



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة حسيبة بن بوعلي - الشلف

Université HASSIBA BEN BOUALI -CHLEF-

معهد العلوم الزراعية

L'institut des sciences Agronomiques

Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magistère

Spécialité : Hydraulique Agricole

Option : Irrigation et gestion des eaux

THEME :

*Etude de l'aspect qualitatif et quantitatif de la dégradation de sol
en fonction de différent système d'utilisation des terres dans le micro
bassin de Tefeless, Tenès.W.Chlef.
Aspect méthodologique et technique*

Présenté par : M^{lle} .MOKHTARI Fatima

Devant le jury :

| | | | |
|----------------|--------------------------|-------------------------|-------------|
| Président : | Mr. SAIDI Dj. | Professeur | UHB Chlef |
| Promoteur : | Mr. M'HAMMEDI BOUZINA M. | Professeur | UHB Chlef |
| Co-promoteur : | Mr. KESSAISSIA A. | Attaché de la recherche | INRF. Ténès |
| Examineurs : | Mr. BOUTHIBA A. | Professeur | UHB Chlef |
| | Mr. NABED N. | Maitre-assistant A. | UHB Chlef |

Année universitaire : 2012-2013

Remerciements

Avant tous, je remercie Dieu le tout puissant qui m'a guidé tout au long de ma vie, qui m'a permis de m'instruire et d'arriver aussi loin dans les études, qui m'a donné courage et patience pour traverser tous les moments difficiles, et qui m'a permis d'achever ce travail.

*Je remercie également, **Mr. M'HAMMEDI BOUZINA M.** (professeur à l'université de Chlef) d'avoir accepté de diriger mon travail;*

*Un grand Merci aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail: **Mr. SAIDI D.** (professeur à l'université de Chlef), **Mr. BOUTHIBA A.** (Professeur à l'université de Chlef) et **Mr. NABED A.** (Maître assistant A. à l'université de Chlef); et **KESSAISSIA A.** (chargé de recherche à l'INRF, Ténès)*

*Un merci particulier à **Mr. ABABOU A.** (maître assistant à l'université de Chlef), à **Mr. HACHEMI T.** (chef de station de l'ONM de Chlef), **Mr. ABDEL FETTAH J.** (Ex-responsable à la DHW de Chlef) et **Mr. TENAFER B.** (responsable à l'ABH-CZ) pour l'aide qu'ils m'ont fourni ;*

*Ma reconnaissance va aussi vers ma **promotion de Magistère 2009/2010** options: irrigation et gestion de l'eau, et aussi vers ceux et celles qui m'ont prodigué un soutien moral ou scientifique ;*

*Mes vifs remerciements à toute **ma famille** en particulier **mes parents** qui m'ont accompagné dans ce long parcours, j'espère seulement être à la hauteur des sacrifices qu'ils n'ont cessé de consentir.*

Liste des abréviations utilisées

ABH -CZ: Agence du Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez

ANRH : Agence nationale des ressources hydrauliques;

BPCDG: Break Point Climate Data Generator

DHW : Direction d'hydraulique de la Wilaya de Chlef

DPAT : Département de planification et d'aménagement du territoire

ENVI : Environnement for Visualizing Images

F : Forêt de Pin d'Alep,

FAI : Forêt après incendie,

LPB : Laboratoire de la Pédologie, Bainem (Alger)

MBV : Micro bassin versant;

NDVI : Normalized Difference Vegetation Index

ONM : Office national de la météorologie

ROI : Régions d'entraînement

TM : Thematique mapper

WEPP: Water erosion prevision project

ZM: Zone mixte

المخلص:

ترتكز دراسة هذه المذكرة حول أسباب تدهور الوسط الفيزيائي للحوض الصغير تيفلاس الذي ينتمي للحوض الهيدروغرافي الساحلي الظهرة و الذي يتربع على مساحة قدرها 24 Km^2 و يتميز بمناخ شبه جاف ,حيث تهدف إلى معرفة تغيرات الغطاء النباتي بالاستعانة بمعامل النبات (NDVI) و دراسة ما ينجم عن التعرية و كذلك أهمية صور القمر الصناعي و قدرة نماذج الانجراف لحساب كمية التربة المنجرفة إذ اعتمدنا على المحورين التاليين:

-دراسة كيفية: قمنا باستعمال صور القمر الصناعي لدراسة تغيرات الغلاف النباتي في ثلاث أماكن ممثلة للحوض (منطقة مختلطة,منطقة بعد الحريق و منطقة غابة) خلال المدة 1987-2011 و تأثير التساقط عليها. استنتجنا توسع مناطق الأحرش و النباتات المستخلفة (580 ha) في حين تراجع مساحة الغابات (500 ha)

-دراسة كمية: باستعمال نموذج الانجراف (WEPP) قمنا بتقييم كمية التربة المنجرفة خلال المدة 2000-2009 حيث استخلصنا أن المناطق المختلطة هي الأكثر تضررا ($5,4 \text{ Kg/m}^2$) مقارنة للمنطقتين الأخرتين و هذا راجع للأمطار غير المنتظمة ,قلة النبات و كذلك بسبب الإنسان.

بينت النتائج المتحصل عليها أهمية تحديد مختلف عوامل التعرية و أهمية عملية التهيئة و حماية التربة.

الكلمات المفتاح: عامل النبات,NDVI, التساقط, التعرية, دراسة كمية و كيفية, الحوض الصغير تيفلاس.

Introduction générale

La ressource en eau dans les pays méditerranéens constitue le facteur limitant pour tout essor économique, à cet effet, la connaissance de l'adéquation entre les conditions hydrologiques et la disponibilité en eaux superficielles et souterraines est une étape fastidieuse mais indispensable pour tout plan de développement. Au delà d'un modèle prévisionnel orienté vers les besoins immédiats de gestion, il y a lieu d'envisager une approche méthodologique et technique permettant de décrire et de quantifier les mécanismes de recharge et décharge des aquifères en milieux semi-arides caractérisés par un régime pluviométrique irrégulier (**Achour et al., 1998**).

L'érosion est l'une des problématiques environnementales majeures des zones méditerranéennes caractérisées par climat semi-aride qui entraîne un déséquilibre dans les interactions dynamiques entre plusieurs éléments dans l'écosystème : La fragilité du milieu, l'ampleur du phénomène de déperdition des sols et des ressources naturelles, les risques d'inondations, la détérioration des conditions socioéconomiques (**Le Bissonais et al, 1998**). C'est un état qui s'installe sous les effets conjugués des modifications climatiques et des activités humaines appliquées à des sols fragiles ; en effet, ces modifications ont des implications directes sur la disponibilité des ressources naturelles. Malheureusement, force est de constater, le désintéressement des populations locales notamment les exploitants agricoles qui sont restés indifférents aux différentes formes de dégradation et qui, par endroit ont contribué eux-mêmes d'une manière directe ou indirecte à son accentuation par des pratiques culturelles inappropriées.

L'Algérie, pays vaste, connu par ses chaînes montagneuses couvertes par des forêts denses, entité écologique qui se distingue dans son contexte actuel par sa vulnérabilité, sa fragilité, l'absence quasi totale d'applications d'aménagements et d'opérations d'amélioration sylvicoles et surtout une pression humaine et animale importante effrénée. Cet écosystème subit au fil du temps diverses formes de dégradations où les incendies occupent une part importante, les statistiques fournies par les services des forêts concernant la régression du couvert végétal estiment que $4 \cdot 10^6$ ha de la superficie totale est fortement dégradée.

Quant à l'érosion en Algérie, c'est un phénomène très grave qui affecte durement le patrimoine foncier. Elle touche 45% des zones telliennes soit 12 millions d'hectares. Malgré les moyens et les efforts consentis par les autorités pour arrêter la dégradation des terres, les barrages continuent à être envasés, une réduction de 11% de la capacité initiale de stockage était liée à l'envasement des barrages depuis leurs constructions, (**Chebbani et al, 1999**), les

versants et les plaines lacérées par les ravines induisant une squelettisation des sols et une chute croissante des rendements.

Avec cette situation, un grand nombre d'applications nécessitent une gestion optimale des ressources naturelles, telles que l'aménagement sylvicole, le contrôle des crues et des inondations pendant les fortes pluies occasionnelles, l'étude des zones à versants instables et à risque de glissement de terrain, l'étude de l'érosion, ... etc. La réalisation de ces travaux sans faire appel aux technologies modernes de collecte et de gestion de l'information demanderait un effort humain considérable, un coût financier exorbitant et des délais prohibitifs. Il est donc primordial de disposer de systèmes d'information spatialisés pour appréhender le fonctionnement hydrique et végétal aux échelles permettant la prise de décision par les gestionnaires.

Notre travail s'inscrit dans cette démarche, il s'intéresse à la dégradation spatio-temporelle du couvert végétal et à l'estimation de l'érosion hydrique dans le Micro Bassin versant de Tefeless, en suivant deux approches complémentaires :

La première est qualitative basée sur l'analyse diachronique du l'indice de végétation NDVI pour détecter la variation du couvert végétal, et la deuxième est quantitative basée sur l'estimation de l'érosion hydrique à l'aide d'un modèle de simulation à base physique (WEPP). Afin de pouvoir aborder ces deux aspects la démarche adoptée pour mener à bien cette étude est la suivante : Chapitre I présente un bilan de connaissance sur la dégradation des sols ; un deuxième chapitre définit le milieu naturel ; dans le troisième et quatrième chapitre on a tenté d'étudier respectivement l'aspect qualitatif et quantitatif de la dégradation des sols dans le MBV de Tefeless ; puis on finira par une conclusion générale.

*Chapitre I:
Bilan de connaissance
sur la dégradation des sols*

Introduction

La pression humaine excessive, se traduisant par des pratiques culturales et autres activités destructrices ou polluantes ne peut qu'aggraver cette dégradation des sols dont le couvert végétal se réduit d'année en année. La cause directe de l'érosion est la destruction généralisée de la couverture végétale, en particulier celle de la forêt naturelle, avec le climat et le sol.

Comme il est connu, l'érosion est un phénomène naturel très répandu dans le monde lors duquel le sol et les roches situés dans les plus hautes parties du relief du terrain se dégradent, se transportent et s'accumulent sur les parties basses du versant. L'érosion, fait partie du processus général de la dénudation dont l'action est orientée vers la nivelassions de la surface terrestre. On différencie l'érosion par d'autres processus de dénudation du fait même qu'elle se réalise sous l'action de milieu mobile eau ou vent d'où provient la dénomination : érosion hydrique et érosion éolienne. (Roose et al., 1993; Le Bissonnais et al., 2004; Antoni et al., 2006) .

1 Les systèmes érosifs, mécanismes et dégâts occasionnés:

1-1 Érosion :

L'érosion est définit comme étant l'usure de la surface du sol par des phénomènes naturels comme le vent et le ruissellement de surface. Il s'agit d'un processus continu, mais il peut être accéléré si des mesures de contrôle ne sont pas instaurées. À l'instar du ruissellement de surface, l'érosion laisse des sédiments et des éléments nutritifs malsains s'introduire dans nos sources d'eau potable (Gisler et al., 2011).

1-1-1 Erosion hydrique :

Selon Cros-Cayot, (1996 in Le Bissonnais et al, 1998), « L'érosion des sols par l'eau se développe lorsque les eaux de pluie, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent sur la parcelle en emportant les particules de terre. Ce refus du sol d'absorber les eaux en excédent apparaît soit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol, soit lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée par une nappe ».

L'érosion peut se diviser en deux types :

- a- Erosion géologique ;
- b- Erosion accélérée.

Erosion géologique : C'est un processus lent qui contribue à user la surface du globe, par l'altération qui résulte de la présence d'une couche atmosphérique autour de la terre. Les agents qui favorisent cette altération sont : l'eau de pluie qui tombe et ruisselle sous l'action de la pesanteur, le vent, les variations de température et de teneur en eau du sol .

D'après **Gil (1986 in Roose, 2010)**, l'érosion géologique est un phénomène naturel, et en l'absence d'intervention humaine, il y a généralement équilibre entre érosion, pédogenèse et fertilité des sols. **Tecsut (2006 in Abdelbaki, 2007)**, a défini ce type comme étant « un processus naturel d'équilibrage du relief qui aplanit inexorablement les collines et les montagnes et remplit les vallées et les lacs ».

Erosion accélérée : C'est le résultat de la perturbation de l'équilibre naturel sol et végétaux adaptés par les populations à travers le surpâturage, la surexploitation des ressources forestières, l'agriculture, les travaux de constructions..., permettant aux agents atmosphériques d'enlever plus de terre arable qu'il ne s'en reforme .

L'érosion accélérée entraîne un apport massif de sédiments, les particules les plus grossières, parmi lesquelles de très nombreux agrégats se sont déposés au pied des versants, tandis que les particules les plus fines étaient entraînées en suspension dans l'eau vers les oueds et les barrages (**Chebbani et al., 1996**).

Qu'elle soit géologique ou accélérée, l'érosion se produit en deux phases : le déclenchement des particules de surface du sol (altération) et leur déplacement des versants aux oueds (transport).

Heuch (1982), a dit qu'il faut à l'érosion géologique entre 20 à 200 millions d'années pour raboter une chaîne de montagne. Les mesures de transport en Afrique du Nord montrent que le taux d'abrasion sont de l'ordre de $10 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$, c'est-à-dire qu'au rythme actuel 50 fois plus fort que la normale, et l'érosion accélérée aura besoin de moins d'un million d'années pour raboter une tranche de terre de 100 m, faire disparaître la plupart des sols agricoles qui sont des sols hérités du dernier pluvial, et réduire le Maghreb à l'état de pénégline.

L'érosion des sols consiste en un détachement et un transport des particules du sol sous l'action en général combinée de la pluie et du ruissellement, lié à des facteurs naturels et anthropiques difficilement maîtrisables, évolutif aussi bien dans l'espace que dans le temps, affecte beaucoup les infrastructures hydro-agricoles, de telle sorte qu'il est parfois quasiment impossible d'y remédier (**Touaïbia et al., 1999**). Si le détachement par rejaillissement sous

l'impact des gouttes de pluie (effet splash) et la capacité du transport sont faibles, alors l'ablation du sol est limitée puisqu'il y a formation progressive d'une croûte de battance en surface, et lorsque le ruissellement se concentre, des griffures, rigoles et ravines apparaissent. Il s'agit de forme d'érosion se combinant dans le temps et dans l'espace, elles sont liées aux processus de formation du ruissellement, de détachement et de transport des particules, ce qui explique l'intervention dans ce phénomène de la pluie, du sol, du relief et de la couverture végétale.

1-1-2 Les formes d'érosion hydrique :

Les différentes formes d'érosion se distinguent par le caractère diffus ou concentré du ruissellement et l'agent d'arrachement des particules solides : les gouttes de pluie ou le ruissellement lui-même.

1-1-2-1 Érosion en nappe (sheet erosion) :

C'est l'érosion élémentaire du sol, l'écoulement uniforme – ou non concentré (diffus)– de l'eau sur la surface du sol peut arracher et entraîner des particules fines qui sont alors transportées vers l'aval du bassin versant. On qualifie cette érosion d'érosion « en nappe ». À cause de son caractère diffus, ce type d'érosion est difficilement détectable et se manifeste sur les pentes faibles où la végétation pousse difficilement (Miramon , 1997 ; Roose et Sabir , 2002), ou lorsqu'elle est en sur élévation par rapport à la surface. Il peut causer des pertes de sol importantes. Dans le MBV de Tefeless, ce type est remarquable (Fig. 01)



Figure 1: Erosion en nappe dans le MBV de Tefeless.

Tous les types de sol peuvent, à des degrés divers, être touchés par l'érosion en nappe. L'adoption de mesures préventives permet dans une large mesure d'éviter l'apparition de ce problème.

Les zones touchées par l'érosion en nappe sont identifiables par des rendements plus faibles et des teintes de sol plus pâles, ainsi que par des sites de déposition du matériel érodé quand des replats sont situés en aval. Les zones érodées présenteront une couche arable plus mince que les autres parties du champ, l'activité de la mésofaune et la macroporosité s'effondrent, la capacité d'infiltration diminue (**Roose et Sabir , 2002 ; Beaulieu et al., 2007**).

1-1-2-2 Erosion en griffes :

Dite aussi en rigoles, c'est une érosion caractérisée par l'apparition des minces filets formés au niveau du sol ayant l'aspect de griffes. Cette érosion est due au ruissellement des eaux de pluies, elle est fréquente généralement sur les endroits dépourvus de végétation (**Naimi et al., 1998**)

Ce type commence lorsque la pente favorise la concentration de l'eau. Elle forme des sillons dont la profondeur peut atteindre 10 à 20 cm. Le plus souvent, ces rigoles suivent les motifs de la topographie, notamment les fonds des vallonnements où la vitesse tractrice du ruissellement s'accélère avec la pente. Les travaux agricoles font parfois disparaître temporairement ces indices, mais l'emplacement des ravines ou des rigoles reste reconnaissable surtout sur les ruptures de pente où l'érosion régressive est très active. Sur les sols soumis aux passages fréquents des engins agricoles, le ruissellement suit de manière préférentielle les traces de roues (**Miramón , 1997**).

Kalman (1976, in Abdelbaki 2008, Naimi et al., 1998) ont pu conclure dans ses études au Maroc que les rigoles ne sont pas un facteur provoquant l'érosion mais ce sont des symptômes, car elles sont initialement petites et peu profondes.



Figure 2: Erosion en rigoles dans le MBV de Tefeless.

Ce type d'érosion est très répandu dans notre zone d'étude (Fig. 02).

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

1-1-2-3 Erosion en ravines :

Lorsque l'eau qui ruisselle prend de la vitesse et se concentre dans certains canaux d'écoulement, elle peut éroder des quantités de sol importantes dans ces canaux, créant ainsi des rigoles ou des ravines.

Cette forme intéresse les couches profondes du sol allant jusqu'à la roche mère, elle se manifeste par des ravines profondes supérieures à 0,50 m, on la rencontre au niveau des terrains inclut le long des oueds, on observe un creusement latéral continu rangeant les berges d'oueds.

Un examen de la surface du sol permettra de repérer les zones affectées, particulièrement après des périodes de fortes pluies ou à la fonte des neiges. La sélection de solutions appropriées passe par l'identification des causes du ravinement. L'apparition soudaine de ravinement peut résulter, entre autres, d'un changement d'utilisation du sol en amont ou de conditions météorologiques particulières. Au printemps, la faible capacité d'infiltration des sols gelés peut favoriser l'apparition de rigoles et de ravines dans les champs. (Roose et Sabir , 2002 ; Beaulieu et al., 2007).



Figure 3: Erosion en ravines dans le MBV de Tefeless.

La figure ci-dessus présente la forme d'érosion en ravines type tunnel dans le MBV de Tefeless.

A l'instar de l'érosion en nappe et érosion en rigoles et ravines déplace les sols sous forme de particules ou d'agrégats de façon lente, il existe cependant, des processus pouvant déplacer des blocs de sol de façon spontanée : les mouvements de masse et le sapement des berges.

1-1-2-4 Sapement des berges :

Tout comme les confluences, les berges de cours d'eau sont des zones où le risque d'érosion est élevé, en raison de la concentration du ruissellement et de la différence d'élévation entre les champs et les cours d'eau. Elle résulte de l'attaque par l'eau des matériaux du sol au niveau des berges et du lit d'oued. Ces eaux de pluie provoquent une chute en une masse de terre importante et un recul des rives.

Les zones de sapement et de déposition de sédiments dans les cours d'eau sont facilement repérables et permettent d'identifier les sections à stabiliser. **(Beaulieu et al., 2007).**

Quant à notre zone d'étude, cette forme est présente dans la partie centrale du MBV de Tefeless, le long d'oued de Tefeless (Fig. 04).



Figure 4: Sapement de berges dans le MBV de Tefeless.

1-1-2-5 Mouvement de masse :

C'est un glissement plus ou moins lent des couches superficielles de la couverture pédologique, généralement sans décollement ; c'est-à-dire que pendant le transport, le volume de matériau meuble bouge le long d'une pente sans désolidarisation des éléments composants. Ce phénomène s'observe assez généralement sur les pentes fortes grâce à la forme couchée des jeunes plants forestiers et à la forme en crosse de la base des arbres adultes. Dans les zones sylvopastorales; la circulation des animaux le long des versants peut également entraîner la formation d'escaliers encadrés par des réseaux de fissures . Ce type affecte à des degrés divers, pratiquement, la plupart des sols non protégés, il entraîne l'éboulement de la partie supérieure des lèvres d'une ravine et fait progresser la ravine vers le sommet de la colline par érosion régressive. On les retrouve également dans les oueds, en particulier dans les parties concaves de la rivière lorsqu'elle forme un méandre .

Le MBV de Tefeless n'est pas touché par ce phénomène.

1-1-3 Erosion éolienne :

Ne se manifeste que sur sol sec non ou peu protégé par la végétation, où le vent exerce sur les particules solides au repos une pression sur la surface exposée au flux d'air, appliquée au-dessus du centre de gravité, auquel s'oppose un frottement centré sur la base des particules. Ces deux forces constituent un couple tendant à faire basculer et rouler les particules lourdes.

De plus, la différence de vitesse entre la base et le sommet des particules provoque leur aspiration vers le haut. Les particules les plus légères s'élèvent à la verticale jusqu'à ce

que le gradient de vitesse ne les porte plus. Elles retombent alors, poussées par le vent, suivant une trajectoire subhorizontale. En retombant, ces grains de sable transmettent leur énergie à d'autres grains de sable (comme dans un jeu de boules) où dégradent les agrégats limono-argileux en dégageant de la poussière (**Heusch., 1982**).

L'origine des matériaux provient souvent des matériaux détachés préalablement par l'érosion hydrique. Ce sont des sédiments, des produits d'altération ou de désagrégation des roches granuleuses ou alors des matériaux des sols pulvérisés finement par des techniques de préparation du sol, en particulier par l'usage abusif de charrues à disques.

L'érosion éolienne se manifeste surtout dans les zones arides et semi-arides, due à l'arrachement par le vent des particules fines de la surface du sol. La menace pour les sols est soit d'être recouverts par des sables ou des dunes apportées par le vent, soit d'être réduits à l'état de squelette après la disparition des éléments fins emportés par le vent.

Dans ce modeste travail on s'intéresse beaucoup plus par l'érosion hydrique qui affecte la zone d'étude de façon remarquable.

1-1-4 Facteurs de l'érosion hydrique:

L'érosion résulte de la dégradation des couches superficielles de la couverture pédologique et du déplacement des matériaux les constituants. Ce processus généré sous l'action d'agents climatiques naturels est souvent renforcé par les pressions anthropiques exercées sur les sols (**Antoni et al, 2006**).

L'érosion hydrique qui affecte les sols méditerranéens est fonction de multiples facteurs qui, selon **Morgan (1986 in Boukheir et al., 2001)** semblent être les mêmes partout dans tout le monde.

1-1-4-1 Climat:

Le premier facteur régissant l'érosion des sols due à la pluie est l'intensité, l'énergie, la quantité, la fréquence et la répartition des précipitations (**Dogane, 1992**) L'importance et l'intensité des précipitations dans les zones arides sont naturellement variables, de même que le ruissellement qui les accompagne (**OMM, 2005**). Selon **Wischmeier et Smith (1960 in Boukheir et al., 2001)**, l'indice d'érosion par la pluie est le plus important facteur climatique qui provoque l'érosion.

