El Malleh est une érosion linéaire qui se manifeste par la présence de creusements qui entaillent la surface du sol. Les creusements du sol provoquent des formes telles que les griffes qui se caractérisent par des petits canaux de quelques centimètres de profondeur, des rigoles qui dépassent les 10 centimètres, et on trouve même des ravins allant jusqu'à 30 centimètres de profondeur et comportant des blocs rocheux.

A fin de pouvoir localiser les zones les plus touchées par l'érosion, le bassin versant d'oued El Malleh est subdivisé en neuf sous bassins versants prioritaires : Sidi Sbea, Oued El Attach, Oued Aricha et Oued Zamrine, sont en tête.

Le sous bassin de Sidi sbea présente le secteur d'une dynamique érosive très importante ce qui explique son choix pour l'étude parmi les sous bassins déjà cités.

CHAPITRE III : MICROBASSIN DE SIDI SBEA

1. CARACTERISATION DU SITE DE SIDI SBEA

Le Site de Sidi Sbea est situé à une trentaine de kilomètres au NE de la ville de Benahmed. Il s'agit d'une enclave forestière de quelques centaines d'hectares anciennement défrichée et mise en culture. Sur lequel est situé le micro bassin de sidi sbea, d'une superficie de trois hectares de la superficie totale du sous bassin versant et se situe dans la partie intermédiaire du bassin d'Oued El Malleh. (figure 11).

Le micro bassin de Sidi sbea représente donc le site le plus vulnérable à l'érosion pour les raisons suivantes :

- Réseau hydrographique très dense (ordre de 1 km/km²)
- Ampleur des surfaces touchées par l'érosion
- Existence en amont du barrage
- Lithologie schisteuse friable

Ces différentes raisons justifient le choix du site d'étude.

La topographie, à caractère mamelonné, est formée par de petites collines allongées et orientées plus ou moins parallèlement les unes aux autres ce qui rend le relief moins accidenté par rapport au reste de la région. Cependant, les pentes sont assez prononcées et peuvent dépasser 40%.

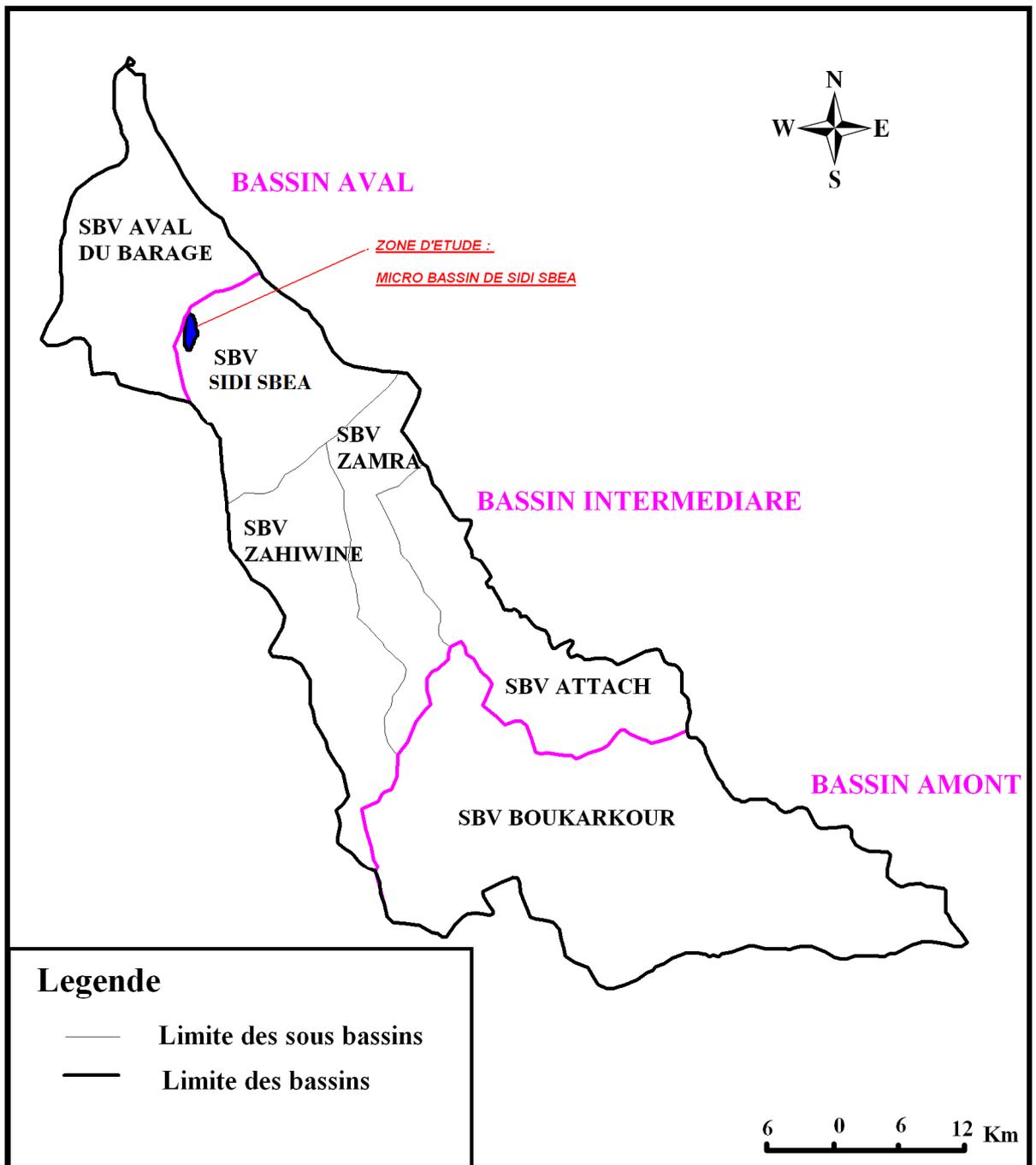


Figure 11 : Carte des sous bassins versants d'oued El Malleh (DREF, 2008)

Les sols sont généralement squelettiques peu profonds, et peu développés. Les affleurements de la roche mère schisteuse sont fréquents. La population locale distingue entre deux types de sol : sols très caillouteux et sols riche en argiles.

La végétation naturelle est dominée par le Thuya mais on trouve également d'autres espèces associées en plus des espèces introduites par le reboisement. Les strates arbustives et herbacées sont généralement très dégradées à cause de la sécheresse et du surpâturage. La forêt se caractérise également par la présence d'une diversité faunistique : sangliers, lièvres, lapins, loups, renards, chacal, perdreaux, ce qui fait de cette forêt un espace privilégié de chasse.

Espèces naturelles	Espèces reboisées
Thuya	Eucalyptus
Lentisque	Atriplex
Oléastre	Pin d'Alep
Ciste	Cactus
Gattilier	Gommier
Caroubier	

Tableau 7 : Les différentes espèces végétales de la zone (TTOBA, 2004)

Le climat est de type semi-aride à hiver tempéré à froid avec des précipitations moyennes annuelles variant de 350 à 450mm. L'irrégularité pluviométrique est très marquée d'une année à l'autre et même au sein de la même année (variabilité saisonnière) et se répercute directement sur la production agricole de la zone. Les températures sont très élevées en été (T max >40°C) et peuvent descendre au-delà de 5°C en hiver.