L'agressivité des pluies dépend essentiellement de son intensité qui est le rapport de la qualité d'eau tombée pendant une durée donnée (**Ekern, 1950 in Combeau, 1977**) elle détermine les modalités d'infiltration de l'eau dans les sols, il y a un refus d'absorption et un ruissellement quand elle dépasse un certain seuil.

D'après la théorie de **Hudson (1961 in Boukheir et al., 2001)**, pour que pluie soit érosive, il faut que son intensité réelle dépasse le seuil qui correspond à la formation du ruissellement (≥ 25 mm/h).

En zone méditerranéenne, plus les précipitations sont faibles, plus elles sont variables. En Algérie, sur des parcelles peu couvertes, pendant les orages d'automne, le ruissellement journalier maximal a dépassé 19 à 32 % jusqu'à 70-85 % des averses importantes en hiver, sur des sols détremés (**Arabi et al., 2002**). Durant le reste de l'année, elle sévit une période sèche. Ces averses de fréquence rare tombant sur des sols déjà saturés et de faible épaisseur sont à l'origine de la formation des ravines, de l'apparition des mouvements de masses et des inondations (**Combeau, 1977 ;Boukheir et al., 2001, Mazour et Roose, 2001**).

En plus de l'érosivité des pluies, il y a la hauteur de la pluie, selon **Cherreav, (1971 in Boukheir et al., 2001)** la hauteur de la pluie intervient surtout au niveau de la saturation des sols. Elle est par définition, le nombre de mm d'eau tombée sur une surface déterminée, elle constitue l'un des facteurs de saturation du sol, donnant naissance au ruissellement, cependant les expériences ont montré que ce paramètre prise individuellement n'explique pas l'érosivité des pluies, il y a aussi l'énergie cinétique qui dépend à la fois de la masse des gouttes et leurs vitesse de chute. En effet, elle déclenche le processus de destruction des agrégats sur le sol du versant de faible pente à moyenne, alors que le ruissellement assure le transport des particules détachées. La première cause du déclenchement de ces particules du sol est la durée de la pluie et la force de l'impact des gouttes sur la surface (**Combeau, 1977**), dont elle doit être suffisante pour permettre l'apparition du régime permanent du ruissellement auquel correspond généralement une turbidité constante indépendante de l'intensité.

1-1-4-2 Couvert végétal :

L'érosion due à la destruction de la couverture végétale, à la suite d'une utilisation abusive et inconsidérée constitue quelques majeurs problèmes d'environnement. Car, l'érosion entraîne la dégradation de l'équilibre du sol, lequel constituant un élément primordial du milieu physique des êtres vivants. L'érosion des sols est fortement contrôlée par la couverture végétale dont dépend la production de la biomasse (**Samba, 1994; Mazour et Roose, 2001**). La production de la matière organique est limitée dans les milieux arides, ce qui rend les terres très susceptibles à l'érosion hydrique (**Combeau, 1977 ;Boukheir et al, 2001 ; Morsli et al., 2004**).

L'écoulement de surface est souvent plus important dans les zones arides que dans les régions plus humides, notamment parce que les terres arides ont tendance à former des croûtes imperméables sous l'action de violents orages et ne sont pas protégées par une litière ou un couvert végétal suffisant. Le transport des sols peut alors être beaucoup plus important, par quantité unitaire de précipitation, que lorsque la surface du sol est bien recouverte de végétation. Plus la couverture végétale est clairsemée, plus la couche arable est vulnérable au «détachement» et à l'enlèvement sous l'action des gouttes de pluie et du ruissellement.

De plus, le moment auquel se produisent les précipitations peut jouer un rôle crucial dans l'érosion des sols conduisant à leur dégradation (OMM, 2005).

Le type de couvert végétal est à prendre absolument en compte puisque c'est de lui que va dépendre l'amortissement des gouttes de pluies, le ralentissement du ruissellement, et l'infiltration. Ce facteur tenant compte de la couverture dépend de:

- Hauteur: Il est intéressant d'avoir un couvert végétal, mais si celui-ci est trop élevé, l'amortissement des gouttes de pluies n'interviendra plus. En effet, après une première interception, les gouttes seront de nouveau rejetées vers le sol ;
- Architecture: les plantes en forme d'entonnoir auront tendance à drainer l'écoulement et à provoquer des ravinements. A l'inverse, les plantes dites "parapluie" vont disperser les gouttes d'eau et donc diminuer leur énergie.

Le Nord d'Algérie est soumis à de fortes pressions en hommes et en bétail qui ont engendré une sévère dégradation des sols et de la couverture végétale (Mazour et Roose , 2001) ; plus de 20 millions d'hectares des terres touchées par l'érosion particulièrement dans les zones montagneuses où sont implantés plus de 90% des barrages et où se concentrent environ 20 millions d'habitants.

D'après Boukheir et al., (2001), les zones méditerranéenne semi-arides à faiblement arides, les terres situées sous forêt bien entretenues sont particulièrement non sensible à l'érosion hydrique, car la litière et la végétation basses favorisent l'infiltration. Ainsi, beaucoup des ravines apparaissent sous pins d'Alep de 20 ans dont le recouvrement est inférieur à 40% et sous *Quercus infectoria* décidus. Du fait de l'absence d'un couvert végétal permanent, au lieu de stagner et de s'infiltrer, les eaux se sont mises à ruisseler et à entraîner avec elles la terre et ses fertilisants naturels, en particulier le limon, l'argile et les matières organiques qui sont également des liants des sols fragiles. L'OMM (2005), estime que les

perdes de productivité des terres cultivées sont de l'ordre de 0,5 à 1 % par an, soit une perte de productivité d'au moins 20 % ces 40 dernières années.

1-1-4-3 Utilisation des terres :

L'intensité de l'érosion hydrique des sols méditerranéens sont affectés aussi et significativement par les activités humaines (défrichement des versants, surpâturage et techniques culturales) qui augmentent ou diminuent les pertes en sols (**Morsli et al., 2004, INSID, 2006, Bouchnak et al., 2000**) ; environ 6 millions d'hectares sont exposés à une érosion active, et en moyenne 120 millions de tonnes de sédiments sont emportées annuellement par les eaux.

En revanche, les sols nus épuisés et /ou abandonnés, les jachères surpâturées et les pistes sont à l'origine de ravinements bien plus graves que l'érosion en nappe. Malgré le déficit pluviométrique enregistré, certaines formes de gestion ont été à l'origine de forts ruissellements.

Si l'érosion est importante à cause de la fragilité du milieu physique et de l'agressivité climatique, il semble que l'influence du mode de gestion des terres devient de plus en plus déterminante depuis la persistance de la sécheresse au cours des vingt dernières années (**Dogan , 1992**).

Comme il est noté précédemment, le phénomène d'érosion est accéléré par les activités humaines citant :

- **Incendies et déboisement :**

Les incendies répétés et le déboisement illégal détériorent les forêts existantes. Aussi, les conditions écologique est les périodes de chaleur torride les multiplient (**Dogan , 1992**). Ceci favorise fortement le ruissellement et aboutit à une forte érosion par la suite. La forêt algérienne a perdu de 1985 à 1994, 920 000 ha de couverts forestiers (**Arfa, 2008**), dont 477 629 ha en 10 ans. Malgré les capacités de régénération de la forêt, les incendies représentent un véritable fléau auquel très peu d'espèces peuvent résister.

Dans les régions montagneuses des pays méditerranées, l'homme construit des terrasses antiérosives, dont les caractéristiques dépend de la nature de la pente. Les terrasses ne protègent le sol contre l'érosion que si elles sont bien entretenues ; en Algérie, entre 1945 et 1985, plus de 50% d'entre elles ont été dégradées par manquent d'entretien (**Roose et De Nouni , 1998 ;Benchaabane, 1997 in Boukheir et al, 2001**) et pour la période allant de 1985 à 1988 (**INSID, 2006**) les pertes en terres enregistrées ont été de 152 000 ha pour les terres agricoles et 444 000 ha pour terres forestières. La moyenne des différents programmes de

reboisement depuis 1963 qui est de 26 000 ha/an ne peut équilibrer ces pertes, même si le taux de réussite de ces actions est de 100%, ce qui n'est malheureusement pas le cas (**Arfa, 2008**).

- **Surpâturage :**

Un sol soumis au pâturage se tasse, devient plus compact, sa perméabilité diminue et le ruissellement de l'eau s'accroît ce qui entraîne des pertes en terres considérables. Ce fort ruissellement aboutit à la formation des profondes ravines lorsqu'il atteint des sols cultivés (**Laouina et al., 2000 in Boukheir et al., 2001 ; Morsli et al., 2004 ; Benslimane et al., 2011**).

Dogan (1992) a estimé dans son étude, trois bovins pour une superficie d'un hectare, tandis qu'il fallait compter un bovin pour trois hectares; cela fait ressortir clairement l'excès de broutage. D'autre part, le pacage ne se fait pas par rotation et les pâturages sont labourés aussi pour mise en culture. En bref, le surpâturage ainsi que le pâturage incontrôlé et les labours favorisent beaucoup l'érosion hydrique.

La jachère mise en défens et les parcours améliorés où la biomasse est relativement importante, présentent moins de risques et permettent l'enrichissement du sol notamment en carbone. Cela est dû à l'accumulation successive des résidus pendant plusieurs années (**Morsli et al., 2004**). Ces modes de gestion peuvent être encore plus efficaces s'ils sont améliorés par des légumineuses et si le pâturage est réglementé.

- **Les techniques culturelles :**

Il est important de noter que, quand une utilisation adéquate des terres selon leurs aptitudes pourrait être appliquée certains changements auront lieu. Il est clair que pour empêcher la dégradation du sol, il faut en première lieu l'utiliser selon sa capacité (**Dogan, 1992**), car l'expérience a montré que certaines techniques agricoles mal maîtrisées par les paysans sont souvent à l'origine de l'érosion (**Auzet, 1990 ; Mosbahi et al., 2004**), tel que le labour par des engins inadaptés dans le sens de la pente et l'absence d'assolement favorise le ruissellement qui est un facteur d'érosion de terre (**Combeau, 1977 ; Saadaoui 1987 in Abdelbaki, 2008 ; Al karkouri et al., 2000 ; Morsli et al., 2004**) ; et quand l'érosion se produit, la perte de couche arable provoque une réduction de la fertilité du sol et contamine l'écosystème aquatique.

La mise en culture d'un sol le rend parfois sensible, car la probabilité s'accroît d'avoir un sol nu lors des fortes précipitations ; et cela dépend de la nature des plantes cultivées et des techniques culturales. Sous verger, l'érosion est intense comme sur sol nu (**Roose et al., 1993**) ; l'alternance cultures légumineuses atténue l'érosion d'une manière spectaculaire ;

ainsi en Algérie, on associant des blés à des fèves, les pertes en terres diminuent de 0,3 à 1,5 tonne/ha sur sol nu travaillé (**Arabi et Roose , 1989 in Boukheir et al., 2001**).

- **Urbanisation :**

La pression démographique accrue sur des ressources naturelles de plus en plus limitées requiert une redistribution équilibrée des espaces entre l'installation urbaine et les activités agricoles (**Samba, 1994 ; Jansen, 1995**). L'érosion anthropique est le résultat d'une utilisation irrationnelle et d'un aménagement inadéquat des ressources.

La pression de l'urbanisation, liée à cette croissance démographique et au développement touristique, en particulier dans les zones littorales parmi les causes majeures de la dégradation des sols en Méditerranée. La plupart des villes se sont installées dans des zones agricoles très riches. Le développement des routes et des autoroutes dévore de plus en plus d'excellentes terres cultivables.

Actuellement, la population à la campagne intensifie l'agriculture en montagne, sans augmenter pour autant la dégradation des terres, ni la pollution des eaux, si essentielles pour le développement de l'irrigation et l'expansion des villes (**Roose, 1999**)

1-1-4-4 Topographie:

La topographie est un facteur aggravant de l'érosion : le paysage est vallonné avec un modelé irrégulier. Les pentes sont travaillées jusqu'à 35% avec des longueurs pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres. Or la valeur de la pente conditionne la vitesse de l'eau et sa longueur intervient en augmentant la quantité d'eau qui ruisselle.

Les principaux éléments du relief ayant importance à l'intensité des processus érosifs sont : la pente, l'orographie, l'altitude, la forme et la longueur du versant (**Combeau, 1977**). La pente est, de toute évidence, le facteur primordial de l'érosion sur les fortes pentes, l'infiltration diminue et l'eau de pluie ruisselle vite et cause une érosion grave. Les travaux ont montrés qu'à partir de 8 % les pertes des terres sont d'environ de 4 tonnes/ ha .

L'exposition des pentes peut avoir une importance, car sur celles exposées au sud qui a une faible couverture végétale, l'érosion est très élevée. **Zacher (1970 in Roose, 1999)** a montré que les pentes exposées au soleil sont moins érodables que celles exposées à l'ombre.

L'influence de la forme de la pente a été souvent négligée, lorsqu'il est le facteur le plus dominant sur les pertes en terres, car elle exerce une incidence sur le ruissellement des sols (**Wischmeir et Smith, 1960 in Boukheir et al., 2001**). Sur les pentes concaves, l'érosion est la moins intense, et sur une pente convexe, la perte en terre est très grave que sur les

pentilles rectilignes et la longueur de la pente est moins importante que son gradient et sa forme (**Roose et al., 1993**), mais à précipitation violente, il s'accumule sur une pente longue un plus grand volume d'eau et le temps d'absorption d'eau de ruissellement par le sol est plus grand sur les parcelles longues que sur les parcelles plus courtes (**Boukheir et al, 2001**).

De nombreuses ravines héritées du passé ne sont plus fonctionnelles sauf durant les averses exceptionnelles. Comme les sols sont généralement mal couverts, les averses exceptionnelles ont un impact beaucoup plus fort qu'en zones tropicales sur le ruissellement et les manifestations spectaculaires de l'érosion (ravines, glissements de terrain et inondations) (**Roose, 1972 in Roose, et al. 1993**). La topographie de la parcelle influence l'érosion selon trois critères:

- **L'inclinaison de la pente :**

Lorsque la pente augmente, c'est l'énergie cinétique du ruissellement qui augmente et l'emporte sur l'énergie cinétique des pluies lorsque les pentes sont supérieures à 15 %. De plus, ce sont les particules fines qui sont le plus sensibles et qui seront arrachées les premières. Or, une grande quantité des particules fines est composée de matières organiques. Etant donné que ces matières organiques servent de nourriture aux plantes, c'est la partie la plus riche du sol qui migre.

Par ailleurs, du fait des carences en matières organiques, le couvert végétal diminue lorsque la pente augmente, ce qui entraîne des vitesses de ruissellement plus importantes. Il y a donc une forte interaction entre l'augmentation de la pente et la diminution du couvert végétal.

D'autre part, il est intéressant de noter que les formes d'érosion changent selon l'inclinaison de la pente. Cela veut dire que, pour des pentes inférieures à 4%, ce sont les particules fines qui migrent et pour des pentes supérieures à 7 %, des rigoles apparaissent. Des particules plus importantes sont transportées à l'intérieur de ces rigoles. Enfin, au delà de 20 %, les rigoles se creusent et deviennent de plus en plus profondes (5 à 20 cm), ce qui se traduit par une surface très accidentée (**Roose , 1999**).

Wischmeier et Smith (1960 in Boukheir et al., 2001), ont montré que l'on pouvait exprimer l'érosion de parcelles soumises à des pluies naturelles pendant 17 ans, et dont la pente est comprise entre 3 et 18 %, sous la forme d'une équation du second degré:

$$E = \frac{\sqrt{L}}{100} (0.76 + 0.53.S + 0.076.S^2) \quad (1)$$

E : Erosion en t/ha

S : Pente exprimée en pourcentage

L : Longueur exprimée en pieds (un pied= 0,3048 m)

- Longueur de la pente :

La vitesse étant proportionnelle à la distance parcourue ; plus la longueur de la parcelle est grande, plus la vitesse augmente (Fig.05) causant par la suite une perte de sol importante (Roose, 1999), qui se varie d'un type d'érosion à un autre. Les particules d'eau qui ruissellent emmagasinent donc une énergie plus importante qui se traduit par la création et le creusement de rigoles (Combeau , 1977 ; solofo et al., 2000). Cependant, même si l'influence de la longueur de la pente est reconnue, il est très difficile de connaître précisément l'exposant qui relie l'érosion et la longueur de la pente. De nombreuses formules ont été proposées, mais elles ne sont pas applicables de manières universelles. De plus, tout comme pour l'inclinaison de la pente, il faut prendre en compte le type d'érosion pour pouvoir déterminer quelle est l'influence de la longueur de la parcelle.

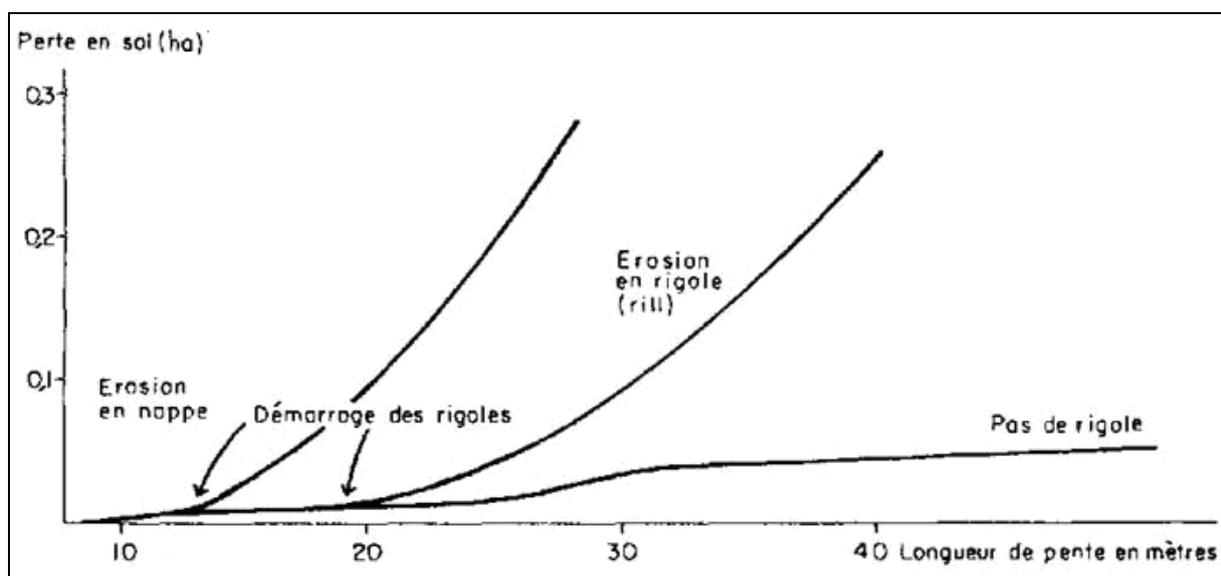


Figure 5: Perte en terre en fonction de la longueur de la pente et du type d'érosion (D'après Roose, 1999).

Forme du versant:

Suivant la forme de la pente (convexe, concave, replat, etc.), il pourra y avoir dépôt et réinfiltration de l'eau. Ainsi, **Cayot et al. (1993 in Boukheir, 2001)** ont démontré que sur une pente convexo- concave, en contexte armoricain, il existe une réinfiltration au niveau de la rupture de pente; le ruissellement est donc moins important en bas de parcelle qu'en haut. De même, **(Veyret et Reghezza, 2005 in Antoni et al., 2006)** ont montré que l'existence de replats au long d'un bassin versant contribue à favoriser l'infiltration de l'eau. Cependant, l'influence de la forme des versants reste assez délicate à estimer, puisqu'elle évolue avec le temps, et donc il faudrait réévaluer chaque année la pente **(Roose, 1999 ; Klein, 1997 in Abdelbaki, 2008)**.

1-1-4-5 Typologie du sol :

Les principales caractéristiques des sols qui permettent de déterminer le degré de sensibilité à l'érosion hydrique sont les suivantes : la teneur en matière organique, la profondeur, la pierrosité, la granulométrie, la nature minéralogie des argiles, l'infiltrabilité et la cohésion.

Selon **Dogane (1992) et Roose (2010)**, La matière organique se trouvant dans le sol connaît une baisse progressive à cause des chaleurs excessives et de la mise en feu du chaume. La diminution du couvert végétal multiplie également et par conséquent, les phénomènes d'érosion. En tant que matériel érodé, le sol influe sur l'érosion par sa structure, sa texture, sa perméabilité, la profondeur de son profil, sa cohésion et les cations qu'il contient. A cause de l'érosion agressive, la profondeur des sols actifs est de plus en plus diminuée sur les versants.

Les sols de la région méditerranéenne sont souvent peu profonds sauf ceux se situant sur des formes géomorphologiques d'accumulation ou des sables. Or, la résistance à l'érosion hydrique est plus faible pour les sols superficiels que pour les sols profonds **(Ryan, 1982 in Boukheir, 2001 ; Miramon, 1997)** car dès que le sol peu épais est saturé par la pluie, il y a un glissement de terrain même sur pente très faible. Le travail du sol nu à l'agressivité des pluies, réduit sa cohésion et accroît par la suite le risque d'érosion et le glissement de terrain sur les versants instables **(Roose, 1994 in Roose, 2010)**.

1-1-4-6 Lithologie:

D'après **Heusch, (1982) et Demmak (1982 in Abdelbaki A., 2008)**, il y a une relation étroite entre le type d'érosion, les transports de sédiments et la lithologie. Là où les roches

sont résistantes, on trouve les pentes les plus fortes et des couverts végétaux denses et des transports de sédiments faibles ; mais sur les roches argileuses tendres et les marnes on peut trouver des pentes relativement modérées, des activités humaines intenses, une végétation peu dense et des transports abondants de sédiments.

Les divers types de roches et leurs structures donnent une indication précieuse sur la capacité d'infiltration des zones occupées par les roches et par les sols et en conséquence sur la quantité de sol susceptible d'être érodée. Une faible infiltration des roches affleurantes indique qu'une grande quantité d'eau ruisselle, par conséquent, une forte quantité de terre peut être empotée. En Algérie, **Demmak (1982 in Abdelbaki A., 2008)** a montré que les transports solides d'un bassin versant dépendaient de sa surface en roches de différents types (argileuses, marneuses, schisteuses,...)

En conclusion, l'érosion, le ruissellement et l'infiltration sont essentiellement dus à l'agressivité des pluies, à la nature des terrains, au taux et à la nature du couvert végétal. L'agressivité de la pluie se traduit par l'énergie des gouttes et du ruissellement qui modifie la structure du sol et ses états de surface et en conséquence la porosité des horizons superficielles, donc de la capacité d'infiltration des sols.

1-2 Le ruissellement :

Le ruissellement correspond à la mise en mouvement d'un excès d'eau se formant à la surface du sol suite aux précipitations (Fig.06). On distingue deux types de ruissellement (**Ambroise, 1999 in Armand, 2009**) : le ruissellement par dépassement de la capacité d'infiltration (excess infiltration overland flow) également appelé ruissellement hortonien, ou le ruissellement sur sol saturé (saturated overland flow).

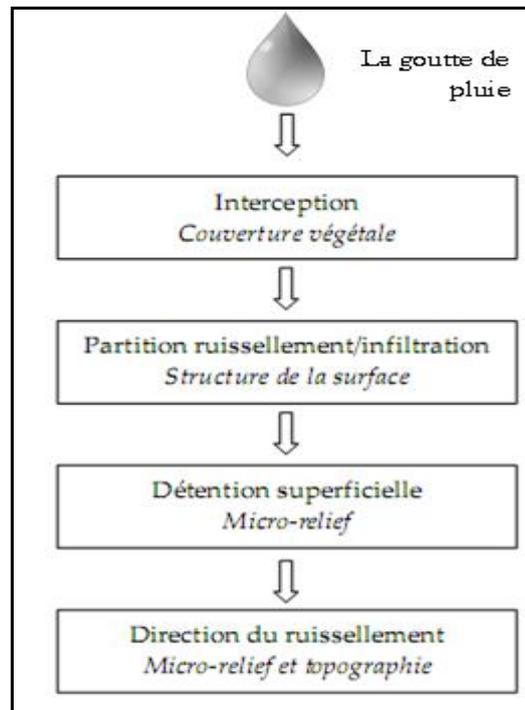


Figure 6: le passage des précipitations au ruissellement.

1-2-1 Le ruissellement hortonien :

Il constitue la part de l'eau de pluie ou de la fonte des neiges qui n'est pas absorbée par le sol mais s'écoule sur la surface du sol dans le sens de la pente (**Hillel, 1988 in Perez, 1994**). Ce type de ruissellement a été mis en évidence dans des bassins versants faiblement végétalisés, aux climats semi aride ou arides caractérisés par des intensités pluviométriques élevées (>100mm/h en moyenne).

1-2-2 Le ruissellement sur sol saturé :

Il mis en évidence par **Cappus (1960, in Armand, 2009)** est observé dans le secteur où le sol est saturé ou proche de la saturation.

La saturation du profil s'effectue « par le bas » en raison de la présence d'une nappe phréatique à proximité de la surface. Les précipitations tombent sur une surface saturée et ne peuvent que ruisseler. Ce ruissellement est fréquemment observé dans les zones hydromorphes, des thalwegs et en bordure de cours d'eau. Il est fortement influencé par le cumul des précipitations qui provoque un gonflement progressif des nappes, ce qui sature d'autant plus rapidement le profil par le bas.

En s'écoulant, l'eau ramasse au passage des contaminants, comme des sédiments et des éléments nutritifs, qui peuvent polluer nos sources d'eau potable et poser des risques pour notre santé. Les sources d'eau potable les plus susceptibles d'être touchées sont les lacs, les

rivières et les ruisseaux, mais le ruissellement de surface ainsi que l'érosion peut également avoir des incidences négatives sur l'eau souterraine.

L'importance du ruissellement par saturation est dépendante de l'extension des zones saturées, elle-même contrôlée par le cumul pluviométrique et la transmissivité du profil. Le ruissellement hortonien est contrôlé par la capacité d'infiltration de l'horizon de surface, elle-même influencée par la structure du sol.

1-3 Problèmes posés par l'érosion des sols dans un bassin versant :

L'érosion provoque des dégâts aux terres agricoles, et entraîne aussi une dégradation de la qualité des eaux en déplaçant de sédiments. On présente dans ce qui suit, deux types de dégâts engendrés par l'érosion hydrique dans quelques régions méditerranéennes, a fin de souligner l'enjeu que représente la maîtrise de ce phénomène.

1-3-1 Les dégâts causés sur le territoire agricole :

En zone agricole, le premier problème lié à l'érosion est celui de pertes en sols provoquant par la suite l'envasement des barrages et leur confère une durée de vie limitée. Différentes études réalisées dans la ceinture de Méditerranée ont permis d'évaluer les pertes annuelles en terre :

- En Algérie, l'envasement des barrages, l'affouillement et le comblement des lits d'oueds sont spectaculaires. La vitesse de colmatage des ouvrages d'art est variable d'un barrage à un autre selon la force de l'érosion et de la lame ruisselée. La détermination des pertes de terre dans quelques bassins versants est récapitulée dans le tableau I.

Tableau 1: État d'envasement de quelques barrages en Algérie en 2001.

| Nom du barrage | Mise en service | Surface (km ²) | Apport liquide (Mm ³) | Erosion spécifique (t/ha/an) |
|----------------|-----------------|----------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Oued Fodda | 1932 | 800 | 120,0 | 24,00 |
| Ghrib | 1939 | 2 800 | 148,5 | 7,50 |
| Cheffia | 1965 | 575 | 138,0 | 27,13 |
| Deurdeur | 1985 | 468 | 45,0 | 23,06 |
| Sidi Yacoub | 1985 | 920 | 98,0 | 14,90 |
| Bouroumi | 1986 | 150 | 26,0 | 69,33 |
| Keddara | 1987 | 93 | 27,3 | 32,15 |
| Gargar | 1988 | 2 900 | 185,0 | 20,62 |

(Source: Touaibia , 2010).

- A l'échelle de la Turquie, qui possède des zones humides et des zones sèches, en plus d'un climat autorisant la culture de toutes sortes de plantes, le pays se trouve sur des sols très sensibles à l'érosion hydrique et éolienne. A cause de la dégradation des sols, d'après les mesures faites, la quantité de sédiments dû à l'érosion et transportés par les cours d'eau est environ 500 millions tonnes /an pour toute la Turquie. Selon les données de 26 bassins des cours d'eau existant, la teneur en sédiments de la surface unitaire est de 626 tonnes/an/km (**Dogan, 1992**).
- Une étude conduite en Maroc, sur le bassin versant de l'Oued Martil de 1 129 km². La dégradation spécifique des terres y est très élevée 2400 à 5000 tonnes/km²/an, contribuant ainsi à l'envasement précoce des retenues des grands barrages et le rythme des études de diagnostic sur la dégradation des bassins versants n'a pas suivi celui de la dégradation des terres en amont, de l'envasement des barrages en aval (**El ouadini et al., 2001**).
- A l'exutoire d'un bassin versant de 541 ha situé dans la Dorsale tunisienne, une sédimentation moyenne a été évaluée à 24 tonnes/ha/an en 1996 et 25,6 tonnes/ha/an en 1998 (**Benchikha et Gueddari , 2008**). Une autre étude a été faite également en Tunisie, où les chercheurs ont traité l'évolution du ravinement dans deux bassins versants : oueds El Hammam et Rmel ayant des superficies respectives de 198 ha et 1534 ha. Les résultats ont permis d'identifier une densité du ravinement dans le premier bassin varie entre 273,8 m/ha et 594,2 m/ha, et dans le deuxième est de 132,4 m/ha. Cela a permis de comprendre l'accroissement de formation de badlands et la réduction de la superficie des terres cultivables dans les deux bassins (**Bouchnak et al., 2000**).
- **Gazzolo et Bassi (1966 in Programme d'actions prioritaires, 1998)** indiquent pour l'Italie une érosion spécifique moyenne de 0,15 mm/an, la plus élevée étant dans les bassins de Marecchia et Savio (tous les deux en Emilie-Romagne), avec une perte annuelle en sol de 1,4 mm (environ 23 tonnes/ha/an).

Selon les études mentionnées ci-dessus, le taux d'érosion annuel varie d'un bassin à autre et les retenues d'eau continuent à être envasées résultant de sérieux problèmes à la production agricole. Cependant, le sol étant une ressource non renouvelable, et la perte en terre peut être préjudiciable pour les générations futures.

Si ces pertes en terre ne représentent pas un problème majeur pour les agriculteurs, elles peuvent néanmoins perturber leur activité. Par exemple, les ravines peuvent gêner la circulation entre les parcelles lorsqu'elles ne sont pas parallèles au sens du travail du sol. Si elles sont peu profondes, l'agriculteur peut les franchir, mais les secousses de tracteur peuvent

entraîner une hétérogénéité de l'épandage d'engrais ou de produits phytosanitaires. Si les ravines sont trop profondes, elles peuvent être des obstacles au passage des engins agricoles ; l'agriculteur doit alors travailler individuellement chaque portion de parcelle créée par le réseau de ravines. Ces ravines profondes ne peuvent pas être effacées par un travail superficiel du sol, contrairement aux autres. Un apport de terre est nécessaire pour les combler. Enfin, si les ravines sont larges, la perte de récolte par arrachement des cultures peut être conséquente.

Sur les terres agricoles le ruissellement érosif peut également causer des dégâts au niveau des dépressions, des obstacles, ou des ruptures des pentes. A ces endroits, les particules de terre se déposent recouvrant les lits de semences ou de jeunes pousses. S'il n'y a pas d'érosion, mais seulement du ruissellement, celui-ci entraînera une stagnation d'eau dans les dépressions sur des périodes plus ou moins longues susceptibles d'altérer le rendement de cultures.

Les dégâts occasionnés sur le territoire agricole sont donc de grande ampleur, car l'effet du ruissellement et de l'érosion est largement répandu dans la zone méditerranéenne et ont également des incidences négatives sur l'eau souterraine et superficielle.

1-3-2 Les dégâts sur les ressources hydriques :

L'accumulation du ruissellement provenant du territoire agricole provoque des inondations ou des coulées boueuses, si l'eau est chargée en terre. Ces inondations peuvent être fortes et causent des nombreux dégâts matériels. Certaines catastrophes ont été à l'origine des morts d'homme. En novembre 2001, un orage de 300 mm en 36 heures a entraîné la mort de 757 personnes à l'échelle nationale dont 706 pour la commune de Bab El Oued à Alger, la forêt de Tefeless a été aussi touchée par cet orage et engendrant des accidents mortels (ONM, 2011). Or, des événements pluvieux d'une telle intensité demeurent rares. En dehors de ces événements exceptionnels, les collectivités territoriales subissent des dégâts chroniques. Lors de nombreux épisodes pluvieux, des dépôts de terre se forment sur les routes ce qui nécessite un nettoyage régulier de la voirie, les sédiments colmatent également les fossés et réseaux d'évacuation des eaux pluviales ce qui limite leur efficacité.

L'autre souci majeur auquel est confrontée la population, les scientifiques surtout, est la dégradation de la qualité d'eau. En effet, la concentration du ruissellement qui entraîne la migration des particules terreuses après destruction de la structure de l'horizon superficiel et un entraînement sélectif des éléments nutritifs, des colloïdes organiques et minéraux vers nos réserves d'eau, cela entraîne une suite de problèmes de gestion au sens large : pertes, gaspillages, traitements aléatoires, dégradations et manque de protection de la ressource, qui

s'ajoutent aux conditions naturelles défavorables. A défaut, la sanction serait la non satisfaction des besoins en eaux potable, d'irrigation et industrielle.

Ce phénomène est encore plus grave lorsqu'on sait que les zones du méditerranée sud (Algérie, Tunisie et Maroc) disposent actuellement de plus de 230 barrages d'une capacité totale de stockage d'environ 23 milliards m³, l'envasement des retenues (Tab.2), a permis d'évaluer près de 125 millions de m³ la capacité perdue par envasement en moyenne annuelle, dont l'Algérie perde annuellement une capacité totale de stockage des eaux, estimée à 20 millions de m³ (**Remini et Remini , 2003**), outre les pertes en terres fertiles constatées chaque année ; **La Fédération des clubs UNESCO-ALECSO de Tunisie (2010)**, estime Au Sud et à l'Est de la Méditerranée, compte tenu de la croissance démographique, 290 millions de personnes de la population des pays qui se trouveraient en situation de pénurie d'eau en 2050.

Tableau 2: Etat des barrages des pays sud de la Méditerranée.

| Pays | Nombre du barrage | Capacité de stockage (10 ⁹ m ³) | Taux d'envasement (10 ⁶ m ³ /an) |
|---------|-------------------|--|--|
| Algérie | 114 | 5,2 | 32 |
| Tunisie | 30 | 3,5 | 30 |
| Maroc | 90 | 14 | 65 |

(Source : **Remini et Remini , 2003**)

Cette situation constitue un facteur aggravant la difficulté d'une appréhension correcte aussi bien des besoins que des différentes projections sur l'avenir. Les données présentées dans cette synthèse montrent qu'il est désormais impératif que l'aménagement du territoire tienne compte des quantités disponibles afin de rationaliser l'utilisation, la protection de la qualité et la récupération par le recyclage.

1-4 Principales méthodes de lutte anti-érosive :

Il devient de plus en plus important de prendre soin des ressources naturelles (eau et sol) étant donné que ces réserves ne cessent de diminuer. L'obtention de bonnes récoltes, sans trop de problèmes liés aux organismes nuisibles, repose avant tout sur la fertilité des sols (**Auzet, 1990 ; Taabni , 1997**).

Bien que des progrès aient été accomplis en ce qui concerne l'amélioration de nos réserves, leur dégradation reste encore une préoccupation importante. Selon l'OMM (2005), les zones du globe vulnérables à la dégradation des terres couvrent environ 33 % des terres, on estime que les pertes de productivité des terres cultivées sont de l'ordre de 0,5 à 1 % par an, soit une perte de productivité d'au moins 20 % ces 40 dernières années, ainsi des

phénomènes météorologiques extrêmes comme les vents violents les pluies abondantes et les années consécutives de sécheresse, peuvent aggraver le problème et sert à une réduction de la fertilité du sol et une contamination de l'écosystème aquatique (**Lazzeri et Nahon, 2011**).

En ce sens, une mise en œuvre d'un ensemble de mesures s'impose nécessaire, pour enrayer les effets désastreux de l'érosion sous toutes ses formes et de la dégradation des sols. Toutes les sociétés rencontrent ce problème de dégradation du milieu par divers types d'érosion ont tenté d'y porter remède par des stratégies traditionnelles adaptées aux pressions foncières en aménageant les eaux de surface pour améliorer la productivité des sols et stabiliser les versants (**Roose et De Nouni, 1998 ; Arabi et al., 2004**).

1-4-1 Erosion en nappe :

Il s'agit d'intensifier les systèmes de culture régionaux pour mieux protéger la surface du sol contre l'énergie des pluies et du ruissellement (**Roose et al., 1993 ; Taabni , 1997 ;Bussiere , 2003**).

1-4-1-1 Diminution de l'impact des gouttes de pluie :

La réflexion intéresse le développement de la couverture végétale, la gestion des résidus de culture (effet de mulch), et les techniques culturales conservatrices par la mutation et diversification (**Taabni ,1997**), a fin de protéger le sol contre la battance. Cette pratique entraîne également la persistance du profil du sol de zones continues, plus ou moins profondes, ce qui augmente la résistance du sol vis-à-vis de l'incision des couches superficielles.

L'implantation d'un couvert végétal sur des versants non agricoles comme les talus de route et de canaux d'irrigation s'effectue par l'ensemencement hydraulique de graminées et de légumineuses car celles-ci s'enracinent facilement même pour des conditions de terrain les plus adverses, et pour des versants possédant des sols plus pauvres, il est suggéré de planter des arbustes (**Dumouchel, 1991 in Abdelbaki , 2008 ; Lazzeri et Nahon 2011**). Cette technique est efficace mais nécessite l'usage d'une couverture de protection avant leur établissement.

Le paillage permet aussi de lutter efficacement contre l'impact des gouttes de pluie (effet splash). Il constitue un rideau protecteur et crée une rugosité de surface qui divise et ralentit la lame d'eau de ruissellement, les pertes en terre sont ainsi considérablement réduites. Ce paillage peut être naturel ou artificiel (pailles de blé broyées), Pendant l'interculture, il peut s'écouler une longue période durant laquelle le sol reste parfois sans protection. Il permet de maintenir un effet de "mulch" (couverture végétale morte) qui diminue fortement l'impact

des précipitations. Et pour assurer ce rôle protecteur, il faut tout de même que le taux de recouvrement du sol soit suffisant (**Bussière M., 2003**).

1-4-1-2 Réduction de la vitesse du ruissellement :

L'action de réduction de ruissellement consiste à augmenter l'infiltration et créer des obstacles ou des barrages au ruissellement (**Bussière M., 2003**). Un des moyens est l'implantation des petits ouvrages de stockage qui captent le ruissellement et permettent son infiltration. En effet, certaines techniques de labours sur les versants peuvent réduire les volumes d'eau ruisselés par la création des dépressions qui permettent une grande infiltration d'eau dans le sol. Outre que le labour profond permet un meilleur enracinement, un meilleur stockage de l'eau en profondeur et donc un meilleur développement du couvert végétal, lequel entraîne une baisse significative de l'érosion et du ruissellement.

Une autre technique consiste au contraire à ne jamais laisser nue la surface du sol, à travailler le sol au minimum et toujours localement sur la ligne de semis (**Joannon, 2004 ; Roose, 2006**). Là aussi on constate que les eaux s'infiltrent par les macropores créées par la mésofaune et on constate une très faible érosion, là où les vers de terre et les termites sont présents, ils vont consommer la litière déposée à la surface du sol, creuser des macropores et maintenir une excellente infiltration.

1-4-2 Erosion en ravines :

La lutte antiérosive classique consiste généralement à appliquer des recettes: structures antiérosives et techniques culturales qui ont montré quelque part et en d'autres circonstances, des aptitudes à retenir l'eau et à ralentir l'érosion. L'approche technique consiste à dissiper l'énergie de chute en tête de ravine par une végétalisation ou des obstacles mécaniques, à stabiliser le fond de ravine par des seuils perméables, à protéger les sédiments par une végétalisation herbacée et arborée et productive, et enfin, à réhabiliter le réseau de drainage en créant un milieu approprié (**Roose, 1999 ; Roose, 2006**).

Pour les régions semi-arides (**Finkel, 1986 in Abdelbaki, 2008**) a proposé des techniques d'intervention selon le type de ravines. Pour les ravines en « V » peu profondes, la technique la plus simple consiste à les remplir en terre et pour prévenir leur réouverture le versant est modelé sous formes de larges terrasses. Si les ravines sont trop profondes pour être remplies à faible coût, (**Finkel, 1986 in Abdelbaki , 2008**) propose de rediriger l'eau de ruissellement avant qu'elle ne se canalise dans la ravine vers d'autres ravines servant.

Dans le cas de la ravine en « U », (**Finkel 1986 in Abdelbaki ,2008**) propose d'élever le plan horizontal de référence par l'installation des chutes imperméables qui permettront

l'accumulation de sédiments presque jusqu'au niveau de la surface. Par la suite, les pentes des parois verticales doivent être adoucies et stabilisées par végétalisation.



Figure 7:Seuil en gabion sur des ravines dans le MBV de Tefeless.

En Algérie, les interventions de correction des ravines s'effectuent par l'installation de gabions aux débouchés des ravines secondaires en combinaison avec les seuils en grillage léger (**Roose , 1999**), qui est le type de correction le plus utilisé dans le MBV de Tefeless (Fig.07) d'après notre inspection sur le terrain.

Autre méthode de lutte contre l'érosion qu'on peut rencontrer dans les régions vulnérables à l'érosion, c'est les banquettes mécaniques, ce sont des levées de terre (1,5 m de hauteur) construites parallèlement aux courbes de niveau. Chaque élément de banquette est édifié perpendiculairement à la pente du terrain avec un remblai de terre de forme trapézoïdale et d'un fossé évasé sous forme d'un canal dans sa partie amont. La banquette a pour but d'intercepter les eaux de ruissellement et d'empêcher leur concentration (**Heusch , 1982**). A condition qu'au moment de la préparation des plans d'aménagement, les écartements interbanquettes doivent être calculés en tenant compte la pente et les capacités réelles de ruissellement (**Nasri et al., 2006 ; Roose, 2006**).

D'après **Mazour et al., (2006)** les seuils en gabion sont les plus chers et ceux qui exigent le plus de technicité (Tab. 3). Les seuils qui peuvent présenter un intérêt du point de vue coût et efficacité sont ceux en terre compactée. En effet, ils coûtent deux fois moins cher que les seuils en pierres sèches et sont beaucoup plus efficaces.

Tableau 3: Efficacité et coûts des trois types de seuil sur le ravinement

| Type de seuil | En gabion | En pierres sèches | En terre |
|-------------------------|---------------|-------------------------|-----------------------|
| Efficacité | bonne | Insuffisante | assez bonne |
| Durabilité | assez fragile | fragile | plus durable |
| Végétalisation en amont | assez bonne | Insuffisante | insuffisante |
| Coût | 2 000 DA/m | 1 500 DA/m ³ | 800 DA/m ³ |

(Source : Mazour et al., 2006)

1-4-3 Mouvement de masse :

Les pentes jugées sensibles au glissement des terres, les chercheurs proposent des approches pour les corriger, citant ci-après quelques uns:

- Modifier la géométrie de la pente soit en remplissant ou en excavant son profil ;
- Planter des structures qui appliquent des forces opposées à celles des glissements tels que les murettes de soutènement ;
- Augmenter la résistance interne des sols, par drainage pour éviter que l'eau n'atteigne le plan de glissement.

Cependant, **Zaitchick et Vanes (2003 in Abdelbaki , 2008)**, disent que le choix des interventions se fonde sur le dénivelé et l'humidité des sols.

Tableau 4: proportions d'intervention pour contrer les mouvements de masses.

| Pente | Humidité | Potentiel de glissement | Interventions |
|-------|--------------|-------------------------|---|
| <30% | Sec à humide | faible | Non nécessaire |
| | Saturé | Modéré | Adoucir les pentes et augmenter le couvert végétal avec des herbes. |
| >30% | Sec à humide | Modéré | Planter des arbres et des arbustes |
| | saturé | Elevé | Eviter de briser les pentes par des routes et des terrasses et ne pas y construire de structures. |

Source : (Zaitchick et Vanes, 2003 in Abdelbaki , 2008)

1-4-4 Sapement des berges :

Il existe plusieurs techniques pour protéger les berges des cours d'eau, Parmi eux, celle qui consiste à enrocher les zones des berges subissant les remous, ou qui sert à

construire en pierres sèches ou en plaques à béton une murette de soutènement, réalisés en maçonneries confectionnés en escalier en utilisant parfois des liants végétales. Mais cette technique est peu recommandée, car elle crée une discontinuité nette entre les milieux aquatiques et terrestres nuisant ainsi à la faune (**Boudjadja et al., 2003 ; Joannon, 2004**) la technique la plus recommandée est de bio-ingénierie qui consiste à planter des végétaux le long des berges, tels que les roseaux, les saules, les peupliers, les tamarix, etc., afin de consolider les sols.

La combinaison des processus antiérosive au niveau d'un bassin versant nécessite la coordination des actions de divers corps de métiers : hydrauliciens, techniciens de génie civil, agronomes et forestiers. La concertation entre les divers acteurs et structures impliqués est indispensable pour leur intégration spatiale, leur suivi et leur gestion ultérieure.

1-4-5 Nouvelle approche en Algérie :

L'Algérie est un pays à potentialités foncières réduites. La surface agricole utile (SAU) atteint 7,5 millions d'hectares, soit à peine 3% de la surface totale ; contre 20 millions ha de terres de parcours et de steppes. Pour faire face à une population qui double tous les 25 ans, il est impératif pour l'Algérie de disposer d'une politique nationale de préservation et de valorisation de ses ressources. Or selon les estimations actuelles, environ 12 millions ha sont menacés par l'érosion hydrique et 6 millions ha par l'érosion éolienne (**INSG 1997 in Arabi et al., 2002**).