Les ressources hydriques superficielles sont limitées aux eaux de crues des oueds Zamrine et Laâtach ainsi que de leurs affluents. L'écoulement est intermittent et à caractère torrentiel et violent. Les eaux souterraines sont limitées et souvent de mauvaise qualité. On note également l'absence totale des techniques de gestion et d'accumulation des eaux de crues (Matfia, bassins d'accumulation, ...).

En ce qui concerne l'occupation du sol, la visite du site d'étude nous a permis de constater une dominance des terrains de cultures (près de 95%) ; le reste est représenté par des terres abandonnées fortement érodés (bad-lands). On note également le développement d'une arboriculture (olivier) mais qui reste encore timide.

Il faut également signaler que, dans l'état actuel des choses, la zone est sujette à une dynamique érosive très importante qui intéresse aussi bien la zone forestière que la zone agricole. Les manifestations érosives (rigole, ravins et badlands) font désormais partie intégrante du nouveau paysage de la région (Photo 2). Lors des précipitations, le ruissellement constitue presque la règle ce qui explique le caractère torrentiel et violent des oueds dans la région. Les eaux de ruissellement sont très chargées en sédiments.

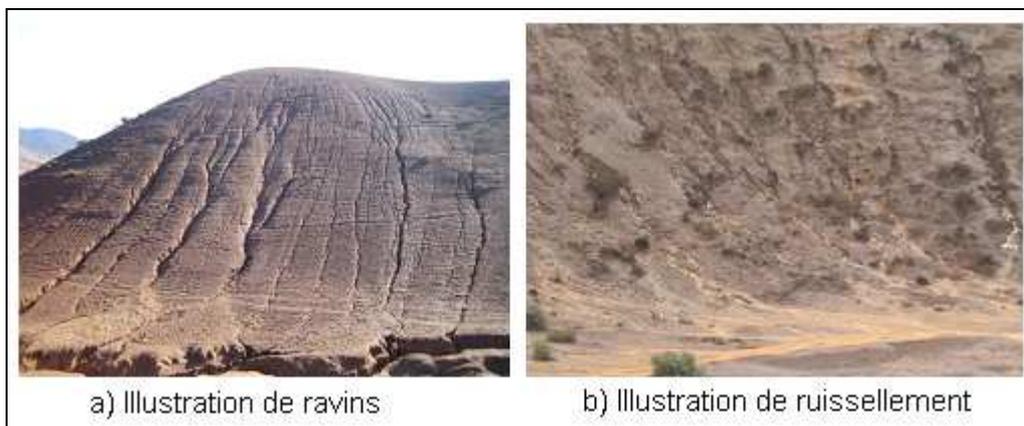


photo 2: Quelques manifestations érosives dans le microbassin de Sidi Sbea

Il ressort que les phénomènes d'érosion sont le résultat d'interactions complexes variables dans le temps et l'espace. Dans une optique d'évaluation des risques ou d'établissement de schémas d'aménagement pour la conservation des sols, le recours à la modélisation peut constituer un outil d'aide à la décision.

Pour cela 5 échantillons ont été prélevés du site d'étude (microbassin sidi sbea) sur une longueur de pente de 200 m et une distance de 50m entre chaque profil. Ces échantillons ont fait l'objet d'un certain nombre d'analyses appropriées effectuées au laboratoire de pédologie du centre de la recherche forestière (CRF), pour une caractérisation physico chimique de ces sols, à savoir la texture, la teneur en matière organique, le code de la structure de perméabilité. Cette caractérisation nous permettra aussi de déterminer le facteur d'érodabilité K

1. DETERMINATION DU FACTEUR K :

2.1. Techniques d'étude

2.1.1. Dispositif de mesure sur le terrain

Le terrain constitue avant tout le premier centre d'intérêt et c'est le plus important moyen de travail en matière d'érosion. C'est une étape de reconnaissance préliminaire permettant de délimiter le secteur concerné, d'approfondir l'étude de son relief, de rassembler toutes les données relatives aux caractéristiques physiques du sol du climat et de l'occupation des terres. Le but est de se faire une idée globale sur les caractéristiques du milieu physique, sur la relation qui existe entre les différents paramètres et leurs influences sur les phénomènes et les processus d'érosion pour pouvoir entamer une étude de quantification des pertes en sols.

Le dispositif de mesure comprend en premier lieu un déversoir qui a été installé pour la mesure de l'écoulement. Ce dernier a été équipé d'un limnigraphe électronique à pression.

Le déversoir représente le moyen le plus simple et le plus commun de mesure de l'écoulement dans les chenaux ouverts. Il s'agit d'un petit barrage construit à travers le chenal avec une petite encoche par où les eaux s'écoulent. Il existe différents types de déversoir (rectangulaire, trapézoïdal et triangulaire) et chaque type présente une équation associée pour déterminer le débit du courant à travers le déversoir. L'équation est basée essentiellement sur la mesure de la hauteur d'eau (à l'aide du limnigraphe) qui s'accumule dans la fosse en amont du déversoir. Le déversoir triangulaire (V-Notch) semble être le plus adapté aux faibles écoulements ($<1000\text{m}^3/\text{h}$) mais il n'est pas aussi convenable pour les eaux excessivement chargées en sédiments car ces derniers se déposent dans la fosse située en amont du déversoir et modifient ainsi les conditions requises pour une bonne mesure du débit. La construction du déversoir triangulaire nécessite le respect de quelques normes (figure 12). L'angle de l'encoche (V) le plus utilisé est de 90° mais on trouve aussi des déversoirs avec des angles de $22,5^\circ$, 30° , 45° , 60° et 120° .

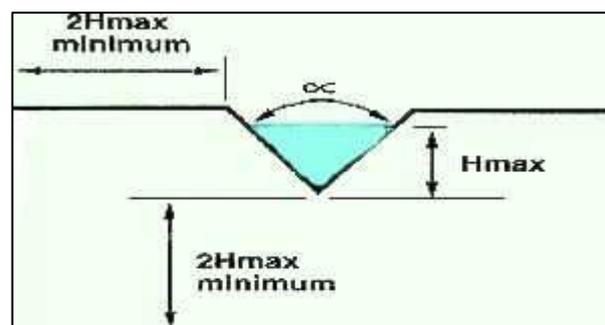


Figure 12: déversoir en V-Notch



photo 3 : dispositif de mesure (V-Notch) installé dans le micro bassin Sidi Sbea

En ce qui concerne le limnigraphe à flotteur, il s'agit d'un appareil composé d'un tube (25cm de diamètre et 2m de hauteur) au sein duquel un flotteur est maintenu à la surface de l'eau grâce à un contre poids, par l'intermédiaire d'un câble et d'une poulie. Le tube porte également quelques petits trous (0,6 cm de diamètre) alignés verticalement et permettent le passage de l'eau à l'intérieur du tube lors de l'arrivée de la crue. Le flotteur suit les fluctuations du niveau d'eau dans le tube. Ensuite, l'ensemble du système est relié à un data logger qui enregistre les variations d'eau toutes les 5min sous forme d'un fichier ASCII facilement téléchargeable sur un ordinateur portable en utilisant un logiciel (Hydras[®]).