Pour protéger les terres et réduire l'envasement des barrages en Algérie, l'administration des Forêts a imposé une stratégie d'équipement hydraulique rural appelée « Défense et restauration des sols » (DRS) qui tient à la fois de la RTM (Restauration des terrains de montagne : mise en défens et reforestation de 800 000 ha de terres épuisées dans les hautes vallées et correction des ravines en amont des barrages) et de la CES (Conservation de l'eau et des sols : terrassement de 350 000 ha de terres cultivées). Mais, dès 1980, l'échec de cette approche était patent. Malgré quarante ans de DRS, les terres continuent de se dégrader, les paysans n'entretiennent pas les dispositifs et les transports solides sont aussi préoccupants.

Deux instituts de recherche (l'INRF et l'ORSTOM) ont décidé, en 1985, d'unir les efforts d'une douzaine de chercheurs pour tester une nouvelle approche participative visant à la valorisation de la terre et du travail tout en réduisant les risques d'érosion

en milieu rural : la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES).

La GCES est une nouvelle stratégie participative a été développée pour répondre positivement aux problèmes de gestion durable des eaux de surface, de fertilité des sols et de la biomasse. Les premiers résultats obtenus en Algérie sont encourageants, **Roose et De Nouni , (1998)** ont montré que les pertes en terre par un système traditionnel sont 0,1 à 2 tonnes/ha/an alors que par le système GCES les pertes sont > 0,1 tonnes/ha/an.

Le principe de ce système se fonde sur la participation paysanne depuis la conception du projet et de réduire le risque de ruissellement et de l'érosion en améliorant les revenus du travail, en y associant les améliorations des variétés et la défense des cultures contre les maladies et les ravageurs. Pour cela, il faut d'une part d'analyser les liaisons étroites entre les systèmes de production, les itinéraires techniques et les manifestations d'érosion, et d'autre part, d'intensifier le système de production en favorisant l'infiltration et le couvert végétal du sol aux époques des averses (**Roose et De Nouni , 1998 ; Roose et Sabir , 2002 ; Roose , 2006 ;Arabi et al., 2007**).

1-5 Evaluation de l'érosion hydrique :

L'évaluation globale de la dégradation des terres n'est pas chose aisée: on utilise en effet un large éventail de méthodes, notamment les avis d'experts, la télédétection et la modélisation. A cette raison, l'érosion est estimée suivant des modèles empiriques qui tiennent compte de l'incidence de majorité des facteurs. Ces modèles sont mis au point à partir de données acquises expérimentalement sur le terrain ou de données de télédétection gérées par un système d'information géographique.

Les travaux d'expérimentations locaux et précis n'ont pas été menées dans tous les régions à cause les difficultés liés non seulement à l'utilisation des parcelles de ruissellement mais aussi à l'hostilité des paysans, parmi lesquels ; l'installation et l'entretien du dispositif, le suivi pendant la durée de l'expérimentation, la nécessité des répétitions pour tester les effets de ruissellement,...

1-5-1 Intérêt de la modélisation des pertes de terre :

Les modèles s'avèrent nécessaire si l'on veut avoir une évaluation rapide du rythme de l'érosion, établir une échelle d'intensité des processus a fin de donner la priorité aux interventions anti-érosives ou mettre à jour la sensibilité des sols à l'érosion.

Ces modèles sont plus ou moins efficaces, établis par des chercheurs selon des modèles différents pour aboutir des cartes d'érosion d'une région étudiée. Lors de modélisation, il faut surveiller la cohérence et la précision de l'ensemble des données de départ qui proviennent d'informations ponctuelles ou spatialisées, il faut s'assurer aussi que les couches d'information ont des précisions et des marges d'erreur comparables, car les équations de type multiplicatif, répercutent les erreurs les plus fortes à l'étape de modélisation.

1-5-2 Quelques modèles d'érosion :

Ces modèles reposent sur des équations mathématiques pour modéliser les processus d'érosion dus à l'écoulement de l'eau et du transport des sédiments à la surface de la parcelle (Jouve 2007 ; Gumiere , 2009). Le modèle le plus largement utilisé pour modéliser l'aléa érosif se base sur l'USLE « Universal Soil Loss Equation » établis par **Wischmeier et Smith** en 1978, qui est basé sur des données expérimentales permet d'évaluer des moyennes de volumes de sols érodés à long terme. Cette moyenne annuelle de perte en terre par hectare (A) est déterminée à partir de 6 facteurs : l'érosivité des pluies (R) ; l'érodibilité du sol (K) ; la longueur de pente (L) ; le pourcentage de la pente (S) ; l'occupation des sols par couvert végétal (C) et les pratiques de conservation (P). D'autres modèles (Tab .5) plus récents aboutissent à une spatialisation de l'aléa érosif à partir de données satellitaires et de MNT (Modèle Numérique de Terrain).

Tableau 5: Quelques modèles d'érosion hydrique.

| Modèle | Nom commun | Bibliographie |
|---|------------|----------------------------------|
| Ardeche Soil Erosion | ARSEM | Pouliot et al., 1994 |
| Système d'Aide à la Gestion et l'Aménagement du Territoire pour la Lutte contre l'Erosion | SAGATELE | Boussema et Chairat Ben Abdellah |
| Soil Erosion Model for Mediterranean Areas | SEMMED | De Jong et Riezebos, 1997 |
| Water Erosion Prediction Project | WEPP | Laflen et al., 1998 |
| Turkey Soil Erosion Estimation Model | TURSEM | Ozden et Ozden, 1998 |
| Mediterranean Desertification and land use | MEDALUS | Kirkby, 1995 |

(Source : Boukheir et al., 2001)

Cependant, le besoin d'une grande quantité de données d'entrée nécessaires à la description de l'hétérogénéité des systèmes naturels ; variabilité temporelle et spatiale des

caractéristiques paysagères, utilisation des sols, topographie et climat, d'autre part, la complexité de la manipulation de toutes les données acquises rend difficile voire impossible l'application de ces modèles.

1-5-3 Présentation du modèle de WEPP :

Le modèle physique WEPP (Water Erosion Prediction Project Model) a été développé en 1985 à 1995 par United States Departments of Agriculture and Interior (**Flanagan et al., 2000**), c'est un logiciel de simulation qui calcule le ruissellement et l'érosion sur une base quotidienne. Le processus d'érosion peut être simulé au niveau d'un profil de terrain en pente (hillslope) ou au niveau d'un micro bassin (**Villeneuve et al., 1998 ; Jouve , 2007 ; Aksoy , 2011**).

Le temps file exige des données quotidiennes de précipitations, maximum et minimum de température et le rayonnement solaire. En plus de pluie, ce modèle a besoin des variables relatives à l'intensité des précipitations qui sont utilisées pour calculer l'excès de précipitation et donc le taux de ruissellement, qui sont le ratio de temps et durée à la pointe intensité des précipitations, et le rapport entre l'intensité maximale et l'intensité moyenne.

1-5-4 Pourquoi le WEPP :

Les scientifiques travaillent à intégrer l'ensemble de ces facteurs dans des modèles permettant de prévoir l'érosion des sols (**OMM, 2005**). Le modèle du Projet de prévision de l'érosion hydrique (WEPP) est un modèle basé sur des processus, avec paramètres distribués et simulations permanentes qui est exploitable sur PC; il peut être utilisé en échelle réelle pour simuler l'érosion de terrains en pente douce ou des érosions plus complexes au niveau des bassins hydrographiques. Il simule les processus naturels qui interviennent dans l'érosion des terres. Il met à jour les conditions ordinaires du sol et des cultures qui ont une influence sur l'érosion. Quand la pluie tombe, les caractéristiques de la végétation et du sol sont utilisées pour déterminer si un ruissellement se produira.

Le modèle WEPP intègre un certain nombre de composants techniques: climat et temps (précipitations, température, ensoleillement, vent), irrigation (pulvérisateurs fixes, sillons), hydrologie (infiltration, accumulation dans les dépressions, ruissellement), bilan hydrique (évapotranspiration, percolation, drainage), sols (types et propriétés), croissance des cultures (terres cultivées, pacages, terres forestières), gestion et décomposition des déchets, impacts du labourage sur l'infiltration et l'érodabilité (**Flanagan et al., 2000**) .

En effet, le WEPP mettra une base scientifique sous les normes environnementales et les perspectives établis par les organismes de réglementation. Il intégra aussi les connaissances scientifiques qui devraient, en combinaison avec d'autre outil, aider à optimiser le double objectif de la gestion des ressources naturelles et le transfert de technologie (**OMM, 2005**). La mise en œuvre de la nouvelle technologie de prévision de l'érosion par le modèle WEPP arrive à un moment où d'autres problèmes sont abordés de façon similaire. Par exemple, un projet de modélisation compagnon est lié à l'érosion éolienne, modèle de la qualité de l'eau tel que le modèle de qualité en rivière Streeter-Phelps (**Villeneuve et al., 1998**) ont déjà été élaborés et sont appliqués.

1-6 Apport de la télédétection :

La télédétection utilise les propriétés physiques des objets observés, en particulier leurs propriétés optiques d'émission et/ou de réflexion des rayonnements électromagnétiques. Ces rayonnements ont la particularité de se propager dans le vide sans atténuation mais sont plus ou moins absorbés dans différents milieux. L'acquisition de l'information se fait grâce à un système d'observation qui reçoit ce rayonnement et le traduit en éléments perceptibles par l'utilisateur (**Barbalata , 1996 ; Girard, 1999**).

La télédétection combinée aux systèmes d'information géographique constitue un outil efficace et opérationnel et présentent des avantages importants par rapport aux travaux expérimentaux (**Barbalata , 1996, Bijaber et al., 2005**) . La télédétection, par sa capacité à fournir des images multispectrales et multitudes, ainsi que les systèmes d'information géographique, outil de traitement et d'exploitation des données multidisciplinaires (**Elhadani, 1997**), constituent des moyens permettant de:

- Donner une vue synoptique, mise à jour régulièrement, au moyen des unités de paysage sur de vastes territoires, ce qui prend son intérêt quand les accès sont difficiles ;
 - Minimiser le coût des investigations de terrain (meilleur choix des sites à observer, gain en temps et en moyens, etc) ;
- S'affranchir du problème de disponibilité et d'homogénéité de l'information numérique, ce qui facilite les opérations de stockage, de manipulation et offre la possibilité de croiser des données provenant de plusieurs sources ;
- Et élaborer des cartes délimitant les zones vulnérables et touchées par l'érosion.

La télédétection permet d'évaluer les facteurs nécessaires au fonctionnement des modèles à l'aide des photos aériennes et des images satellitaires. Ces images servent à

produire la cartographie du réseau hydrographique, de diverses caractéristiques géomorphologiques de terrain ainsi que cartographie géologique, elles permettent d'obtenir aussi des informations pédologiques, telles que la couleur, les teneurs en matière organique et calcaire, la pierrosité de surface, la rugosité, la profondeur et la texture du sol.

L'inconvénient des images satellitaires réside en ce qu'elles ne donnent des informations que sur la partie la plus superficielle de la couverture pédologique (**Girard et Girard, 1975 in Boukheir et al., 2001**) et, étant instantanées, les images ne fournissent que des informations sur les objets existants au moment de la saisie. Alors qu'elles présentent un avantage important par rapport aux photographies aériennes : rapidité et l'objectivité de l'analyse statistique d'image par ordinateur qui rend possible une cartographie de large zones d'une manière répétitive et le coût faible par unité de surface. Elles peuvent être importantes pour une évaluation rapide de l'étendue des terres érodées et ne se posent pas concurrentes des photographies aériennes et des méthodes traditionnelles d'acquisition des données mais en complément, permettant de faciliter voire d'améliorer la saisie des données au niveau régional.

D'après la figure suivante (Fig.08), Les principaux domaines du spectre électromagnétique et leurs longueurs d'ondes respectives sont:

- Ultraviolet, de 290 à 380 nm ;
- Visible, de 400 à 700 nm ;
- Infrarouge proche, de 700 à 1500 nm ;
- Infrarouge moyen, de 1500 à 3000 nm ;
- Infrarouge thermique, de 3 à 15 μm ;
- Hyperfréquences ou micro-ondes, de 1mm à 1 m.

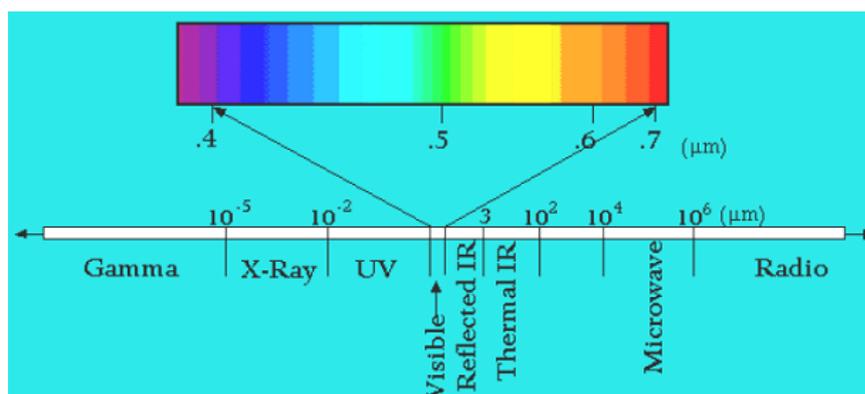


Figure 8: Spectre du rayonnement électromagnétique solaire. (Source Soudani , 2006).

1-6-1 Les comportements spectraux des objets :

L'analyse et l'interprétation des images de télédétection se fait en fonction du comportement spectral qui est le produit de l'interaction du rayonnement et de l'objet à traiter. Les objets pouvant être traités par la télédétection sont divers.

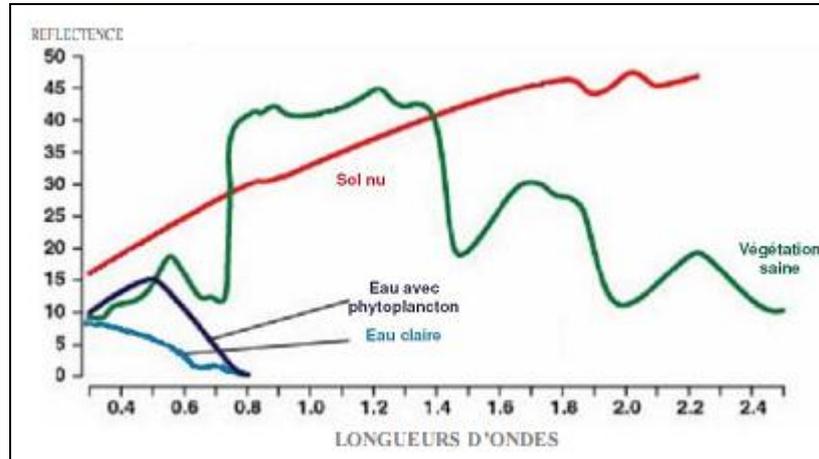


Figure 9: Courbe de réflectance des végétaux, sols et eaux. (Source Soudani , 2006).

1-6-1-1 Sol :

La réponse spectrale du sol dépend de sa composition minérale, de la teneur en eau et en matière organique et de la rugosité de surface (Soudani , 2006). Plus les particules d'un sol donné sont fines, plus la réflectance est élevée. Une structure grossière du sol, suite à des travaux agricoles tels que les labours et les hersages, se traduit par des aspérités importantes qui accentuent la diffusion et génèrent des zones d'ombre (Fig. 09). Concernant la teneur en eau, plus le sol est sec, plus sa réflectance est importante.

1-5-1-2 Eau :

Sur les images de télédétection, les surfaces d'eau apparaissent dans des teintes sombres et se comportent comme si elles étaient des corps noirs qui absorbent tout le rayonnement qu'ils reçoivent. La réflectance des surfaces d'eau libre dépendent bien évidemment de la concentration des substances dissoutes et en suspension (Fig. 09). D'une manière générale, la réflectance des surfaces d'eau libre décroît rapidement du visible à l'infrarouge.

La télédétection peut fournir des informations sous forme directe (Surface libre) ou indirecte par la caractérisation des paramètres qui lui sont liés. La localisation des sources dans les zones fracturées, évaluation de recharge en eau, la maîtrise des crues, la qualité des eaux et les aménagements hydro-agricoles (Soudani , 2006).

1-5-1-3 Végétation :

Le terme végétation fait référence à la chlorophylle, entre autre, le comportement spectral dépend aussi de la nature de l'espèce, la pigmentation, de la structure physiologique, du contenu en eau de la plante, du stade de développement, du taux de recouvrement et de l'état du peuplement (Fig. 09).

Le développement du couvert s'accompagne d'une augmentation de la réflectance dans le proche infrarouge et une diminution dans le rouge. Ces évolutions s'atténuent à mesure que la végétation devient couvrante et épaisse. La réflectance se stabilise à un niveau correspondant à un seuil de saturation qui dépend de la bande spectrale considérée. Ainsi, dans le proche infrarouge, les feuilles sont plus transparentes au rayonnement et le niveau de saturation est atteint pour une végétation plus dense que dans le rouge. Ensuite la phase de sénescence ramène les propriétés de la réflectance vers des valeurs qui caractérisent essentiellement le sol (Soudani, 2006).

Généralement, la végétation est étudiée en télédétection par les indices de végétation.

1-6-2 Les indices de végétations radiométriques :

Les données radiométriques peuvent être utilisées sous forme de canaux bruts ou d'indices combinant les canaux rouge et proche infrarouge.

La complexité structurale des couverts et la multitude des facteurs externes perturbateurs (géométrie de visée et élévation solaire, effets atmosphériques et propriétés optiques du sol) sont à l'origine de la multiplicité des indices qui ont été déduits à partir des mesures de réflectance ou de comptes numériques pour estimer le taux de recouvrement et d'identifier les types du couvert végétal. Ces différents indices exploitent essentiellement la différence de réponse spectrale de la végétation et des sols dans la bande rouge (R) qui est liée à l'absorption de la lumière par la chlorophylle et la bande proche infrarouge (PIR) qui est liée à la densité de la végétation verte. Ils sont classés en deux catégories (Goel & Quin, 1994 in Soudani, 2006).

1-5-2-1 Indices caractérisés par une distance :

a- PVI (Perpendicular Vegetation Index) : Le PVI représente la distance perpendiculaire entre un point représentant la végétation et la droite du sol. Théoriquement le PVI est pratiquement nul pour un sol nu, négatif pour l'eau et positif pour la végétation. Sa formule est la suivante :

$$\text{PVI} = (\text{PIR} - a \times \text{R} - b) / (1 + a^2) \quad (2)$$

PIR : canal proche infrarouge

R : canal rouge

a : la pente de la droite des sols

b : l'ordonnée à l'origine de la droite des sol.

b- WDV (Weighted Difference Vegetation Index) : Il est défini de la même façon que le PVI et s'exprime par :

$$\text{WDVI} = \text{PIR} - a \times R \quad (3)$$

1-6-2-2 Indices caractérisés par une pente :

a- RVI (Ratio Vegetation Index) : appelé aussi Simple Ratio SR, Il correspond à la pente d'une droite reliant l'origine et un point correspondant à la végétation, il se calcule comme suit :

$$\text{RVI} = \text{PIR} / R \quad (4)$$

b- SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) : L est un paramètre d'ajustement introduit dans cet indice afin de minimiser les effets du sol, sa formule est :

$$\text{SAVI} = [(\text{PIR}-R) (1+L)] / (\text{PIR} + R+ L) \quad (5)$$

L : facteur d'ajustement des sols.

c- TSAVI (Transformed Soil Adjusted Vegetation Index) : C'est une modification du SAVI dans laquelle on mesure la droite des sols ainsi qu'un facteur d'ajustement reliev à la brillance du sol. Il s'exprime par :

$$\text{TSAVI} = a (\text{PIR} - aR - b) / [a \text{PIR} + R - a b + \chi (1+a^2)] \quad (6)$$

χ : facteur d'ajustement.

d- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) : est une méthode éprouvée pour l'étude et la cartographie de la végétation. C'est l'indice le plus bien connu et le plus utilisé pour détecter les phases de développement de la plante verte à partir des données multispectrales de télédétection.

$$\text{NDVI} = (\text{PIR} - R) / (\text{PIR} + R) \quad (7)$$

• Principe et raisonnement :

Les plantes vertes absorbent le rayonnement solaire dans la région spectrale « PAR » (photosynthétiquement active de rayonnement), qu'elles emploient comme source d'énergie en durant la photosynthèse. Les cellules de feuille ont également évolué pour disperser (se refléter et transmettre) le rayonnement solaire dans la région spectrale proche-infrarouge qui porte approximativement la moitié de toute l'énergie solaire entrante.

Il faut noter que pour la végétation, le canal du rouge, avec une longueur d'onde de 0,58 μm -0,68 μm se trouve dans la bande d'absorption de la chlorophylle, tandis que le canal

de Proche-infrarouge, entre 0,725 et 1,1 μm , se trouve dans la bande de forte réflectance. Les caractéristiques des canaux correspondent donc de près aux propriétés caractéristiques des feuilles ce qui rend le NDVI un bon indicateur de la biomasse du végétal.

- **Applications et limites :**

Employer le NDVI pour des évaluations quantitatives de la végétation (par opposition aux aperçus qualitatifs indiqués ci-dessus) soulève un certain nombre de questions qui peuvent limiter l'utilité réelle de cet indice si elles ne sont pas correctement adressées.

Par opposition aux aperçus quantitatifs de l'utilisation de NDVI, les utilisateurs ont tendance à estimer un grand nombre de propriétés de végétation (LAI : indice foliaire, la biomasse, la concentration en chlorophylle dans les feuilles, la productivité végétale, la couverture partielle de végétation, les précipitations accumulées,....etc.) à partir de la valeur de cet indice, en corrélant les valeurs espace-dérivées de NDVI avec des valeurs terre-mesurées de ces variables.

1-5-3 Revue bibliographique des études de l'évolution spatiotemporelle de la dégradation du sol par télédétection:

Dans le cadre scientifique, on trouve beaucoup de travaux sur l'étude de l'évolution spatiotemporelle de la dégradation du sol en utilisant les différentes données, méthodes et outils de la télédétection.

Bougherara (2010) a réalisé une analyse visuelle et diachronique des compositions colorées des images satellitaires Landsat MSS (1973), TM (1987), ETM+ (2000), ASTER (2001 à 2006) et Spot (2002 et 2006) permettent non seulement d'identifier et de suivre les différentes formes de dégradation qui affectent le milieu naturel de la wilaya d'El teref depuis plus de 35 ans, mais aussi d'effectuer une cartographie de la végétation (spatiocartes des unités physiologiques).

El garouani et al., (2008) ont utilisé aussi les images Spot et Landsat pour l'étude qui a été faite dans le bassin versant de l'Oued Tlata (Nord-Est du Maroc). L'analyse de données satellitaires sur une période de 15 ans (1987-2002) a permis d'identifier six principaux types d'occupation du sol et les résultats des calculs des pertes en sols annuelles nettes montrent une grande fragilité de la partie Est et Sud-est du bassin environ 9,5 % de la superficie totale.

Pour effectuer une analyse descriptive de variabilité pluviométrique et de son impact sur la végétation dans le bassin versant Ferlo au Sénégal, **Sarr (2008)** a réalisé une analyse de la production végétale qui se fonde sur une évolution diachronique de l'indice NDVI suivie des changements dans l'occupation du sol. A partir des images satellitaires et la télédétection, il a constaté une covariance entre les fluctuations mensuelles de la pluviométrie et le comportement de la couverture végétale, ce qui lui a permis de distinguer une extension de la savane arbustive à arborée et un recul sensible des surfaces allouées à la pseudo-steppe arbustive, entre les années 1990 et 2002.

On a trouvé aussi dans la littérature **Barbalata (1996)**, qui a utilisé une analyse diachronique des images satellitaires MSS-LandSat2, TM-LandSat5, HRV-SPOT et des images photogrammétriques pour détecter les changements survenus dans le paysage de Delta de Danube pendant la période 1960-1989. L'étude a apporté des informations très utiles concernant le suivi et le pourcentage de changements des différentes classes de végétation dans le milieu naturel.

Citant aussi une autre étude faite par **Adja et al., (2009)** intitulée ; La cartographie quantitative de la dynamique de l'assèchement des cours d'eau à la surface du bassin versant de la Bagoé (un sous affluent en territoire ivoirien du Niger) et qui est basée sur l'exploitation de l'imagerie satellitaire Landsat ETM+ et l'analyse des fluctuations multi dates de l'humidité de bassin après l'arrêt des pluies. Cette étude a donné une vision synoptique de la dynamique spatio-temporelle de l'assèchement expliquant l'exacerbation de la récession hydrique dans cette région.

Quant à une modélisation de l'érosion des sols et la prédiction des risques géologiques associés dans le bassin versant de Sahasarotra situé à une centaine de km au nord de la capitale de Madagascar, **Solofo et al., (2000)** sont amenés à effectuer des investigations sur la répartition spatiale des différentes formes d'érosion. Les sources d'information qui ont utilisé sont des couples de photographies aériennes datant de 1949, une image numérique multispectrale ETM+ de Landsat pour l'année 2000 et de cartes topographiques à l'échelle de 1:100 000, cette utilisation complémentaire de photographies aériennes et d'image satellitaire a permis de modéliser et prédire les risques géologiques liés à l'érosion du sol.

Ces études procèdent en général non seulement par les photographies aériennes et les images satellitaires, mais aussi sont réalisés à la base des observations de terrain, et à l'aide de nombreux organismes qui traitent la dégradation des sols par télédétection. A l'échelle nationale, l'étude et la cartographie de l'occupation du sol est assurée par plusieurs organismes dont on peut citer : l'INCT (Institut National de la Cartographie et de la

Téledétection), CDRS (Centre de Développement et de la Recherche Scientifique), INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), BNEDER, ANRH (Agence National des Ressources Hydrauliques), ...etc.

Chapitre II:
Etude de milieu physique

1- Présentation de la zone d'étude :

Ténès C'est une ville côtière de la mer Méditerranée, située à 52 km au nord de Chlef, chef lieu de la wilaya, à mi-distance d'Alger, environ 215 km à l'est et d'Oran , environ 230 km à l'ouest .

En fonction de la géologie, de la lithologie et de la topographie, Ténès s'appartient au Système Tellien Occidental qui est ordonné en alignements alternés de massifs, de hauteur moyenne, dominés par une dorsale calcaire du Jurassique et du Crétacé et de dépressions représentées par les basses plaines oranaises et la plaine du Bas Chélif (**Association Elather, 2011**).

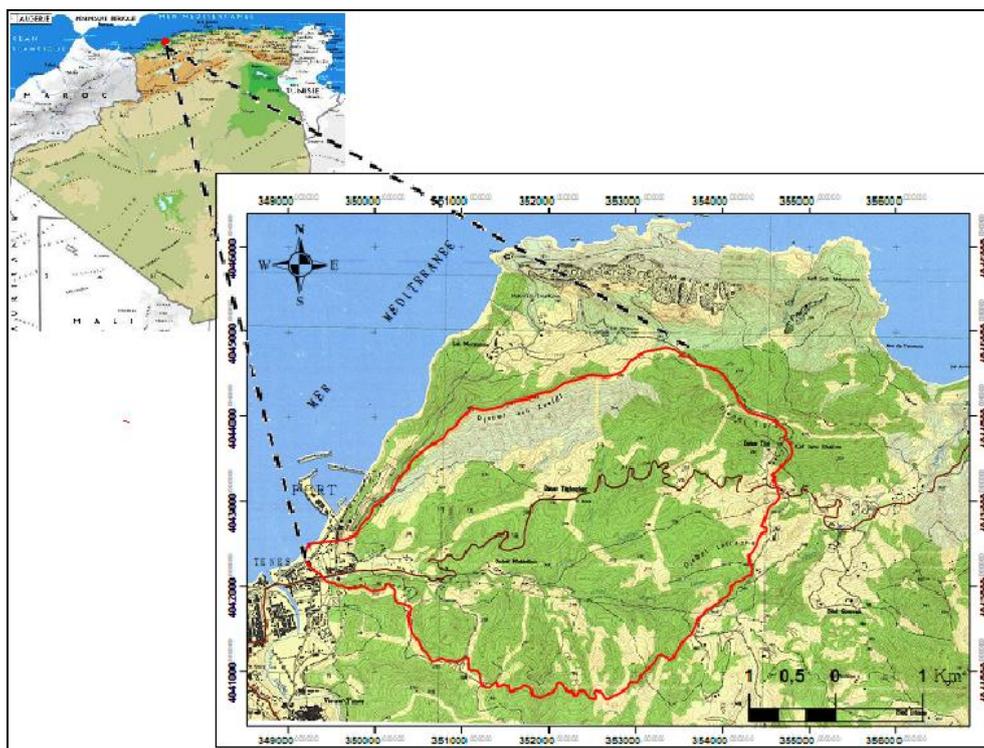


Figure 10: La localisation du micro bassin de Tefeless.

1-1 Situation géographique du MBV de Tefeless :

Le MBV de Tefeless se situe dans la partie nord-ouest de l'Algérie. Il fait partie du sous bassin hydrographique Côtier Dahra, avec une superficie de 24 km², il est limitée par la mer Méditerranée à l'Ouest , la commune de Sidi Merouane au Nord, Douar Terarnia à l'Est et au Sud situé par le vieux Ténès. Il est située entre 1° 20' de longitude Est et de 36 ° 32' latitude Nord (Fig.10), dont ces limites cartographiques, selon la projection UTM Algérie fuseau 31N, sont :

X = 349 000 et 355 000 m

Y = 4 040 500 et 4 044 500 m

1-2 Géologie :

L'examen de la carte géologique levée par **Prive (in Barmanu , 1953)** dessine une aire synclinale remarquablement nette des assises du Miocène inférieur ou Cartennien (Fig. 11), ainsi que les enveloppes successives de terrains plus anciens, Oligocènes et Crétacé, accentuant encore cette disposition synclinale, que l'on ne peut que qualifier de « Cuvette du Tefeless ».

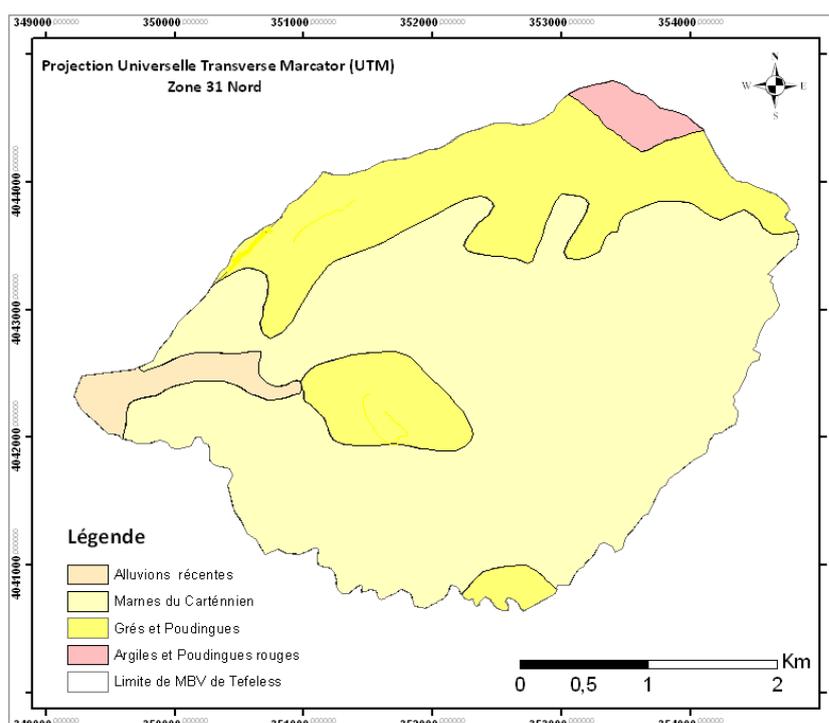


Figure 11: La carte géologique du MBV de Tefeless
(Extraite de la carte géologique Ténès 1/50 000) .

Cette disposition synclinale est d'autant plus intéressante qu'elle est constituée par des terrains perméables et imperméables, en auréoles successives, disposition éminemment favorable à la formation, la localisation et la conservation des couches aquifères.

Cependant, cette cuvette aquifère, déjà vieille, a subi avec le temps, des phénomènes tectoniques postérieurs, d'âge alpin (cassures, déchirures, failles, dislocalisation....) et vicissitudes de la glyptigénie (diverse érosion de la cuvette et de ses bords, affaissement....) qui compliquent, dans le détail, l'étude de ce bassin aquifère.

Toute la partie centrale du bassin de l'oued de Tefeless est occupée par les marnes imperméables du carténien (m^c), les alluvions récentes (a²) occupent le pourtour de l'exutoire; tandis que, les grés et les poudingues du carténien (m^a) occupent le pourtour nord du MBV. La proportion des terrains perméables et imperméables serait sensiblement de l'ordre de 9 km² pour la première et de 15 km² pour les secondes.

La région étudiée est représentée par les formations géologiques dont on les décrit ci-après, en les classant par ordre d'âge croissant :

- a) **Alluvions récentes avec de l'eau souterraine** (quaternaire) : ces alluvions sont le plus souvent limoneuses à bases sableuses, elles occupent le fond de la vallée.
- b) **Miocène, marne du carténien** : ce sont des marnes dures, bleuâtres à cassure conchoïde présentant des ravinements caractéristiques qui contrastent par leur rigidité.
- c) **Miocène, grés et poudingues du carténien** (complexe aquifère avec des eaux souterraines et artésiennes) : elles comprennent à la base des poudingues à gros éléments à « *Osrea cartenniensis* », ces grés durs bleuâtres ou verdâtres s'intercalent à la partie supérieure de marnes gréseuses à « *Aturia aturi* » et passent aux m^{1c}. Les grés et poudingues du Miocène reposent presque partout sur un substratum impénétrable, composé essentiellement de marnes et marno-schistes du crétacé-oligocène.

Il en résulte qu'à part les eaux qui s'infiltrent dans les couches perméables bordant le MBV de Tefeless, tout le reste des eaux pluviales et de ruissellement s'écoule rapidement sur les assises imperméables de marnes carténiennes dans l'oued de Tefeless et ses affluents vers la mer. Le coefficient d'infiltration superficiel est peu important, mais celui de l'évaporation est assez conséquent. En tenant compte de la pluviométrie moyenne annuelle qui ne dépasse pas 436 mm (pour une période de 30 ans) (ANRH,2007), et des coefficients de pénétration des eaux dans les couches perméables, du ruissellement sur tous terrains, vu les pentes accentuées, on peut prévoir que les 3/5 des eaux pluviales vont à la mer ou s'évaporent, ce qui donne pour le MBV de Tefeless, des pertes d'eau de 12 000 m³/jour, par rapport à ce qui a pu s'infiltrer, soit 3 600 m³ (Kossev et Boudehane , 1972).

1-3 Ressources en eau :

Dans les années 1970, ce complexe aquifère a alimenté la ville de Ténès en eau potable dont il avait 2 forages d'exploitation existants à l'époque (Kossev et Boudehane, 1972), Au cours du temps l'un des forages est expiré, et il n'existe qu'un dans la région (DHW, 2011).

Tableau 6: Les eaux superficielles et souterraines de Ténès.

| Eaux superficielles et souterraines | | | |
|-------------------------------------|--------------------|---|---|
| Origine de la ressource | Débit actuel (l/s) | volume produit (m ³ . j ⁻¹) | volume distribue (m ³ . j ⁻¹) |
| forage cabanon | 11 | 594 | 475 |
| forage Traghnia2 | 14 | 1008 | 705 |
| Forage Tifilas | 15 | 648 | 454 |
| Source traghnia | 8 | 691 | 345 |
| Barrage S/Yacoub | 23 | 2000 | 1800 |

(Source :Kossev et Boudehane , 1972).

1-4 Hydrographie :

Le territoire national est actuellement subdivisé en cinq régions hydrographiques, ce zonage a été réalisé pour faire en sorte que les complémentarités de l'eau soient posées à l'échelle de territoires physiques au sein desquels la relation ressources/besoins est établie.

Outre la région hydrographique sud, les quatre bassins hydrographiques délimités le nord d'Algérie sont, d'Ouest à l'Est :

- 1 Oranie-Chott-Chergui ;
- 2 Chellif-Zahrez ;
- 3 Algérois-Hodna-soumam ;
- 4 Constantinois-Seybouse-Mellegue.

Le MBV de Tefeless est compris dans le bassin Chellif-Zahrez, il est drainé par oued de Tefeless, sa longueur est 7,03 Km et l'ensemble des thalwegs a une longueur de 35 Km (Fig .12).

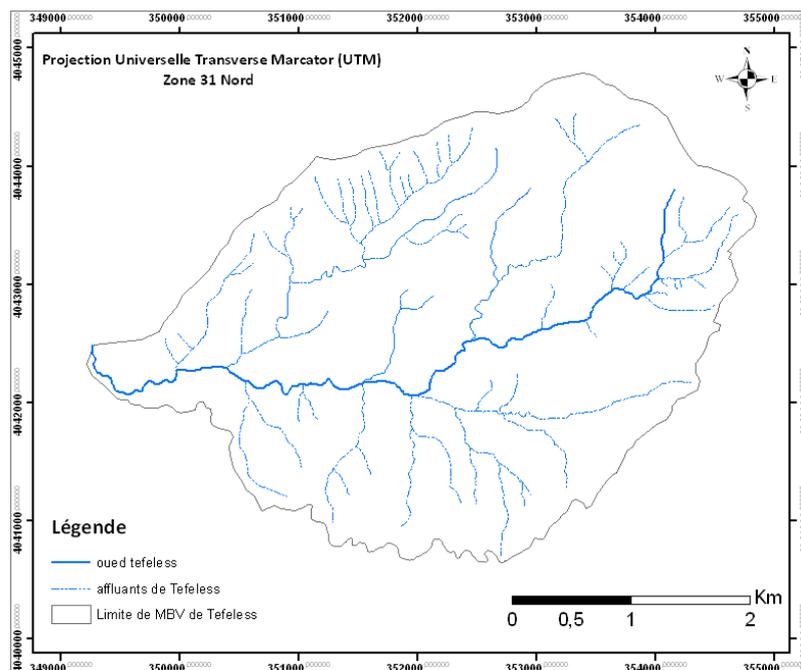


Figure 12: Carte de l'hydrographie du MBV de Tefeless ;

I-5 Formation végétale :

Il est à noter que la forêt de Tefeless existe depuis 1853 (**Service de conservation des forêts, 2011**), occupée à 80 % par un terrain montagneux avec une altitude dépasse 400 m. L'analyse de la répartition des formations végétales sur le MBV a montré l'existence de la végétation forestière de type méditerranéen constitue essentiellement de peuplements de *Pinus halpensis*, de maquis de *Titraclinis articulata*, *Quercus ilex* et *Quercus coccifera*, des garrigues à *Thymelea passerina* et *Oleo sylvestris*. Les pâturages sont à la partie des crêtes où se trouvent des groupes d'association dégradée de *Ziziphus lotus* et *Dactydetum Glomeratris*. On peut toutefois rencontrer quelques îlots dépourvus de végétation naturelle durable non utilisables pour l'agriculture et l'extension des parcelles des zones irriguées occupés par des plantations d'arbres fruitiers.

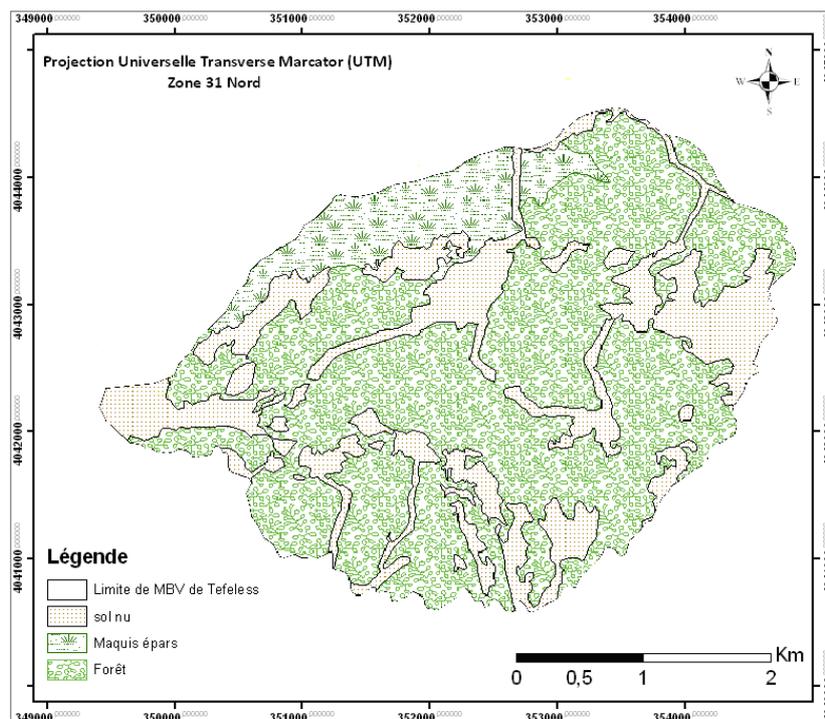


Figure 13: Carte de la formation végétale du MBV de Tefeless.
(extraite de la carte topographique 1/50 000)

I-6 Climatologie :

Le bassin du côtier Dahra est équipé d’un réseau pluviométrique de 14 postes, soit une densité de 04 postes pour 1000 km², et la station pluviométrique la plus proche (1 Km de distance) de MBV de Tefeless est celle de Ténès (Tab.7).

Tableau 7: caractéristiques de la station pluviométrique de Ténès.

| Station ONM | Latitude (x) | Longitude (y) | Altitude |
|-------------|--------------|---------------|----------|
| Ténès | 36°30’ N | 1°20’ E | 17 m |

ONM, 2011.

La zone d’étude est caractérisée par un climat de type méditerranéen, son régime climatique dépend de deux paramètres principaux : la Pluviométrie et la température. Les données sur les températures moyennes mensuelles et précipitations moyennes mensuelles présentées ci-dessous sont celles des stations gérées par l’Office National de la Météorologie (ONM) sur une période de 10 ans.

1-6-1 Pluviométrie :

Les précipitations sont définies comme, formes variées sous lesquelles l’eau solide ou liquide contenue dans l’atmosphère se dépose à la surface du globe : pluie, brouillard, neige, grêle, rosée. Les données de ce paramètre sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 8 : Moyennes annuelles des précipitations en mm de la station de Ténès de la période (2000-2009).

| Mois | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Annuelle |
|--------|----|-------|-------|----|----|---|-----|------|------|------|-------|----|----------|
| P (mm) | 54 | 41,14 | 36,33 | 44 | 42 | 2 | 2,5 | 0,73 | 19,5 | 37,4 | 116,4 | 94 | 490 |

Source : ONM, 2011.

Notre zone d'étude est caractérisée par une rareté des pluies, allant du mois de juin à septembre, avec un minimum très net en Août (0,73 mm), pour les mois de novembre et décembre sont plus aux moins abondantes, on note un maximum au mois de novembre (116,4 mm) (Fig. 14).

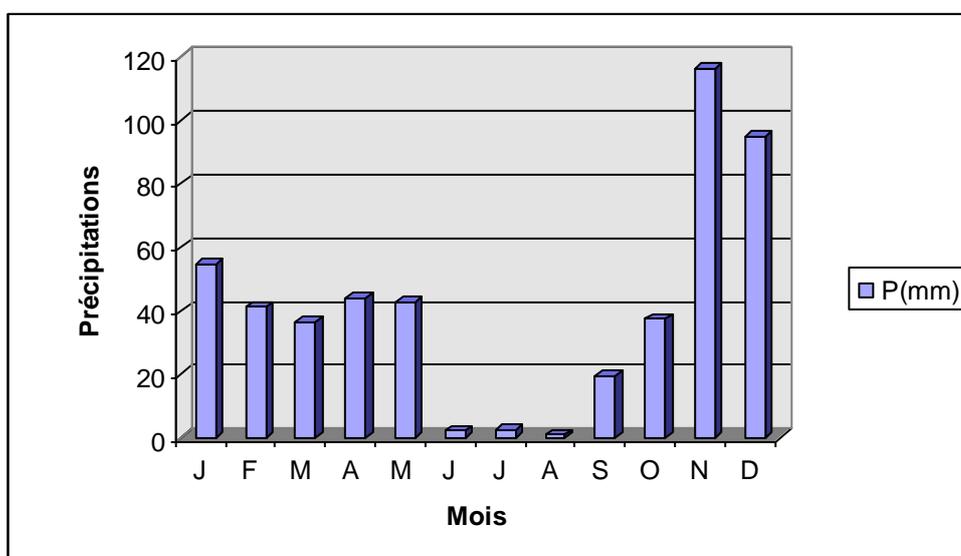


Figure 14: Histogramme des précipitations moyennes annuelles pour la station de Ténès (2000-2009).

1-6-2 Température :

Les données sur les températures min, max et moyennes présentées dans le tableau et figure suivants, sont celles de station gérée par l'Office national de la météorologie (ONM). Ces données soulignent l'existence de deux saisons distinctes.

1-**Une saison tempérée** : qui s'échelonne sur cinq mois allant de novembre jusqu'à avril enregistrant une moyenne mensuelle varie entre 13 à 17,5 C°.

2-**Une saison chaude** : qui s'échelonne sur sept mois allant de mai à octobre durant laquelle la moyenne mensuelle est comprise entre 19 et 26,2 C°.