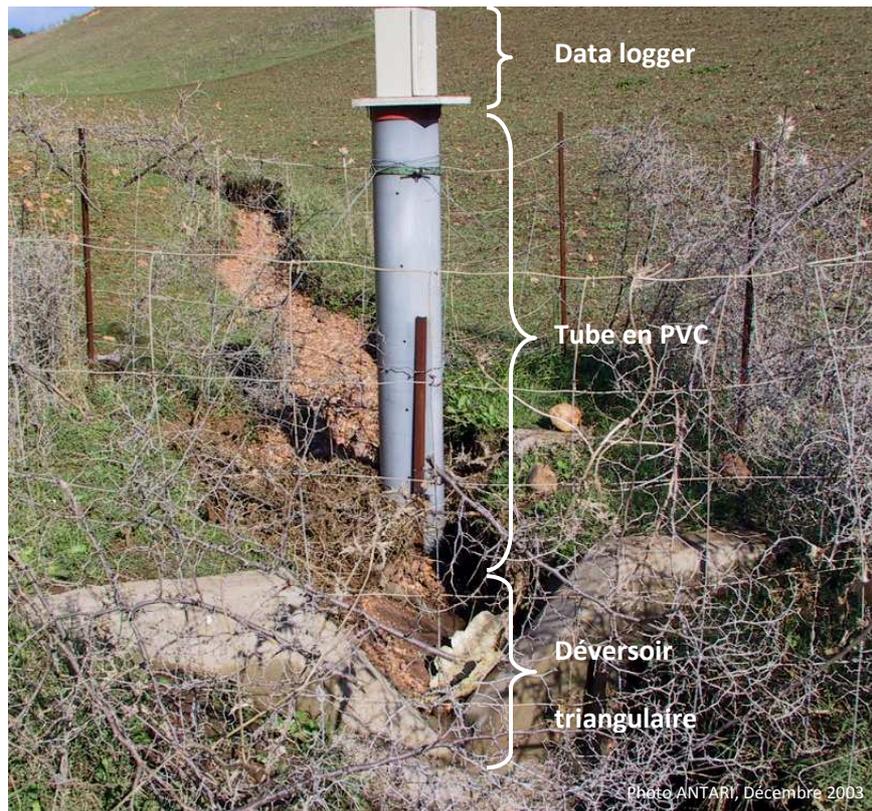


photo 4 : Limnigraphe à flotteur

1.1.2. Etude de laboratoire

Pour compléter les données de terrain, des analyses physico-chimiques et organiques sont effectuées au laboratoire du Centre National de la Recherche forestière (CNRF). En effet, un certain nombre d'échantillons a été récolté dans le but d'apporter des informations supplémentaires pour améliorer notre interprétation.

a) La granulométrie

Elles concernent la granulométrie et consistent à séparer les différentes fractions minérales du sol en fonction de leur taille et à évaluer la proportion pondérale de chacune de ces fractions présentes. La méthode employée est dite méthode de Meriaux ou analyse granulométrique par densimétrie (Sefrioui et al, 1975), basée sur le phénomène de variation dans le temps de la densité du mélange.

Les échantillons sont traités par le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) pour l'élimination de la matière organique, ensuite on effectue une dispersion des particules par un dispersant énergétique, tel que l'hexamétophosphate de sodium, par agitation mécanique et par traitement à l'appareil ultrason. Les mesures sont faites à l'aide d'un densimètre pour les

argiles et les limons fins. Quand aux sables fins et grossiers on les détermine par tamisage au moyen de tamis Afnor.

b) Les analyses chimiques:

- Le carbone organique

L'analyse du carbone organique au niveau du sol permet d'exprimer le pourcentage de la matière organique qui indique l'activité microbienne et la pédogenèse du sol. La méthode utilisée est dite méthode de Walkley & Black (1934) (in Sefrioui et al, 1975). Cette méthode consiste en une oxydation à froid du carbone organique par un mélange de bichromate de potassium en milieu sulfurique, l'excès de bichromate inutilisé dans la réaction est dosé par le sel de Mohr à 0,05 N. Les résultats sont exprimés en pourcentage du carbone organique. Le pourcentage de la matière organique s'obtient en multipliant celui du carbone par 1,72.

- Les bases échangeables

Les colloïdes négatifs du sol (argile et matière organique) ont la propriété de fixer des cations tels que, Na^+ , K^+ , Mg^{++} , Al^{+++} susceptibles d'être libérés dans la solution du sol par échange avec un autre cation. La richesse en bases joue un rôle essentiel dans la nutrition minérale des plantes.

On définit une base échangeable comme étant le nombre de méq/100g de cet élément considéré fixé sur le complexe d'échange.

L'extraction des bases se fait à l'aide d'une solution neutre d'acétate d'ammonium 1N, puis on procède par une agitation (20 minutes); une centrifugation (5 minutes) et une filtration. Le dosage se fait à l'aide d'un appareil d'absorption atomique (GBC 906.AA) les résultats sont exprimés en méq/100 de chaque élément.

2-2 Résultats obtenus et Analyses

Localisation

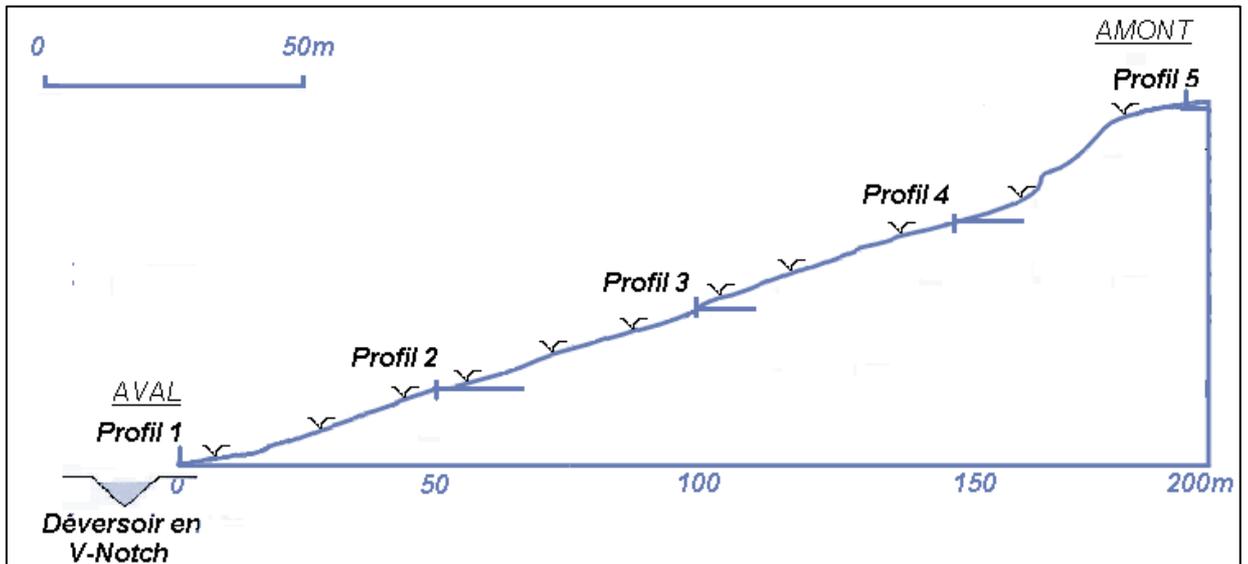


Figure 13: schéma représentatif des profils sur le site

Les 5 profils sont développés sur des collu-alluvions.

Profil 1 : Situé en bas de la séquence, pente de 5 %

Profil 2 : Situé au quart inférieur de la pente, pente de 25%

Profil 3 : Situé 50 m en amont du profil 1, pente de 30%

Profil 4 : Situé 50 m en amont du profil 2, pente de 25%

Profil 5 : Situé en haut de la séquence, pente de 15%

2-2-1. Description des profils :

a) Profil n°1 :

- Description :

Couverture pédologique continue épaisse d'origine alluviale en voie d'érosion. Forêt claire de Thuyas en bon état. Quelques graviers de plaquette de schistes en surfaces, croûte structurale, couverture herbacée de 20%, localisation 80%.

- profil pédologique

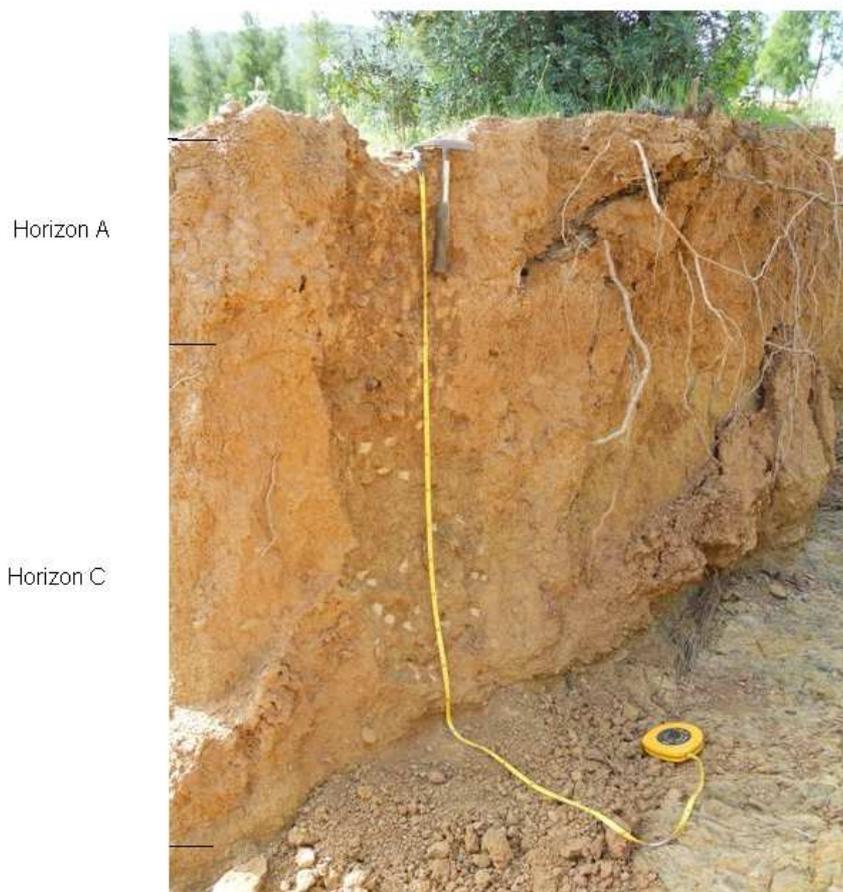
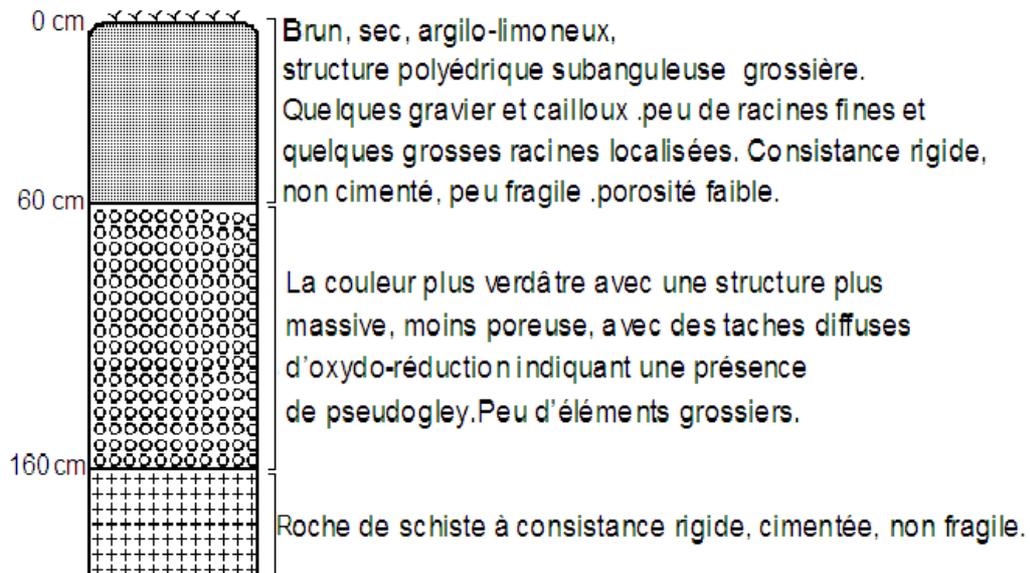


Photo 5 : Profil 1

- Composition

Les résultats obtenus pour les analyses granulométriques et chimiques du profil 1, sont regroupés dans le tableau 8 :

Profil 1		Horizon A	Horizon C
Profondeur		0-160 cm	>160 cm
Argile %		32,63	19,2
Limon	Fin %	34,34	28,32
	Grossier %	8,56	2,42
Sables	Fin %	5,08	4,27
	Grossier %	18,78	45,26
Carbonne %		1,32	2,54
Ca mg/kg		32	25,5
Mg mg/kg		4,5	24
K mg/kg		2	5
Na mg/kg		1,5	62,5

Tableau 8: Analyse physico chimique des sols du micro bassin de sidi Sbea profil 1

- Au niveau de l'horizon superficiel (A), on remarque que le taux des sédiments fins et d'argile est élevé, par contre il est faible au niveau de l'horizon C.
- La matière organique et les éléments Mg, k, Na sont très abondants au niveau de l'horizon (C) qui est en profondeur, alors que le pourcentage de Ca au niveau de l'horizon A est supérieure à celui de C. Ces résultats sont expliqués par le phénomène de l'érosion

b) Profil 2 :

- Description :

Couverture pédologique continue peu épaisse d'origine colluviale en voie d'érosion. Forêt de Thuyas avec une prairie herbacée à 100% de recouvrement par tâches.