Or la température moyenne annuelle de la région étudiée (ANRH, 2007 et ONM, 2011) est de 18,5 à 19,5 C° (Tab .9)

Tableau 9: Moyennes mensuelles des températures en °C.

| Mois | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jui | Jui | Aout | Sept | Oct | Nov | Déc | Moyenne |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|-----------|
| Tmin (°C) | 10 | 10 | 12 | 13 | 16 | 19 | 22 | 22 | 20 | 18 | 15 | 13 | 16 |
| Tmax (°C) | 17 | 16 | 19 | 20 | 22 | 27 | 34 | 30 | 28 | 25 | 20 | 18 | 23 |
| Tmoy (°C) | 14 | 13 | 16 | 17 | 19 | 23 | 28 | 26 | 24 | 22 | 18 | 16 | 19 |

Source : ONM, 2011

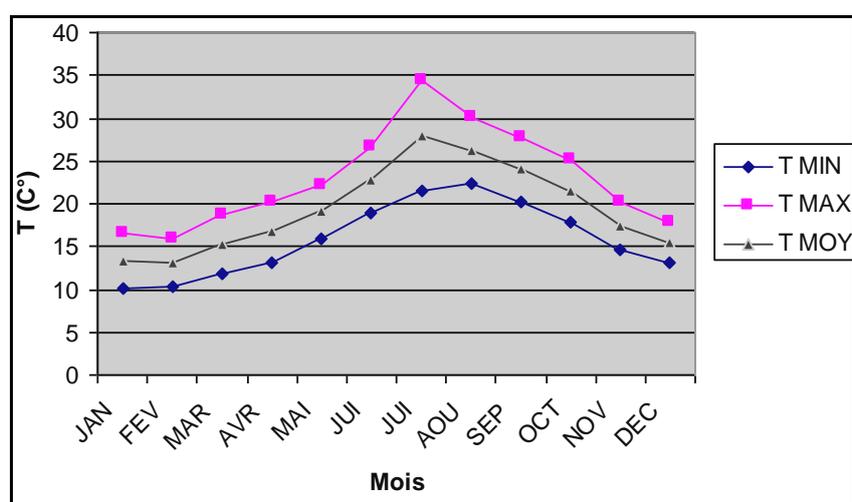


Figure 15: Les températures moyennes mensuelles de MBV de Tefeless.

L'été se caractérise par des hautes températures et des précipitations très faibles, entraînant une aridité assez forte et plus particulièrement un épuisement des réserves utiles ; par contre, l'hiver est relativement humide et tempéré.

1-6-3 Vents :

La direction du vent intervient directement dans la modification du milieu, car certains versants peuvent être plus arrosés que d'autres. Les résultats des observations effectuées par ONM sur 10 ans (1995-2005) sont représentés dans le tableau 10 illustrant la fréquence cumulée par direction et par saison.

Tableau 10: Les Fréquences et directions des vents dans la région de Ténès.

| Saison | Direction | | | | | | |
|-----------|-----------|------|-----|-----|------|------|-----|
| | N | NE | E | SE | S | O | NO |
| Hiver | 7 | 3,8 | 2,6 | 1,8 | 11,5 | 15,5 | 5,4 |
| Printemps | 14,3 | 12,8 | 7,1 | 1 | 5,7 | 11,5 | — |
| Eté | 19,3 | 22,2 | 5,1 | 1 | 3 | 5,6 | 5,7 |
| Automne | 11,2 | 11,2 | 4,4 | 1,3 | 8,4 | 9,5 | 7,3 |

Source : ONM, 2011.

L'hiver montre la prédominance des vents de direction sud et sud -ouest. Pour le printemps, l'Automne et l'été, elle est en faveur des vents du Nord et nord-est. La vitesse moyenne du vent est généralement inférieure à 3m/s pour toute l'année. Les vents les plus forts surviennent pendant la période Juin - Septembre.

1-6-4 Evaporation :

D'après le tableau ci-dessous, la quantité moyenne mensuelle d'eau évaporée est variable selon le mois, elle est importante du mois de juin à octobre.

Tableau 11: Moyenne mensuelle de l'évaporation total en mm.

| Mois | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jui | Jui | Août | Sep | Oct | Nov | Déc |
|--------|-----|-------|------|--------|-------|-------|-----|--------|--------|--------|-------|-------|
| E (mm) | 50 | 60,35 | 91,3 | 111,73 | 173,5 | 254,5 | 297 | 276,09 | 195,27 | 246,40 | 91,12 | 64,37 |

1-6-5 Ensoleillement :

Selon le tab.13, on remarque la variabilité de la durée de l'ensoleillement de chaque mois, elle est très importante en allant du mois d'avril à septembre d'où l'évaporation est par conséquent importante en favorisant le dessèchement pendant cette période.

La durée d'ensoleillement la plus importante est en mois de juillet avec 278 h/mois, et la moins intense est en mois de décembre avec 141 h/mois.

Tableau 12: Le moyen mensuel de l'ensoleillement en heure dans la région de Ténès période (1999-2008).

| Mois | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jui | Jui | Aout | Sept | Oct | Nov | Déc |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|
| Ensoleillement (h/mois) | 145 | 154 | 186 | 209 | 223 | 265 | 278 | 258 | 216 | 187 | 144 | 141 |

Source : ONM, 2011

1-6-6 Autres caractéristiques climatiques :

D'autres facteurs climatiques peuvent agir positivement ou négativement sur le milieu, le tableau 14 présente quelques caractéristiques climatiques les plus dominantes durant la période 2000-2010.

Tableau 13: les caractéristiques climatiques dominantes dans le milieu d'étude.

| Période 2000_2010 | Brouillard | Orage | Neige | Grêle | Rosée | Brume |
|-------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Nbre des jours | 9 | 117 | 1 | 2 | 29 | 39 |

Source : ONM, 2011.

Orage : est défini comme étant l'ensemble de perturbations atmosphériques violentes ; c'est un effet néfaste sur le sol et la végétation.

Au niveau du MBV de Tefeless le nombre des jours d'orage enregistré durant la période (2000-2010) est 117 jours, notant que ce phénomène était très violent en 2001.

1-7 Synthèse climatique :

Pour caractériser le climat de la région d'une manière générale et du périmètre d'étude en particulier, une synthèse climatique est mise en place, elle fait appelle à la réalisation du diagramme ombrothermique de **Bagnouls** et **Gaussen** et du climagramme pluviométrique.

1-7-1 Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1935) :

La représentation de ce diagramme consiste à porter sur le même graphique les variations des températures et les précipitations portées sur deux axes parallèles en fonction du temps, dont l'échelle est « 2mm=1C° ».

Bagnouls et Gaussen (1935) considèrent un mois sec est celui où le totale mensuel des précipitations (mm) est inférieur à deux fois la valeur de la température moyenne mensuelle exprimée en C°, c'est-à-dire « $P \leq 2T$ ».

Le diagramme ainsi obtenu permet de visualiser la saison sèche où la courbe des températures passe au dessus de celle des précipitations. Ce mode de représentation permet de comparer mois par mois le rapport $P/2T$, et de calculer donc la durée et l'intensité de la période sèche (Fig. 17).

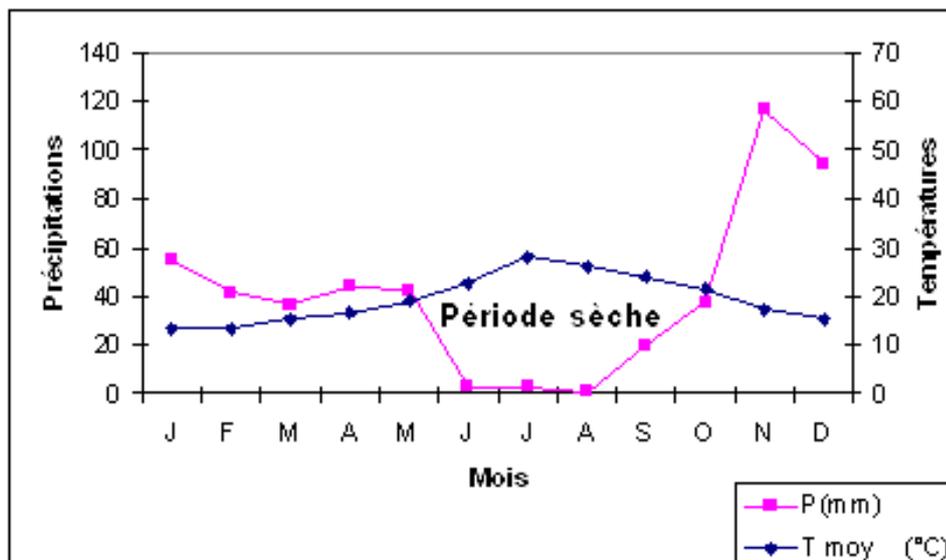


Figure 16: Diagramme ombrothermique de **Bagnouls et Gausсен** du micro bassin versant de Tefeless.

Pour notre zone d'étude, la saison sèche s'étale entre mi-mai jusqu'à mi-octobre, le mois le plus sec est le mois d'Août avec une moyenne des maxima de 30 C° et une précipitation de 0,73 mm ; la saison froide s'étale entre le mi-octobre jusqu'à mi mai dont le mois le plus arrosé est le mois de novembre avec un maximum de précipitation de 116,4 mm et une moyenne des minima de 10 C°.

1-7-2 Indice d'aridité annuelle de De Martone :

Il existe une multitude de formules pour le calcul d'un indice d'aridité et au même titre pour la classification des climats, certaines basées sur des critères climatologiques et d'autres basées sur critères biogéographiques. Parmi ces indices, le plus connu reste celui de **De Martone (1926 à 1941)**. Il est calculé à partir de la formule suivante:

$$I = P / (T + 10) \quad (13)$$

P : est la précipitation moyenne mensuelle en mm ;

T : est la températures annuelles (en °C).

Il a des valeurs d'autant plus élevées que le climat est plus humide et des valeurs d'autant plus faibles que le climat est plus sec. **De Martone** a proposé la classification des climats en fonction des valeurs de l'indice qui sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau 14: Classification des climats en fonction de la valeur de De Martone.

| Valeur de l'indice | Type de climat |
|--------------------|----------------|
| 0<I<5 | Hyperaride |
| 5<I<10 | Aride |
| 10<I<20 | Semi-aride |
| 20<I<30 | Semi-humide |
| 30<I<55 | Humide |

Pour le MBV de Tefeless, la valeur de **I** calculée par la formule (13) est :

$$P = 490 \text{ mm et } T = 19 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ donc, } \mathbf{I = 16,89.}$$

Ce qui implique que la zone d'étude se caractérise par un climat semi-aride.

1-7-3 Climagramme pluviométrique d'Emberger (1955) :

Le quotient pluviométrique d'**Emberger** Q_2 est déterminé par la combinaison de deux paramètres (P et T), il est donné par la formule de **Stewart (1969)** suivante :

$$Q_2 = \frac{2000P}{M^2 - m^2} \quad (14)$$

Q₂ : Quotient pluviométrique d'**Emberger** ;

P : Pluviométrie annuelle en (mm) ;

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en °K (T en °C + 273) ;

m : moyenne des minima du mois le plus froid en (K°).

Calcul du quotient pluviométrique d'**Emberger** du MBV de Tefeless : on a

$$P = 490 \text{ mm ; } M = 307 \text{ K}^\circ ; m = 283 \text{ K}^\circ ; \text{ Donc } \mathbf{Q_2 = 69,2.}$$

En se référant au Climagramme pluviométrique d'**Emberger** (Fig.18), la station de Ténès, avec $Q_2 = 69,2$ et $m = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$, se situe dans l'étage bioclimatique **semi aride chaud**.

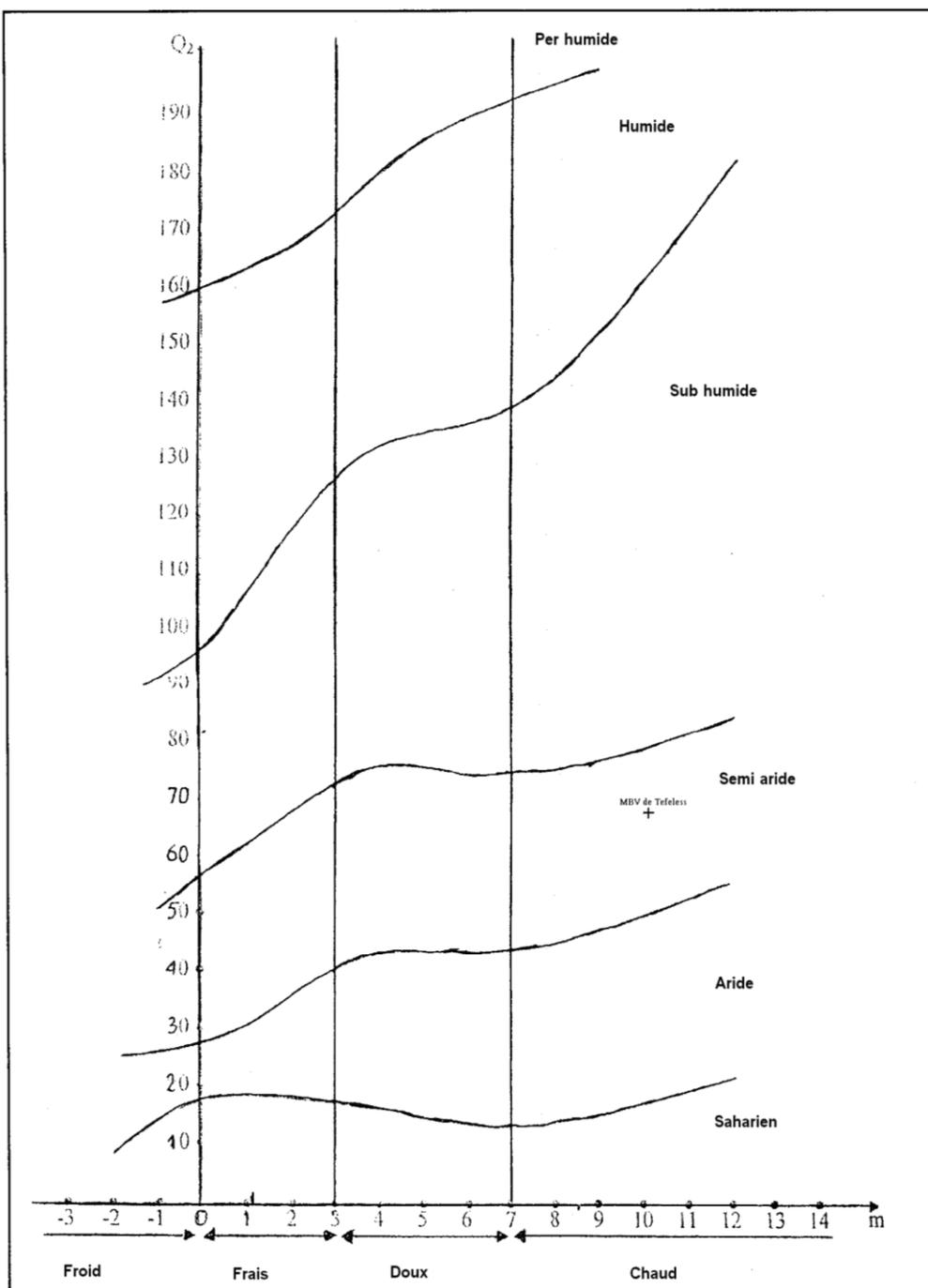


Figure 17: Climagramme pluviométrique d'Emberger.

Chapitre III:
Etude de l'aspect qualitatif

Introduction :

Notre travail vise à étudier la variation spatio-temporelle de l'utilisation des terres dans le MBV de Tefeless en utilisant des outils de télédétection et des données climatiques pour remonter à l'historique de l'occupation du sol et pour valider les résultats en les confrontant aux données collectées auprès des institutions locales.

Pour mener notre étude, on a défini en premier lieu trois sites d'observation qui présentent les modes d'utilisation des sols les plus dominant dans le MBV de Tefeless, ces sites sont : Forêt de Pin d'Alep, Forêt après incendie, et Zone mixte (regroupe les sols nus et les parcelles agropastorales).

Il s'agit de mettre en évidence l'importance de la régression du couvert végétal et l'utilisation abusive des terres dans la dégradation des sols, dont on étudie l'aspect qualitatif avec l'étude diachronique de l'indice de végétation NDVI.

1- Démarche générale :

Les données utilisées dans le traitement et l'interprétation sont: les données de l'imagerie satellitaire, données recueillis auprès des institutions locales et des cartes topographiques.

Plusieurs chercheurs ont confirmé que l'analyse multirate peut apporter des renseignements précieux : par exemple, le remplacement d'une zone boisée par des cultures indique une transformation de l'usage du sol et peut être un indicateur indirect d'une reprise de l'érosion, pour cette raison on essaye de découvrir les modes d'utilisation des terres dans la zone d'étude on se réfère au variation de la végétation en utilisant l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI), qui met en évidence l'ampleur des changements du couvert végétal. Pour ce faire, on a basé sur des images satellitaires prises en différentes dates.

1-1 Images satellitaires :

Les images satellitaires constituent un outil important dans la cartographie de l'occupation du sol ainsi que dans la planification et la gestion des ressources ; elles sont descriptives et apportent une information spatiale, beaucoup plus importante par rapport aux autres sources d'information qui permet la caractérisation des objets dans une large bande spectrale (Pouchin, 2001 in Benkrid, 2008). Le processus d'interprétation, qu'il soit visuel ou

automatique, transforme les données contenues dans l'image en éléments d'informations attachés à une localisation géographique.

1-1-1 Prétraitement des données :

L'imagerie Landsat TM (*thématique mapper*) couvre une plus large portion du spectre électromagnétique. Le capteur TM enregistre des réflectances dans le visible (TM1, TM2, TM3), dans le moyen infrarouge (TM5, TM6 et TM7) et dans le proche infrarouge (TM4). Il est reconnu que la prise en compte d'une bande au moins de chacune de ces trois zones du spectre permet une bonne discrimination générale de l'occupation du sol. Il est en outre généralement admis que l'utilisation d'un grand nombre de bandes spectrales n'apporte guère plus de discrimination entre les objets au sol que celle de quelques bandes judicieusement choisies (**Beaulieu et al., 2007**).

Pour cela l'étude de l'évolution du couvert végétal de la forêt de Tefeless est basée sur trois images satellitaires Landsat prises au mois de mai :

Image Landsat TM mai 1987 ;

Image Landsat TM mai 2001 ;

Image Landsat TM mai 2011.

1-1-2 L'exploitation des données satellitaires :

L'analyse visuelle constitue l'étape la plus simple et la moins coûteuse. La démarche suivie est identique à celle employée en photographie aérienne. Elle tend à prendre en compte, en plus des variations de niveaux de gris, des critères de texture (aspect local) et de structure (organisation et relations entre les éléments texturaux). Les données multibandes peuvent être étudiées canal par canal ou à partir de composition colorée (**Dubuc, 1986 in Miramon, 1997**).

1-2 Les autres sources d'information:

Ce sont des données recueillies auprès des institutions locales serviront à différents niveaux dans l'étude de l'occupation du sol. La combinaison des sources d'information et des données demeure une règle fondamentale dans l'étude de l'occupation du sol. Ces données ont été récoltées auprès des institutions de secteur agricole et hydraulique tels que : la conservation des forêts, ABH, DHW, Les données récoltées sont représentées dans notre étude par :

- les statistiques agricoles recueillies auprès des subdivisions agricoles de Ténès concernant les superficies forestières et les superficies totales brûlées;...

-les données climatiques (précipitation et températures mensuelles et journalières) recueillies auprès de l'office national de la météorologie.

2- Méthodologie de travail :

A fin d'étudier l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol dans le MBV de Tefeless, il a été mis à notre disposition trois scènes du satellite Landsat TM (*Thematic mapper*), (fig .18)

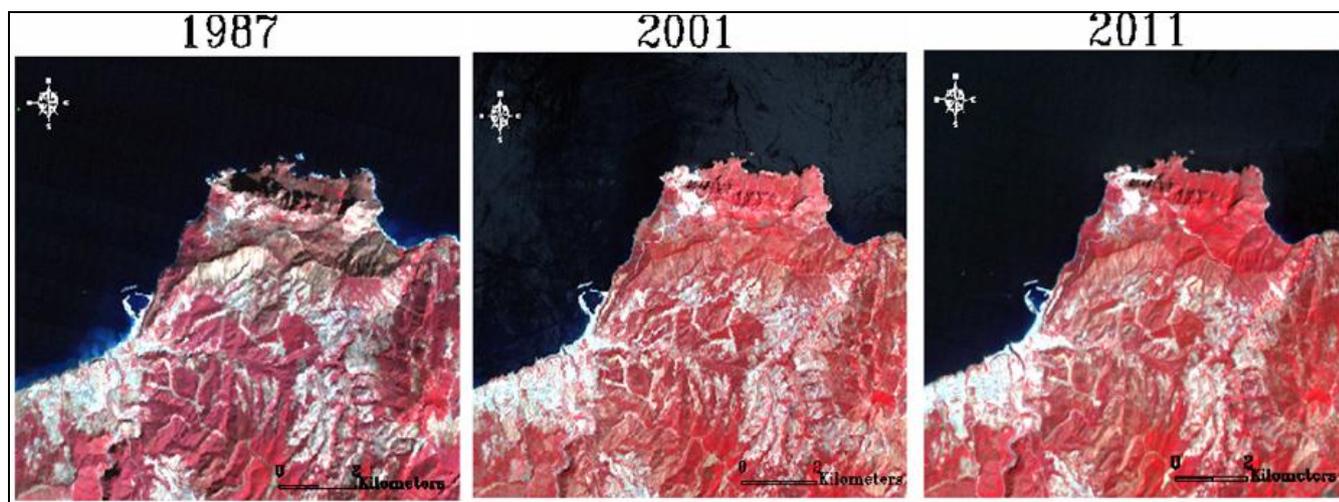


Figure 18: Les images brutes du satellite LandSat TM

La composition colorée a été obtenue à partir de la superposition de trois canaux, en affectant à chacun l'une des trois couleurs fondamentales (rouge, vert, bleu) en fonction de leur longueur d'onde (Tab. 15) soit respectivement le proche infrarouge, le rouge et le bleu correspondant aux canaux TM 4, 3, 1=IR, R, B.

Tableau 15: Caractéristique de l'image LandSat TM utilisée.

| Type d'image | Caractéristiques |
|--------------------------------------|---|
| Bandes spectrales (μm) | TM1 0.45-0.5 μm Bleu |
| | TM2 0.52-0.6 μm Vert |
| | TM3 0.63-0.69 μm Rouge |
| | TM4 0.75-0.9 μm IR proche |
| | TM5 1.5-1.7 μm IR moyen |
| | TM6 10,4-12,5 μm IR moyen |
| | TM7 20.9-23.5 μm IR lointain |
| | B 8 520-900 nm panchromatique |
| Résolution | 30 m |
| Projection | Universal Transverse Mercator (UTM) |
| Nombre de pixels (lignes x Colonnes) | 8951 x 7949 |

Les données satellitaires ont été géoréférencées (système de la projection UTM du fuseau 31) et ont subi une correction géométrique et radiométrique.

La détection et l'identification des mutations de l'occupation du sol dans la forêt de Tefeless entre 1987, 2001 et 2011 s'appuient sur l'exploitation des trois images de référence obtenues. La méthode utilisée pour identifier les changements du couvert végétal est schématisée comme suit (Fig. 19).

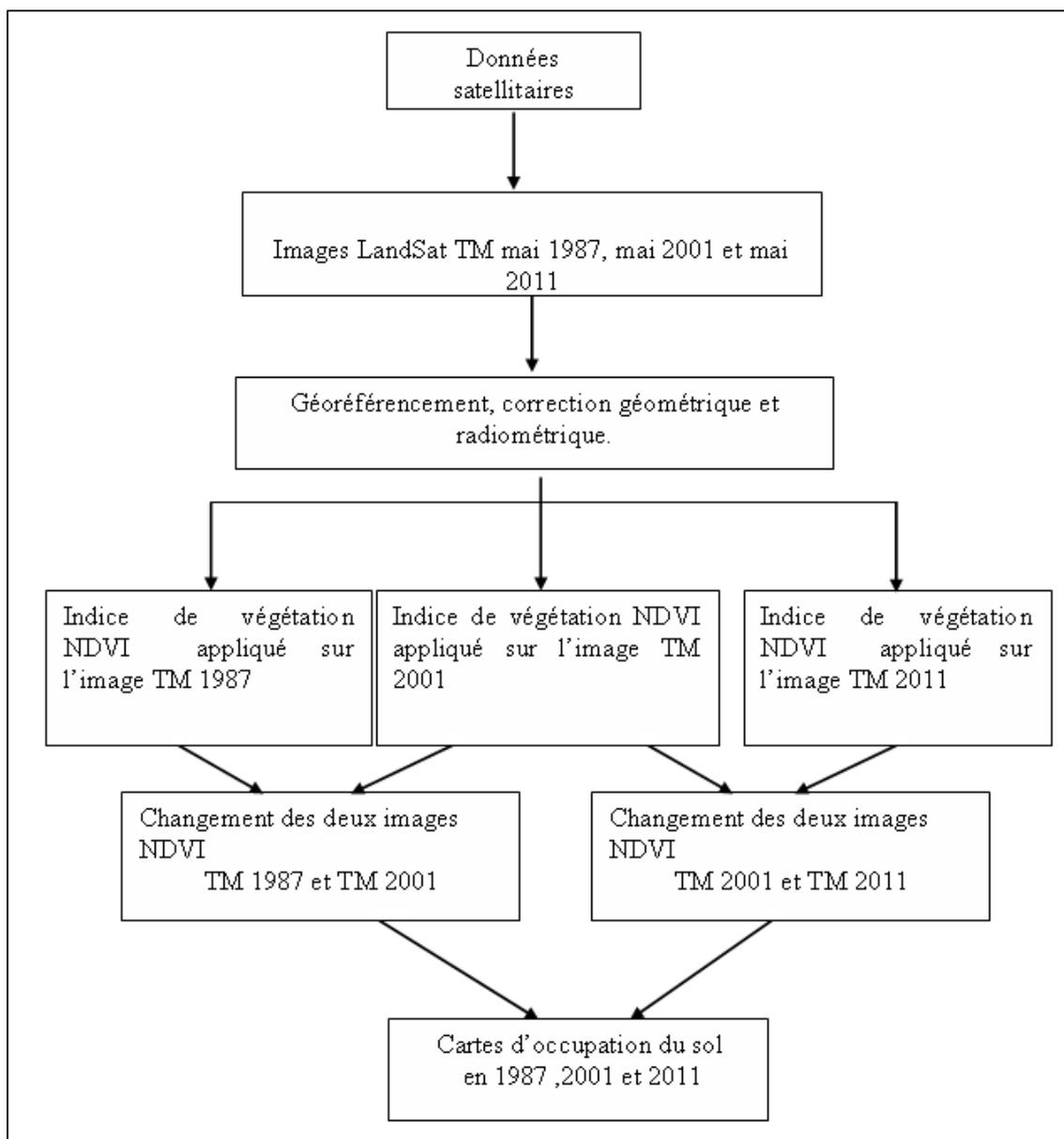


Figure 19: Méthodologie de travail.

2-1 Etude diachronique du couvert végétal :

Pour étudier l'évolution de la végétation dans la zone étudiée, on a calculé le NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) de chaque image qui est relativement peu sensible aux conditions d'observation (Soudani, 2005) l'erreur moyenne due aux effets atmosphériques étant de 15 %, et est une méthode éprouvée pour l'étude et la cartographie de la végétation.

L'indice de végétation normalisé (NDVI) est établi en soustrayant au canal infrarouge (où la couverture végétale a de fortes réflectance) le canal rouge (où les surfaces minérales ont de fortes réflectance) dont sa formule est :

$$\text{NDVI} = (\text{PIR} - \text{R}) / (\text{PIR} + \text{R}) \quad (16)$$

Avec : **PIR** : canal proche infrarouge **R** : canal rouge

Les cartes résultantes présentent un gradient croissant d'activité végétale allant du vert foncé (absence de couverture) au blanc (activité chlorophyllienne très élevée). Le résultat d'un NDVI prend la forme d'une nouvelle image, la valeur de chaque pixel étant comprise entre 0 (sol nu) et 1 (couvert végétal maximal). C'est l'analyse de la palette de nuances s'étendant entre ces valeurs extrêmes (très peu fréquentes) qui renseigne l'observateur sur la densité du couvert végétal et la quantité de biomasse verte. Le NDVI a été calculé directement par le logiciel ENVI 4.7 sur les images disponibles (Fig. 20, 21 et 22).

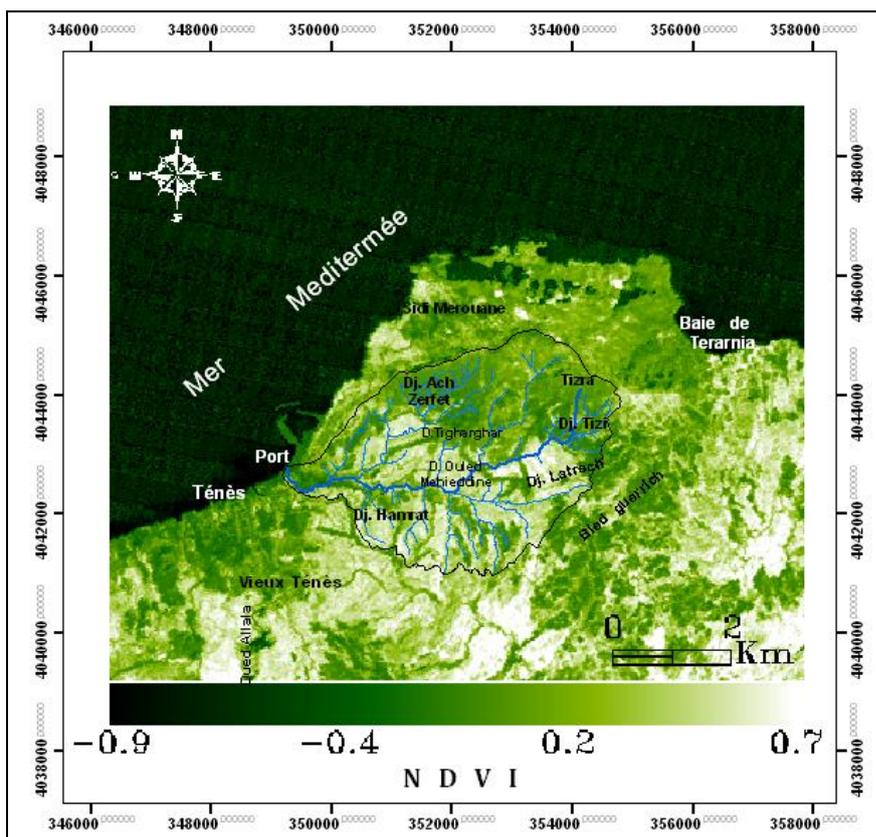


Figure 20: Carte de l'indice de végétation NDVI de 1987

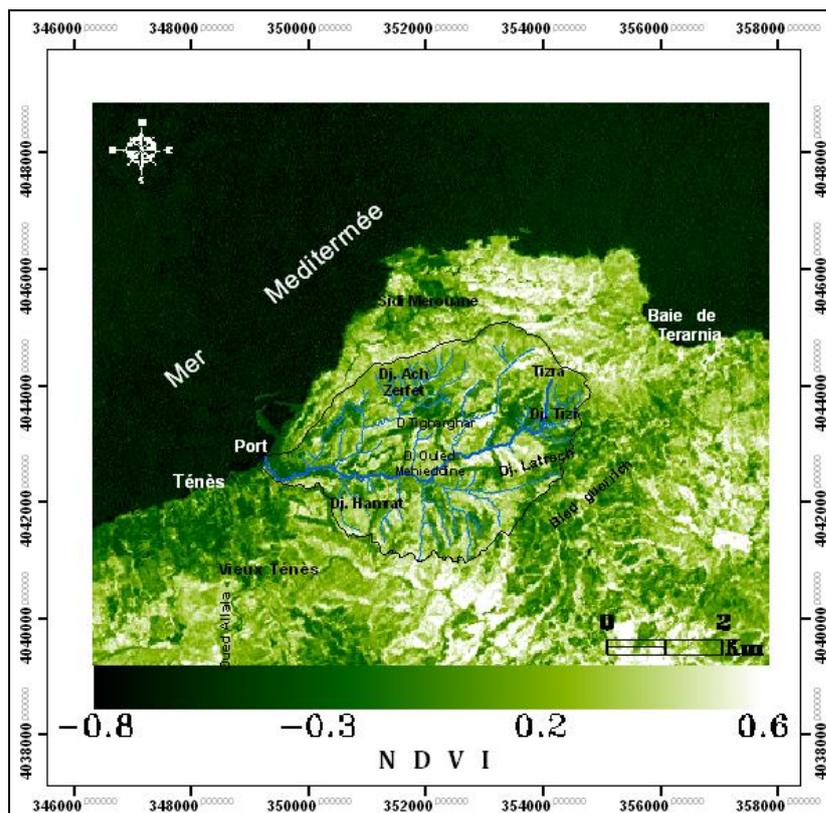


Figure 21: Carte de l'indice de végétation NDVI de 2001

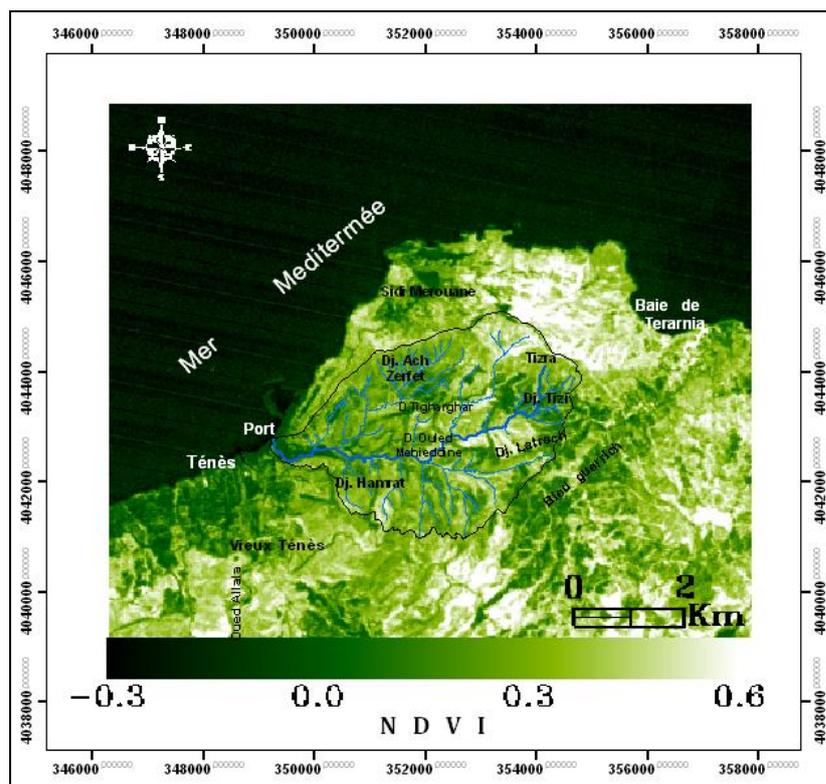


Figure 22: Carte de l'indice de végétation NDVI de 2011

2-2 La classification d'image :

La classification d'une image de télédétection consiste en une reconnaissance automatique des réflectances. Elle permet d'identifier et de regrouper les pixels similaires d'une image dans une classe. Cette similarité peut être déterminée par rapport à la signature spectrale.

Le but est de créer des images thématiques qui correspondent à des catégories d'objets. Les pixels sont, dans un premier temps, identifiés à partir de leurs signatures spectrales et, dans un deuxième temps, regroupés en classes thématiques.

Deux types de méthodes de classification peuvent être utilisés:

- La classification non supervisée (non assistée).
- La classification supervisée (assistée).

Lorsque l'identité des types de couverture de sol n'est pas connue, par manque de l'information ou à cause de l'incertitude sur la réalité du terrain (**Puech, 1993 in Aborida, 2007**), on effectue une classification non supervisée. Pour cela l'utilisateur fixe le nombre de classe souhaitées ou le seuil à partir duquel l'ordinateur peut considérer que la classification est terminée.

Si on a des informations sur l'occupation des sols, on peut réaliser une classification supervisée de l'image, pour cela, il faut au préalable définir les sites d'entraînement (région d'intérêt) correspond à des régions homogènes et dont on connaît la nature de l'occupation des sols. Les caractéristiques spectrales de ces sites d'entraînement sont utilisées pour l'estimation de la probabilité de chaque classe spectrale et donc pour la réalisation de la classification.

Plusieurs méthodes ont été développées parmi lesquels on note: classification par la distance Mahalanobis, classification par la méthode parallélépipédique, la classification par la méthode du minimum de distance, la classification par la méthode spectral angle mapper, la classification par le binary encoding, la classification spectral information divergence et enfin la classification par le maximum de vraisemblance.

La méthode de maximum de vraisemblance est ici utilisée pour classer nos images en fonction de la nature de l'occupation du sol. Cette méthode est considérée comme une technique puissante de classification, car les pixels sont classés à partir d'une probabilité. On calcule pour chaque pixel de l'image sa probabilité d'être rattaché à telle ou telle classe plutôt qu'à une autre. Ce choix est dû à la performance et aux recommandations dont elle a fait

preuve lors de nombreux travaux de recherches (Miramon ,1997; Girard, 1999 ; N'gussan et al., 2003 ; Soudani 2006 ; Abourida ,2007).

2-3 Logiciels utilisés :

Le logiciel ENVI (Environnement for Visualising Images) a été utilisé pour traiter les images. Il permet la visualisation et l'analyse de données de grandes tailles et de la plupart des formats, sa puissance réside dans le fait qu'il comporte une bibliothèque d'algorithmes comprenant des fonctions de transformation de données, des fonctions de filtre ainsi que des fonctions de classification.

3- Etude diachronique des changements de couvert végétal :

L'eau et les nuages ont un indice de réflexion plus élevé dans le visible que dans le proche infrarouge, si bien que ces surfaces ont un faible NDVI. Les roches et le sol nu ont elles aussi des indices de réflexion proches de zéro (N'gussan et al., 2003). Dans les zones avec végétation, le NDVI est plus élevé et varie en moyenne entre 0,4 et 0,7. Les valeurs les plus élevées sont associées à une forte densité de feuillage des plantes.

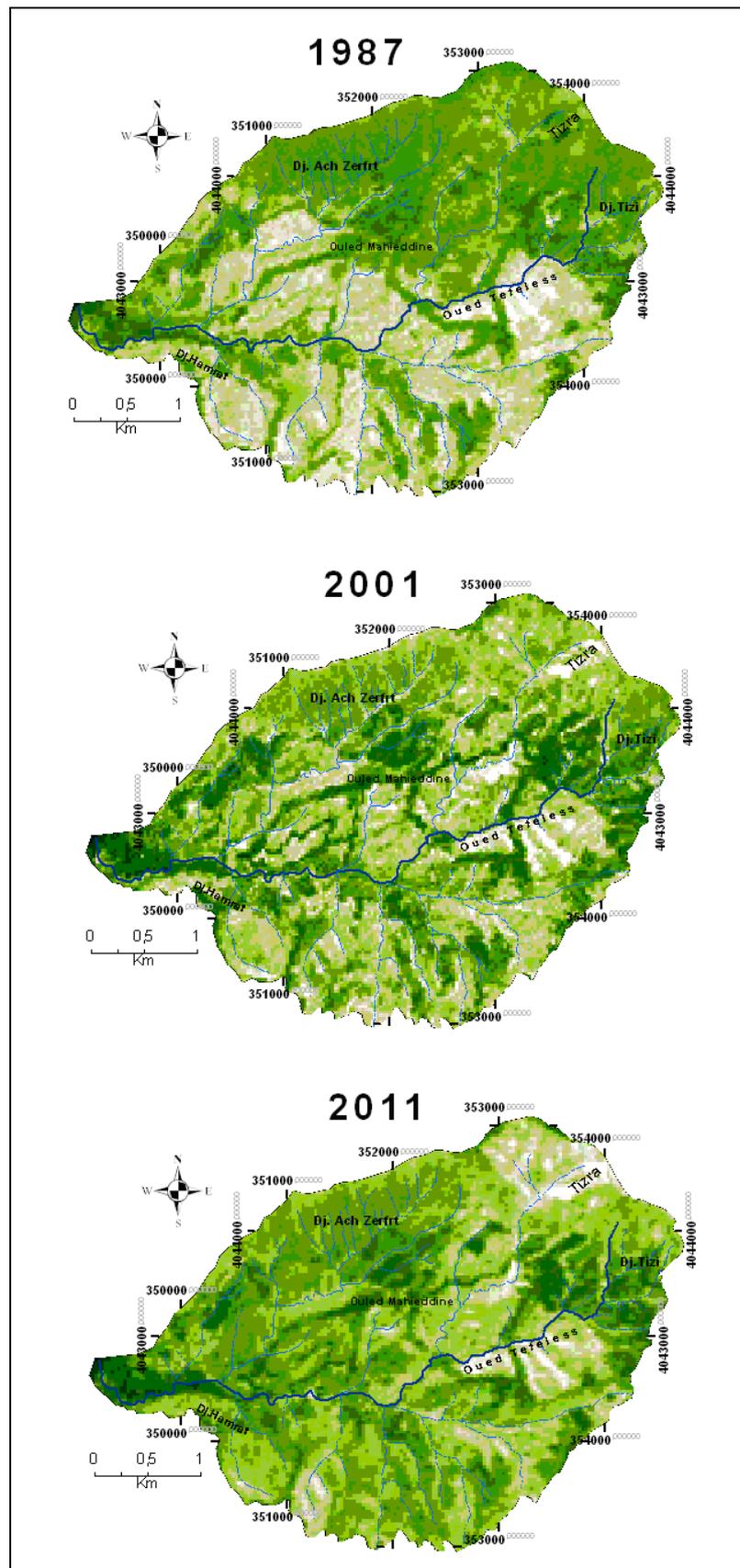


Figure 23: Carte de NDVI du MBV de Tefeless.

La couleur blanche dans la figure ci-dessus, représente la végétation dans le NDVI, qui est moins apparente sur l'image TM 2011 que sur l'image TM 1987 et TM 2001, ce qui est révélateur d'une régression de la couverture végétale entre les trois dates ; alors que, le noir et les nuances de gris, couleurs représentent les surfaces où le couvert végétal est absent ou faible, sont plus prononcés dans le NDVI sur l'image TM 2011 que dans le NDVI sur l'image TM 1987 et TM 2001. Cette approche met donc en évidence une régression du couvert végétal, et tout particulièrement dans la partie sud et sud est de Douar Ouled Mehieddine.

Pour fournir une étude diachronique des changements de couvert végétal dans notre région d'étude, nous disposons sur les axes suivants :

1- Recherche les différences de comportement chlorophyllien du MBV de Tefeless durant la période 1990-2010 dans les sites : forêt (**F**), forêt après incendie (**FAI**) et Zone mixte (**ZM**) ;

2- Détecter sur la plus longue période d'observation possible l'effet de la pluviosité sur la variation du l'indice de végétation NDVI ;

3- Découvrir autres causes responsables à la régression du couvert végétal.

3-1 Évaluation de l'activité chlorophyllienne :

L'évaluation de l'activité chlorophyllienne était obtenue par le calcul de NDVI de chaque image, la figure suivante montre l'évolution des valeurs de NDVI calculées de quelques points pris au hasard des sites (FAI, ZM et F) pour chaque date de prise, dont on considère l'année 1987 comme référence (voir annexe 1).

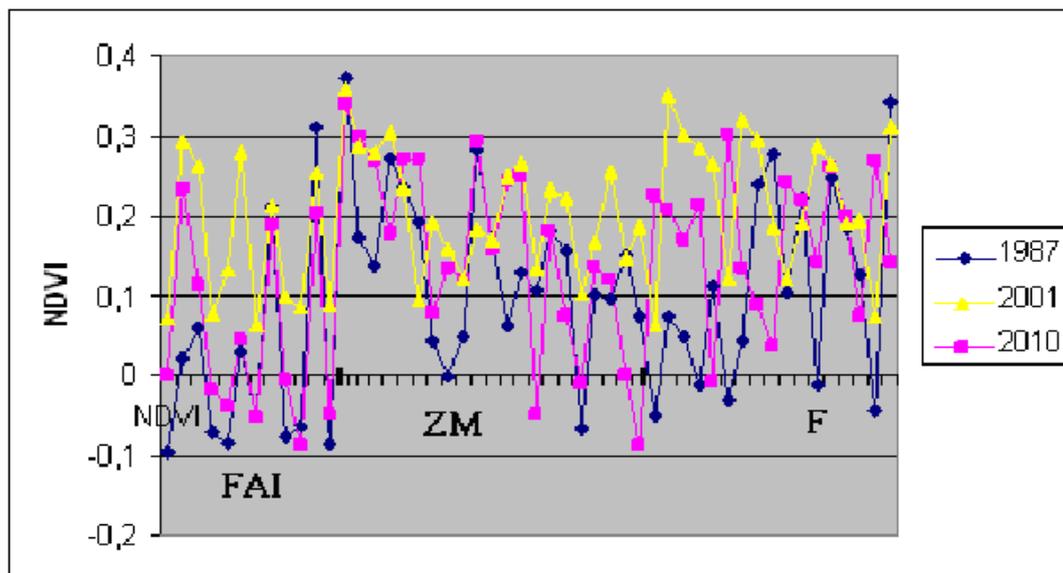


Figure 24 : Variation des NDVI calculés à partir des images LandSat.

Une vision générale de cette figure permet de déduire la forte variation de NDVI dans le temps. L'année 1987 a enregistré des valeurs faibles dans le site FAI, les autres sites sont variables entre 0,04 et 0,2 pour « ZM », 0,05 et 0,3 pour « F » cela nous permet de déduire que, à cet époque, la végétation était clairsemée composée essentiellement par des maquis éparses, alors que les NDVI enregistrés en 2001 sont importantes, elles sont comprises entre 0,1 et 0,3. Au cours de cette période, les services des forêts ont procédé à d'opérations d'amélioration, de protection et de production sylvicoles qui sont à l'origine des plantations de pins et Thuya. Quant à 2011, Les NDVI enregistrés pour le site FAI sont faibles et proches du seuil de sol nu, et ce est à cause aux incendies répétés qui sont accrus de façon significative durant cette décennie.

On remarque aussi que le site « ZM » donne des valeurs de NDVI presque identique pour toutes les dates de prise, ces résultats pourraient être interprété par les efforts des agriculteurs et des forestiers orientés vers l'encouragement des plantations d'arbres fruitiers sur les terres privées ou vers l'intensification des systèmes de culture, par l'encouragement des labours mécaniques et l'introduction de nouvelles cultures.