- Profil pédologique :

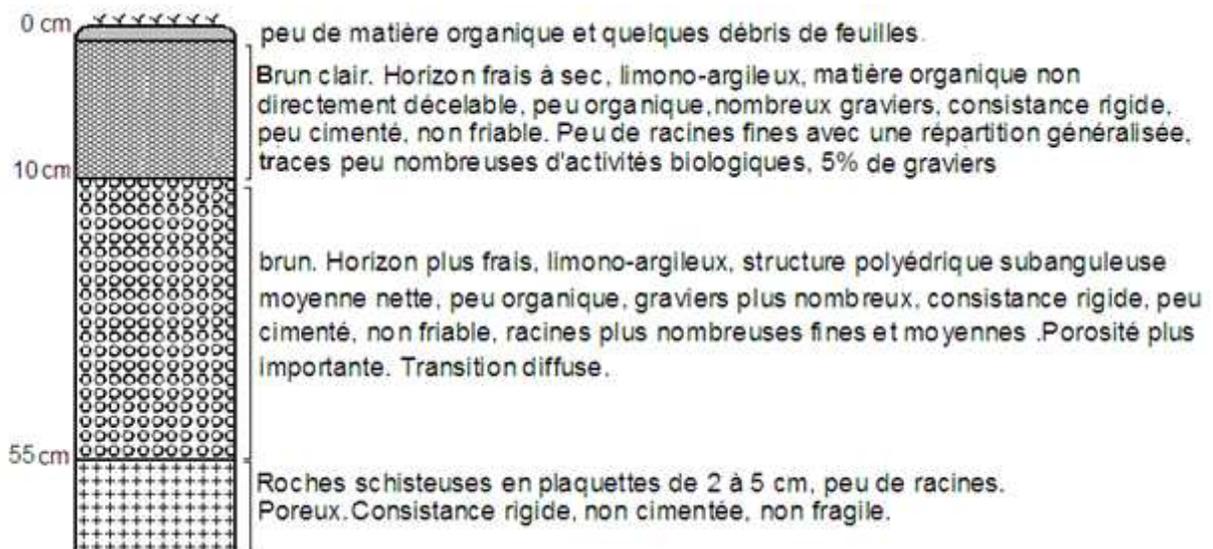


Photo 6 : Profil 2

Les résultats obtenus pour les analyses granulométriques et chimiques du profil 2, sont regroupés dans le tableau 9:

Profil2		Horizon A ₀	Horizon A ₁	Horizon C
Profondeur		0-10cm	10-55 cm	>55 cm
Argile %		19,88	35,3	47,94
limon	Fin %	35,82	6,83	5,6
	Grossier %	8,74	16,54	13,06
sables	Fin %	13,54	9,16	6,95
	Grossier %	21,93	30,25	15,3
Carbone %		0,81	1,52	1,32
Ca mg/kg		19,5	22	26,5
Mg mg/kg		4	5,5	4
K mg/kg		2	1,5	1,5
Na mg/kg		1	1,5	4

Tableau 9 : Analyses physico chimiques des sols de Sidi Sbea profil 2

La quantité des argiles augmente en profondeur, de même que les limons grossiers, la concentration des éléments minéraux et le carbone ; ces derniers peuvent être expliqués soit par le phénomène de lessivage vertical vers les horizons profonds soit par l'érosion selon la pente vers le bas de séquence.

c) Profil 3 :

- Description :

Profil représentatif de la forme morphologique, couverture pédologique continue peu épaisse d'origine colluviale en voie d'érosion. Forêt très claire de Thuyas avec une surface nue de 80% de graviers en plaquettes par tâches.

- profil pédologique

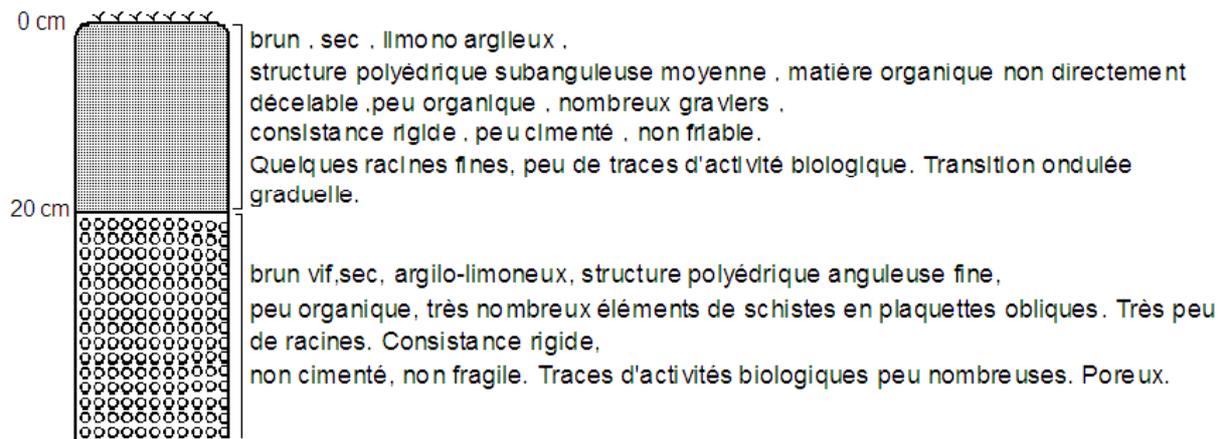


Photo 7 : Profil 3

Profil3		Horizon A	Horizon C
Profondeur		0 à 20 cm	>20 cm
Argile %		43,77	47,94
Limon	Fin %	14,63	6,83
	Grossier %	18,12	16,54
Sables	Fin %	11,53	9,16
	Grossier %	11,90	30,25
Carbonne %		1,42	1,32
Ca mg/kg		26	26,5
Mg mg/kg		3,5	4
K mg/kg		1,5	1,5
Na mg/kg		2	4

Tableau 10 : Analyses physico chimiques des sols du microbassin Sidi Sbea profil 3

- La quantité des argiles, augmente en se dirigeant vers la profondeur, par contre la quantité des limons fins et des sables fins diminue en s'éloignant de la surface du profil

-Pour la matière organique, elle est importante dans l'horizon superficiel A, et diminue dans l'horizon

- les éléments minéraux ; Na, Ca, Mg sont abondants en profondeur.

d) profil 4 :

Description :

Profil représentatif de la forme morphologique, couverture pédologique continue peu épaisse d'origine colluviale en voie d'érosion. Forêt très claire de Thuyas avec une végétation herbacée claire (10% de recouvrement). Nombreux graviers de plaquettes de schistes en surface.

Profil pédologique :

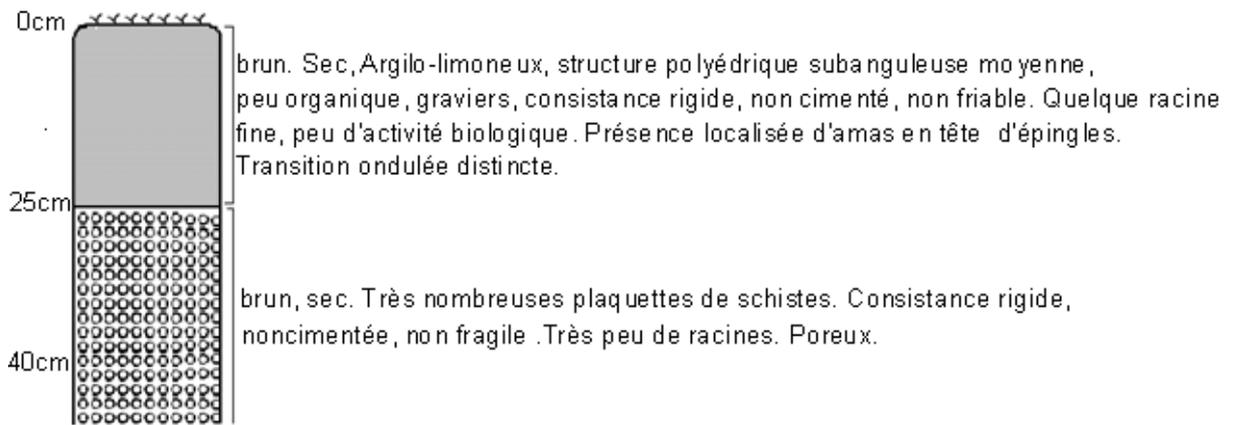


photo 8 : Profil 4

Les résultats obtenus pour les analyses granulométriques et chimiques du profil 4, sont regroupés dans le tableau 11:

Profil 4		Horizon A	Horizon C
Profondeur		0-25 cm	>40 cm
Argile %		42,71	15,91
limon	Fin %	3,31	38,61
	Grossier %	24,7	4,69
sables	Fin %	7,01	7,57
	Grossier %	21,78	33,12
Carbonne %		1,22	0,91
Ca mg/kg		25,5	39,5
Mg mg/kg		8	23
K mg/kg		2,5	4,5
Na mg/kg		4	54 ,5

Tableau 11 : Analyse physico chimique des sols du micro bassin de sidi Sbea profil 4

La partie superficielle contient un taux élevé d'argiles et de matière organique, et la partie profonde contient plus d'éléments minéraux que celle de l'horizon (A).

e) profil 5 :

- Description:

Profil représentatif de la forme morphologique, couverture pédologique continue peu épaisse d'origine colluviale en voie d'érosion. Forêt de Thuyas en bon état, oléastres lentisques pistachiers. Avec une végétation herbacée à 80% de recouvrement. Quelques graviers de plaquettes de schistes en surface.

- Profil pédologique:

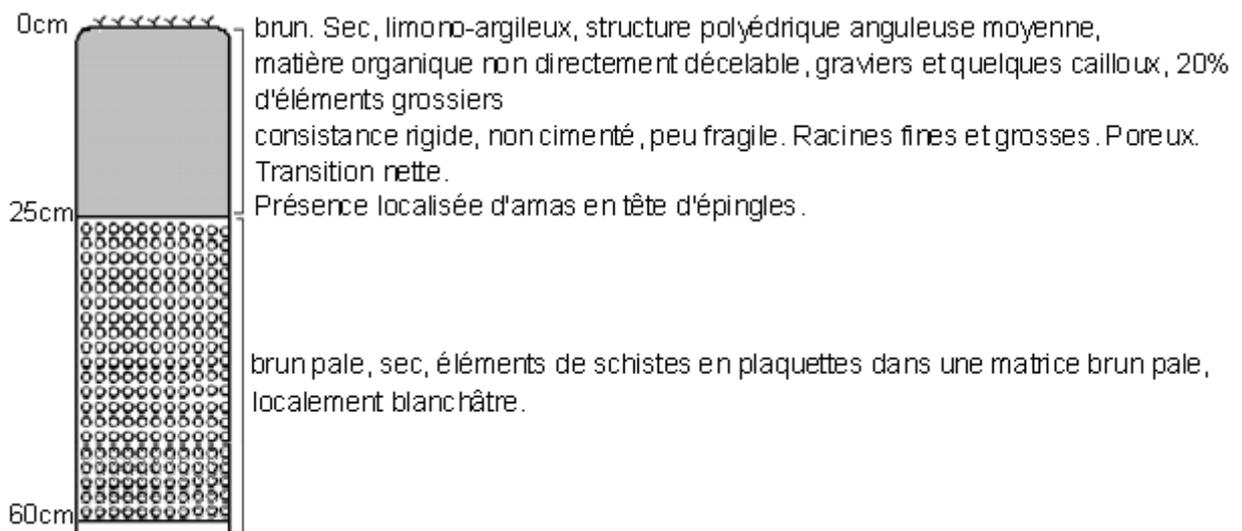


Photo 9 : Profil 5

Les résultats obtenus pour les analyses granulométriques et chimiques du profil 5, sont regroupés dans le tableau 12:

Profil5		Horizon A	Horizon C
Profondeur		0 - 25 cm	25 – 60 cm
Argile %		30,19	15,91
Limon	Fin %	39,69	38,61
	Grossier %	7,22	4,69
Sables	Fin %	6,43	7,57
	Grossier %	15 ,48	33,12
Carbonne %		1,32	0,91
Ca mg/kg		59,5	39,5
Mg mg/kg		9	23
K mg/kg		3,5	4,5
Na mg/kg		6	54 ,5

Tableau 12: Analyse physico chimique des sols du micro bassin de sidi Sbea profil 5

- Les argiles et La matière organique, sont très abondantes dans la partie superficielle.
- La quantité d'éléments minéraux est importante dans l'horizon C, causé peut être par le lessivage ou l'érosion selon la pente.

La matière organique et la matière minérale sont abondantes malgré la position du profil qui est en haut de la pente, car cette dernière est faible., mais cette abondance reste moyenne devant les autres profils, donc on peut dire que la pente influence l'érosion.

2-2-2Détermination des paramètres du facteur K :

a) Texture du sol :

La composition texturale du sol est déterminée à l'aide du triangle des textures. Les résultats sont représentés dans la figure 14

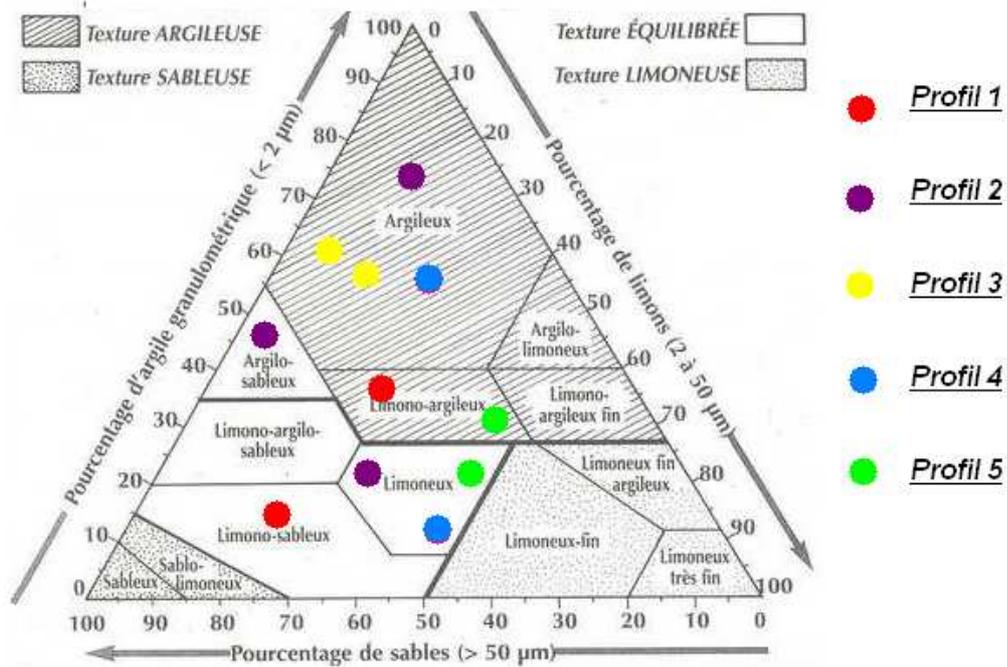


Figure 14 : Triangle des textures

Une fois que le type de sol est connu, le tableau 13 regroupe les grandes tendances des types de sol au niveau des différents profils avec leurs caractéristiques, :

		Argiles	Sables	Limons	Texture
profil 1	A	32,63	23,86	42,9	L. a
	C	19,2	49,53	30,74	L.s
Profil 2	A ₀	19,88	35,47	44,56	L
	A ₁	35,3	39,41	23,37	A.s
	C	47,94	22,25	18,66	A
Profil3	A	43,77	23,41	32,75	A
	C	47,94	39,41	23,37	A
Profil 4	A	42,71	28,79	28,01	A
	C	15,91	40,69	43,3	L
Profil 5	A	30,19	21,91	46,91	L.a
	C	15,91	40,69	43,3	L

Tableau 13 : Texture des sols obtenus au niveau des différents profils

L. a : limoneux argileux

A : argileux

L : Limoneux

L. s : limoneux sableux

A. s : argilo-sableux

Les résultats du tableau indiquent que les argiles et les limons sont les plus abondants donc la texture du sol est argileuse-limoneuse.

Cette texture de sol a plusieurs inconvénients comme le tassement en conditions humides avec une prise en masse importante et un travail du sol compliqué, sans oublier le phénomène de battance due à la présence de quantités importantes d'argiles et de limons ce qui favorisera l'érosion.

La texture du sol va nous permettre de déterminer le code de perméabilité.

b) Code de perméabilité :

Rawls et al (1982) ont établi un tableau qui désigne le code de perméabilité en fonction de la texture. Le tableau 14 donne le code de perméabilité en fonction de la texture du sol.

TEXTURE	CONDUCTIVITÉ HYDRAULIQUE SATURÉE IN/H	CODE DE PERMÉABILITÉ	DESIGNATION DE LA CLASSE DE PERMEABILITE
Limono-argileux, Argile	< 0,04	6	Très lente
Limono-argileux terreux, sable argileux	0,04 – 0,08	5	Lente
Sable, argile terreux, argile limon	0,08 – 0,2	4	Lente à modérée
Terreau, limon	0,2 – 0,8	3	Modérée
Limoneux et sablo-limoneux	0,8 – 2,4	2	Modérée à rapide
Sable	> 2,4	1	Rapide

Tableau 14 : Classes et codes de perméabilité (Rawls et al (1982)).

Dans notre cas, le sol du site de sidi Sbea est constitué d'argiles et de limons, ainsi, le code de perméabilité retenu est le code 3 correspondant aux sols à drainage modéré.

c) Classe de structure

Wischmeier, 1978 a établi un tableau de classification des différentes classes de structures en fonction de la dimension des éléments structuraux constituant le sol en appropriant un code à chaque classe.

Code	Classe	Dimension des éléments structuraux
1	Granulaire très fine et grumeleuse très fine	<1 mm
2	Granulaire fine et grumeleuse très fine	1 à 2 mm
3	Granulaire moyenne à grossière, grumuleuse moyenne	2 à 5 mm
4	Structure massive ou en bloc, lamellaire, prismatique, collumnaire, polyédrique et granulaire très grossière.	5 à 10 mm

Tableau 15 : classification de différentes classes de structure d'après (Wischmeier, 1978)

Les échantillons prélevés sont constitués de particules granulaires moyennes à grossières, grumuleuses donc le code approprié à cette classe de structure est 3.

d) Calcul du facteur d'érodabilité K :

Pour la détermination du facteur K l'équation utilisée est celle de Wishmeier, elle est de la forme :

$$k = (2.1 \cdot M^{1.14} (10^{-4}) (12-a) + 3.25(b-2) + 2.25(c-3)) / 100$$

a : pourcentage de matières organiques

b : code de structure des sols utilisé dans la classification des sols

c : classe de perméabilité des profils

M : (pourcentage de limon + sable très fin x (100 - pourcentage d'argile))

Le tableau16 résume les résultats de calcul du facteur k :

Profil	% de C	% de M.O	% de limons	% de sable	% de d'argiles	M	K
1	1,32	2,2704	42,9	23,86	32,63	4497,6212	0,33084225
2	0,81	1,3932	23,37	39,41	35,33	4059,9826	0,32191513
3	1,42	2,4424	32,75	21,91	43,77	3073,5318	0,22237821
4	1,22	2,0984	28,01	28,79	42,71	3254,072	0,24243828
5	1,32	2,2704	46,91	21,91	30,19	4804,3242	0,35414374

Tableau 16 : résultats de calcul du facteur K pour les différents profils

Les valeurs du facteur d'érodabilité (K) doivent être comprises entre 0,1 et 0,5 (Wischmeier, 1962; Wischmeier et al, 1971).

Les valeurs de 0,5 correspondent à des sols instables riches en limons, alors que les valeurs de 0,1 caractérisent des sols stables riches en sables et fractions grossières.

Les résultats montrent que les valeurs du facteur K obtenues pour les différents profils étudiés sur le site de Sidi Sbea tendent vers 0,3 ce qui indiquent qu'il s'agit de sol moyennement instable et riche en fractions moyennes,

L'ensemble des résultats obtenus montre que ce sol est vulnérable à l'érosion, sa texture argilo limoneuse, son drainage modéré, et sa richesse en fractions moyennes la rendent favorable. Ce qui nécessite la réalisation des techniques d'aménagement convenables à ce type de sol.

CHAPITRE IV : TECHNIQUES D'AMÉNAGEMENT DANS LE BASSIN VERSANT D'OUED EL MALLEH

Les méthodes d'aménagement des bassins versants sont classées en 3 grands groupes :

- Les méthodes de conservation du sol
- Les méthodes de gestion de l'eau
- Les techniques culturales

Ces 3 grands groupes reposent sur 2 grands types d'intervention :

- Intervention de type mécanique :

Elles ont un effet sur la torrencialité et l'énergie du transport du réseau, permettent de bloquer les éléments grossiers transportés par charriage, empêcher les sédiments de transiter vers la retenue du barrage par le piégeage de ces derniers dans des petits barrages, l'aménagement du réseau hydrographique, la stabilisation des lits alluviaux, la correction des ravins etc....

- Interventions de type biologique :

Elles ont pour but d'agir sur les processus de production de sédiments grâce à l'aménagement biologique de surface de plus grande érodabilité. Ce sont des combinaisons de techniques de l'aménagement agricole, pastoral et forestier. Elles permettent de mettre en place le couvert végétal et le mode d'utilisation des sols réduisant au minimum leur érodabilité.

Les techniques d'aménagements utilisées dans la région du bassin versant d'Oued El Malleh en fonction des 3 grands groupes cités ci dessus sont comme suit :

LA GESTION DE L'EAU :

Les micro- barrages perméables :

Ils ont pour but de ralentir les eaux de ruissellement dissiper leur énergie et de les étaler, ils demandent moins de travail ralentissent l'érosion hydrique et bloquent l'érosion mécanique sèche on cite :

Murettes en pierres sèches :

Les murettes en pierre sèche (pratiques très anciennes), forment des obstacles au ruissellement. Elles sont confectionnées par des pierres sèches alignées et empilées le long

des courbes de niveaux L'écartement entre les murettes est en fonction de la pente du terrain et de la hauteur des murettes, elles sont consolidées dans certains cas par des arbres et des arbustes..

Cordons en pierres sèches :

Ce sont de petits murets en rangées de pierres sèches empilées et alignées selon les courbes de niveau de dimension plus petites que les murettes. Ils nécessitent une consolidation biologique par des plantes telles que le jujubier, l'agave, les cactus... dans le but de piéger les sédiments (Merzouk et al,1999).



Photo 10 : Cordons en pierres cimentées

Haies vives :

Elles consistent en la plantation d'arbre ou d'arbustes tels que le jujubier, l'agave, les cactus..., les agriculteurs visent à travers l'installation de ces haies surtout la délimitation des propriétés et leurs protections contre l'intrusion des animaux. En revanche cette technique s'est avérée efficace contre l'effet du ruissellement.



Photo 11 : technique traditionnelle d'aménagement exemple de murettes en pierres renforcées de cactus

Seuils en gabion :

Cette technique permet d'assurer la protection des berges et des Oueds cultivés généralement en seuils de 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, ces seuils sont très recommandés pour les terres argileuses et marneuses car ils se prêtent avec une certaine souplesse aux affouillements et aux mouvements du sol. En chantier, les gabions sont assemblés et reliés 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. Ces seuils permettent une bonne stabilisation des berges et l'écêtement des crues.

Au vu de ces techniques mises en œuvre dans le cadre du projet d'aménagement du bassin versant d'Oued El Malleh, il a été décidé par le service du Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification d'opter pour la correction des ravins à l'aide des seuils en gabions et en pierres sèches.

CONCLUSION

Cette étude nous a permis d'identifier une des principales formes d'érosion dans la région du bassin versant d'oued El Malleh qui est essentiellement l'érosion linéaire ainsi que les facteurs et paramètres régissant ce phénomène.

Le micro bassin de Sidi Sbea le plus vulnérable à l'érosion a fait objet de notre étude. Ce choix s'est basé sur des critères tels que la densité du réseau hydrographique, la lithologie ainsi que l'ampleur des surfaces touchées par l'érosion.

Les cinq profils sont situés sur une pente de 200m, cette dernière constitue un facteur important favorisant l'érosion, qui s'explique par la richesse des profils en bas de séquence en matière organique et minérale résultante du dépôt des sédiments érodés par ruissellement, tandis que les profils en haut de séquence sont faibles en ces matières.

L'analyse du sol des cinq profils prélevés nous a permis le calcul du facteur d'érodabilité K qui constitue l'un des paramètres de la formule de perte en terre de Weischmeier la valeur obtenue pour le micro bassin de Sidi Sbea indique qu'il s'agit de sol moyennement instable et riche en fractions moyennes

Cette analyse a aussi montré que le sol de ces profils présente une texture argilo-limoneuse avec une proportion élevée en limon qui le rend friable et favorise l'érosion et la battance. Il a été constaté que les sols à couverture végétale dense à base de thuya sont très filtrants et peu ruisselants, affaiblissent l'énergie des gouttes de pluie avant d'entrer en contact avec le sol et fournissent des voies pour l'infiltration d'eau par les racines des plantes ce qui augmente ainsi la proportion de matière organique qui joue un rôle majeur dans la stabilité de la structure du sol et donc favorise la porosité. Par contre, les terrains nus, situés notamment sur les versants à exposition Est présentent les plus faibles proportions de matière organique.

Parmi les techniques d'aménagement mises en œuvre dans le bassin versant d'Oued El Malleh, il a été décidé par le service du Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification d'opter pour la correction des ravins à l'aide des seuils en gabions et en pierres sèches

Perspectives

En perspective il serait souhaitable de constituer une base de données sur le site intégrant des données multi sources (données de télédétection et données cartographiques diverses) constituant une monographie du bassin versant de l'Oued El Malleh qui serait utile dans les prochaines phases du projet, pour l'élaboration d'un plan d'aménagement fiable et précis. Ainsi que L'exploitation des techniques de télédétection, en tant que mode d'acquisition de données, et celles des systèmes d'information géographique (SIG), pour la gestion et l'analyse des données. Ceci permettra d'améliorer la connaissance des divers phénomènes concernés, et améliorera fortement la qualité des études et aménagements, tout en permettant des gains du temps considérables

Références bibliographiques

- Beaudet G. 1969 : Le plateau centrale marocain et ses bordures. Imprimeries Française, et Marocaine Rabat.
- Direction régionale des eaux et forets. 2008 : Rapport interne.
- El majoudi, A. 2008 : Rapport interne Haut Commissariat des Eaux et Foret et Lutte contre la Désertification.
- Haut Commissariat des Eaux et Foret et Lutte contre la Désertification.2008 : Rapport interne.
- Hjulström, F. 1935: Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyris. Bull. Geol. Inst. Uppsala, 25
- Hundson (N.W), 1981. Soil conservation of the morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyties.Bull. Geol. Inst,Uppsala 25 : p.221-527
- Merzouk, A. Dahman,H.Abdellaoui, B et Houssa,R.1999 :Transformation des terres et son impact sur l'envasement du barrage Ibn Battota (Maroc Tangérois).publication de AS.AUPELF-UREF.Canada p 334-339.
- Nguyen,K. D. (1988) : modélisation numérique 2-d et 3-d de la circulation générale en milieux estuariens et cotiers : application à la Gironde,ph.D thesis,université de paris VI
- Plan national d'aménagement des bassins versants.1996 : Rapport interne.
- Rawls,W.J., B.D.C, Brakensiek, and K.E. Saxton., 1982: Estimation Of soil water properties.Trans. ASAE 25: 1316-1320.
- Remanieras G, 1976 : L'hydrologie de l'ingénieur. Eyrolles, Paris.
- Renard,K.D., G.R Foster, G.A Weeisies D.K.McCool, and D.C. Yoder., 1996. Predecting soil loss equation (RUSLE). USDA/ARS. ARG. AG. Handbook- 703.Waschintong.Dc.

- **Roose, E.1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau et de la fertilité des sols stratégie naturelle de lutte anti-érosive.G.C.E.S projet de bulletin des sols de la FAO,Rome, 210p.**
- **Sefrioui, M., Malezyr, B et contreinas, R., 1975. Méthodes d'analyses des sols. Laboratoire de chimie des sols. Direction de la recherche Agronomique. 59p**
- **TTOBA, 2004 : rapport n° 1 : milieu physique. Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et la Lutte Contre la Désertification –Direction Régionale des Eaux et Forêts du centre, Aménagement anti-érosif du bassin versant de l'oued El Malleh. 67 p.**
- **Walkey,I. Black, A.,1934.An Examination of chronic acid titration méthode.Soil Science p 29,28.**
- **Wischmeier, W.H.1962. –Stroms and soil conservation J. Soil water conserve,vol 17 p 55-59.**
- **Wischmeier, W.H., CB. Johnson, and B.V.Cross.1971.A Soil erodability nomograph for farmland constructions sites .J .Soil water conserve. 26 : p 189-193**
- **Yacouba, H., 1999 : Effet des techniques traditionnelles de gestion des eaux sur la disponibilité hydrique des sols de glacis (article à paraître dans les annales de l'université de Niameux)**