Les figures suivantes montrent la variation des NDVI en fonction des précipitations mensuelles correspondantes aux mois de prise des images satellitaires :

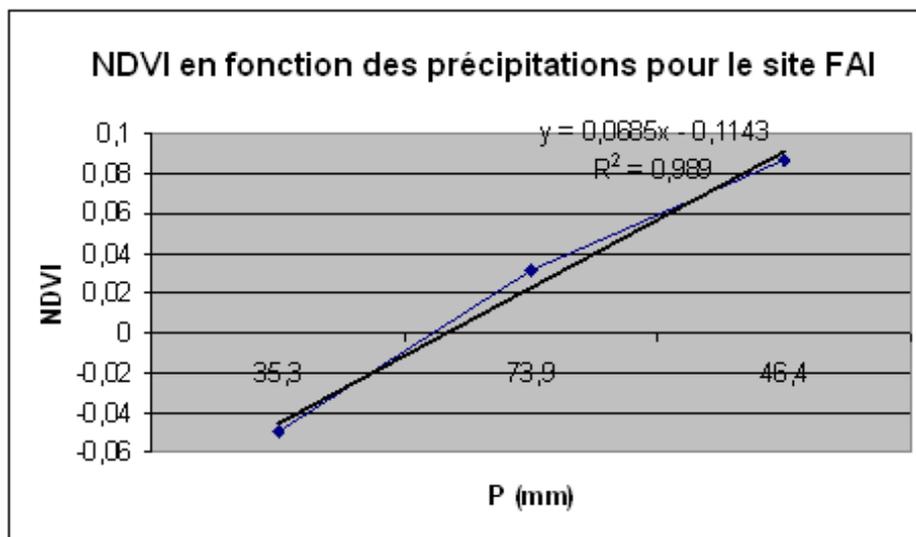


Figure 25: Variation de l'indice NDVI en fonction des précipitations pour le site FAI.

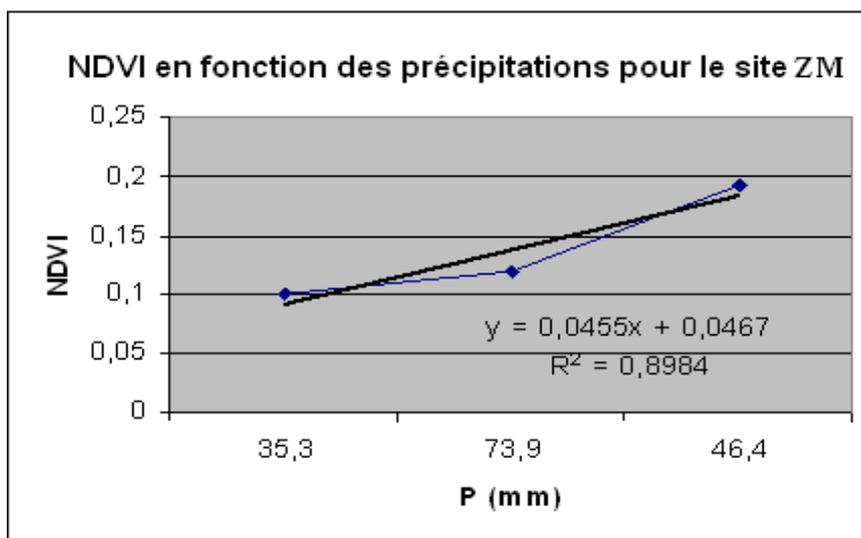


Figure 26: Variation de l'indice NDVI en fonction des précipitations pour le site ZM.

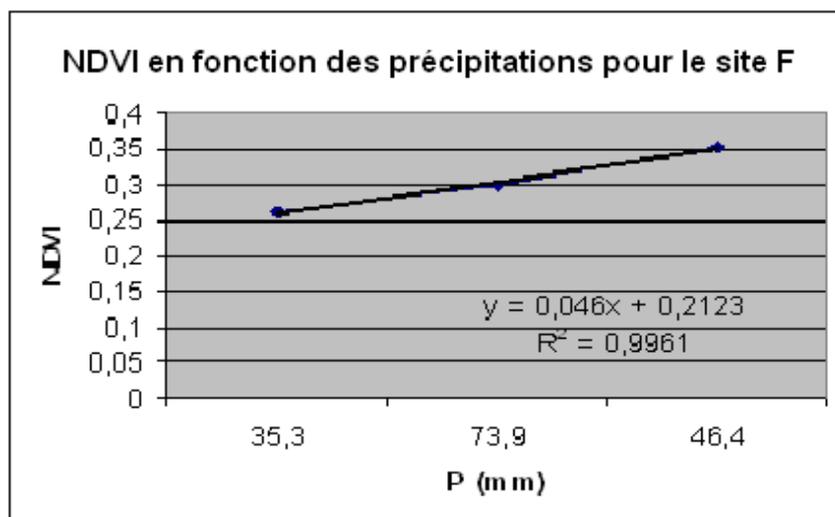


Figure 27: Variation de l'indice NDVI en fonction des précipitations pour le site F.

Les courbes de tendance pour les trois graphes sont des droites avec des coefficients de corrélation proche de 1 pour les sites « FAI » et « F » ce qui, tend à conforter l'hypothèse de dépendance des NDVI calculés aux pluviosités, nous constatons aussi le R^2 du site « ZM » est inférieur à celui des autres sites, ce s'explique que le NDVI est dépend non seulement au pluviométrie mais aux autres paramètres qui peuvent être les systèmes de culture ; car, la succession des cultures sur une parcelle et des techniques culturales qui leur sont appliquées est un facteur important où l'homme peut intervenir pour modifier la sensibilité des sols à l'agressivité des pluies.

3-2 Effet de la pluviométrie sur la variation du couvert végétal :

Pour étudier l'hypothèse selon laquelle l'évolution générale de la végétation pourrait être marquée par les conditions climatiques particulières précédant les prises de vue, on a examiné les précipitations et les températures sur la période allant de 1986 à 2011, et tout particulièrement celles des années 1986, 2000 et 2010. Toutefois, la station pluviométrique de Ténès a ouvert ses portes officiellement en 1990 ; par conséquent, l'image de 1987 a été choisie comme référence.

Les précipitations enregistrées à la station de Ténès au cours des années ayant précédé les prises de vue (Fig.28) montrent des variations sensiblement différentes.

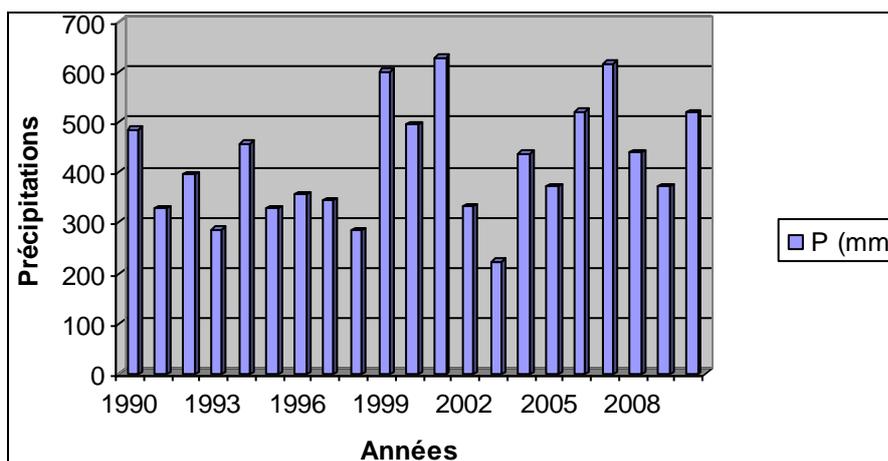


Figure 28: Précipitations annuelles connues de 1990 à 2010.

Les précipitations annuelles ont atteint 446,6 mm en 2000 et 517,6 mm en 2010. Dans ces deux années, les mois les plus arrosés ont été enregistrés en octobre (avec 99,6 et 129,6 mm pour 2000 et 2010 respectivement). Les valeurs minimales ont été enregistrées en juillet et août; 0,1 et 0,3 mm en 2000 et 0 et 3,7 mm en 2010. Pour les périodes ayant immédiatement précédées les prises de vue, notons les précipitations de janvier à mars ont atteint 73,4 mm en 2001 et 234,4 mm en 2010 avec une répartition sensiblement équilibrée entre les mois.

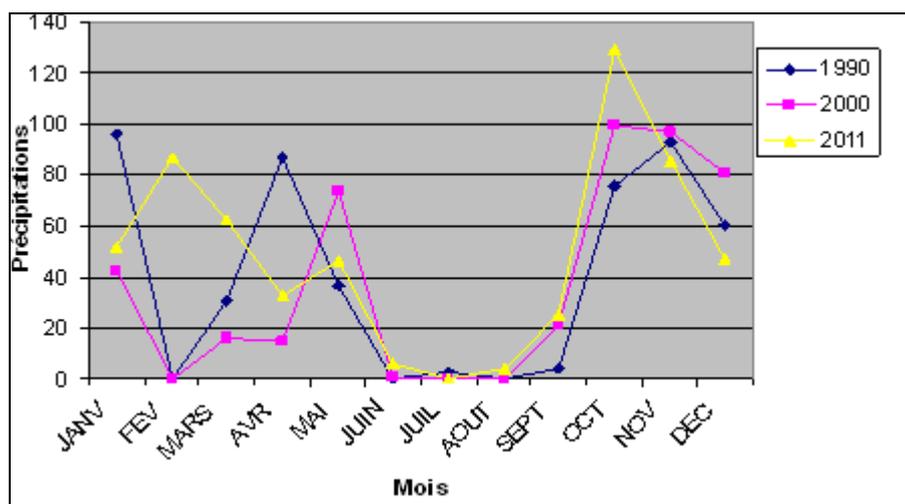


Figure 29: Précipitations moyennes mensuelles de 1990, 2000 et 2011 à la station de Ténès.

La visualisation concomitante de la précipitation moyenne mensuelle des trois dates (Fig.29) montre le pic pluviométrique de 100 mm et 130 mm en mois d'octobre pour les années 2000 et 2011 respectivement après une période sèche qui a duré trois mois avec un cumul de précipitation de moins de 10 mm pour les deux dates. Cette situation et outre les autres paramètres tel que : l'érodibilité des sols, la pente et la topographie... ; ont eu pour

résultat une accélération du ruissellement et de la dynamique érosive qui menace potentiellement le réseau hydrographique et les eaux de surface.

Cela nous permet de constater la concordance qui met en évidence la variation pluviométrique observée durant ces dernières décennies et la dégradation des sols dans le MBV de Tefeless. Les deux figures suivantes montrent le changement du couvert végétal durant la période 1987 -2001 et 2001- 2011.

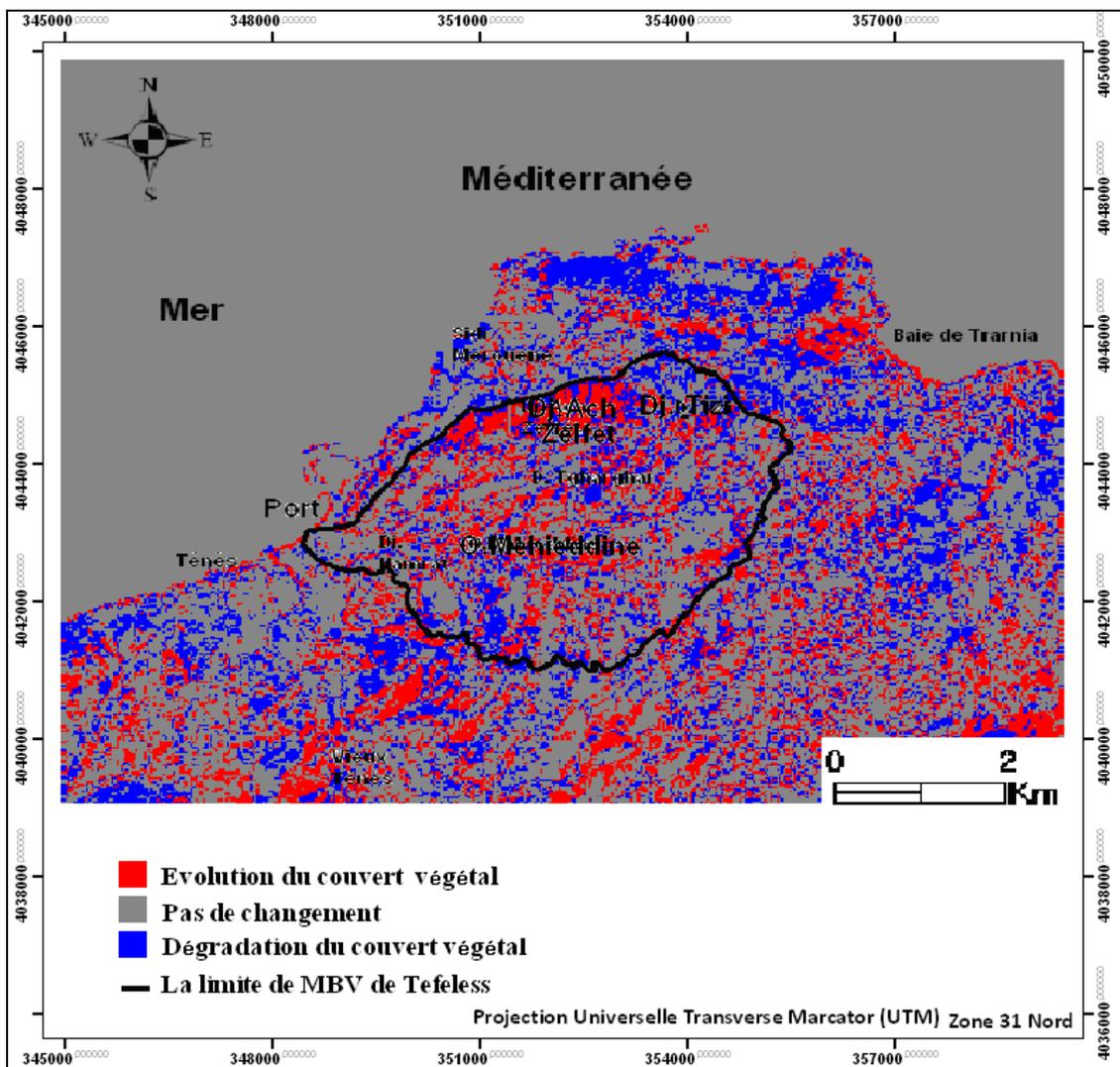


Figure 30: Carte de changement de la couverture végétale entre 1987 et 2001.

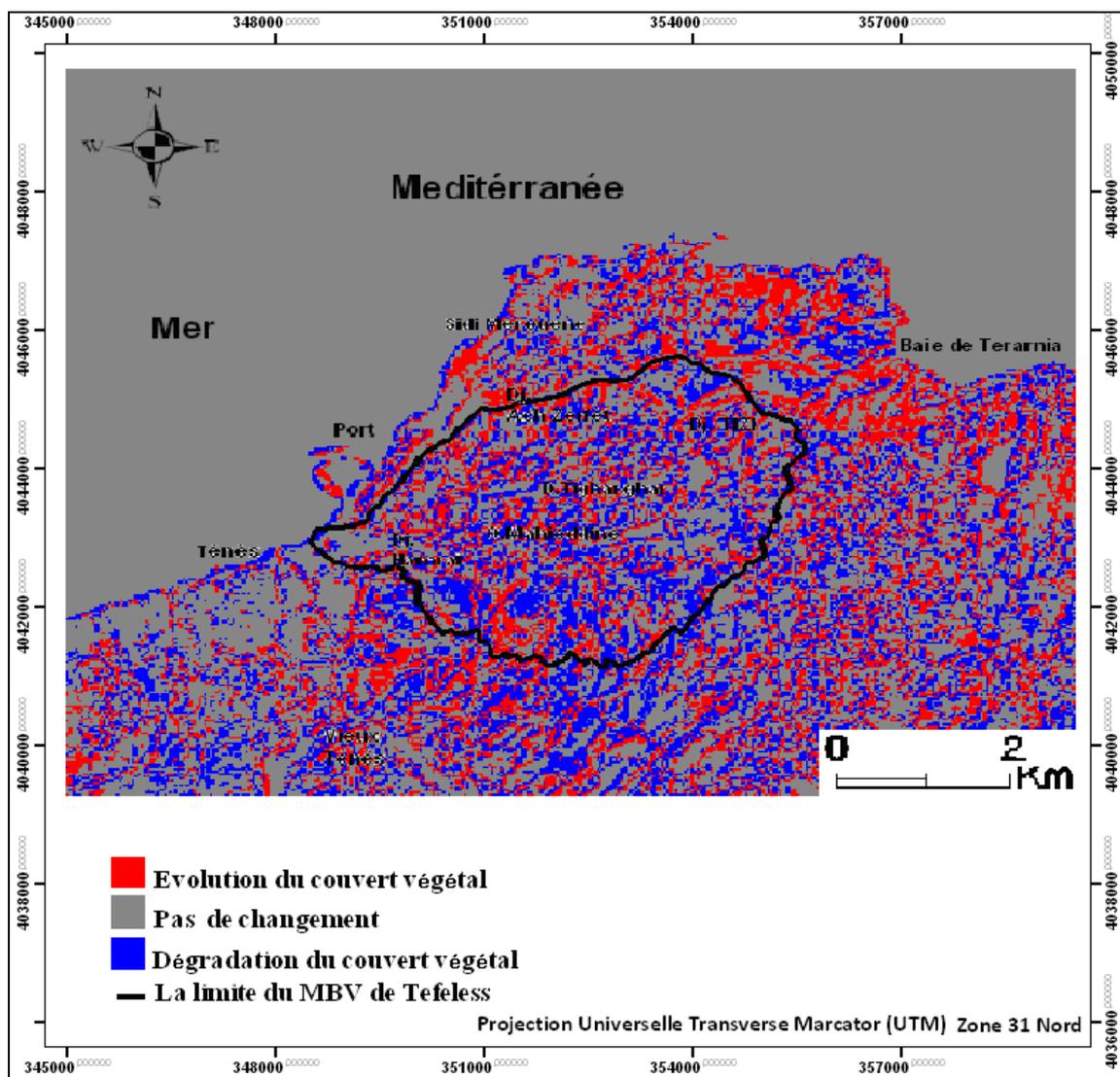


Figure 31 : Carte de changement de la couverture végétale entre 2001 et 2011.

La couleur rouge indique l'évolution de l'espace vert, elle est très répandue durant la décennie 1987-2001 surtout au nord spécialement au Djbel Ach Zerfèt, alors que la période 2001-2011 est marquée par la couleur bleu qui est synonyme d'une régression du couvert végétal surtout au sud de la zone d'étude précisément à Ouled Mahieddine et Djbel Latreche.

La régression du couvert végétal s'opère sous l'effet d'une pression humaine croissante d'année en année et leurs systèmes irrationnels d'utilisation des sols.

3-3 Réalisation de la classification supervisée :

Avant de procéder à la classification, on a choisi au préalable à l'aide de Google earth et des missions de reconnaissance de terrain, des régions d'entraînement (ROI) correspondant à des régions homogènes dont on connaît sa nature de l'occupation de sol. Ces échantillons représentent des régions de références délimitées par des polygones de pixels sur l'image à

classer (Fig.32) dont les caractéristiques spectrales vont être utilisées par la suite pour réaliser la classification.

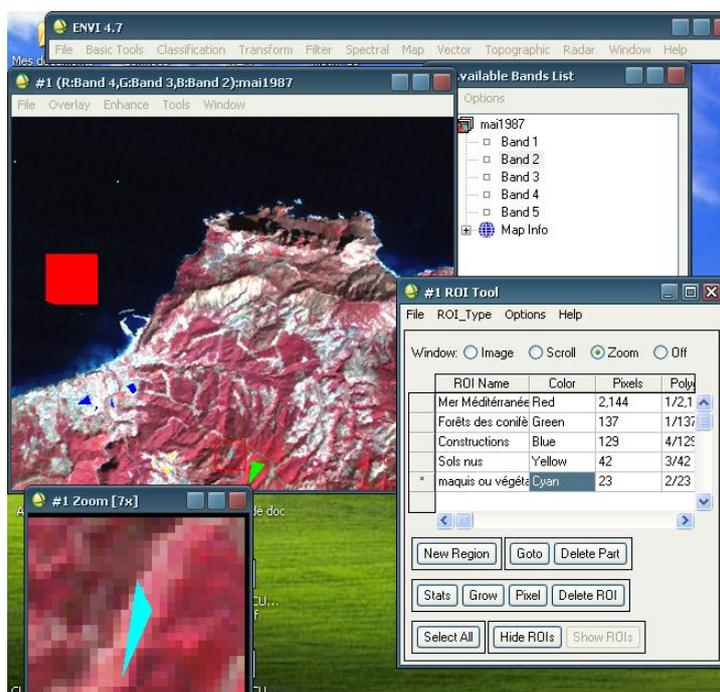


Figure 32: Exemples de régions d'intérêt sélectionnées sur l'image satellitaires.

L'étape suivante consiste à lancer la classification. Ainsi pour chaque date on a effectué une classification supervisée par la méthode du « maximum vraisemblance » qui consiste à assigner chaque pixel à la classe pour la quelle la probabilité d'appartenance est la plus élevée. Par conséquent, on a abouti à une typologie des principales occupations de sols retenues dans cette étude : Forêts des conifères ; Maquis ou végétations régénérées ; Cultures irriguées ; Sols nus ou Constructions.

Chaque réalité de terrain décrit une occupation du sol précise où sont associés un nom de classe et une couleur qui la différencie des autres thèmes. Les valeurs radiométriques caractérisant cette réalité résulteront de la moyenne des valeurs radiométriques prises par la totalité des pixels contenus dans l'ensemble des parcelles décrivant cette réalité de terrain. Un écart type moyen autour de cette valeur radiométrique est aussi calculé décrivant la variabilité de réponse radiométrique de la réalité considérée.

Les différents traitements effectués sur les trois scènes des images de 1987, 2001 et 2011 ont abouti à la réalisation de cartes d'occupation des sols dans le MBV de Tefeless, ce qui permet un suivi de la dégradation dans ce milieu semi-aride. Ces cartes (Fig. 34, 35 et 36) permettent d'identifier les diverses composantes de l'espace étudié, de comparer l'état du

couvert forestier et des cultures irriguées aux trois dates, et donc d'analyser le phénomène de la dégradation des terres.

De cette analyse, il ressort qu'on a arrivé à avoir une bonne performance de la classification avec un Coefficient de Kappa=0,96 ; 0,92 et 0,94 (Tab.16, 17 et 18) pour l'année 1987 ; 2001 et 2011 respectivement.

Il est à noter que les confusions qui existent entre les différentes catégories de l'occupation et d'utilisation du sol de la région d'étude ont été levées grâce à une interprétation visuelle effectuée sur l'image classifiée.

Tableau 16 : Matrice de confusion de l'estimation de la classification de l'image TM de LandSat pour l'année 1987.

| Classes | Mer Méditerranée | Forêts des conifères | Maquis ou végétations régénérées | Végétations irriguées | Sols nus ou constructions |
|----------------------------------|------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Mer Méditerranée | 100 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| Forêts des conifères | 00 | 95,22 | 3,70 | 00 | 00 |
| Maquis ou végétations régénérées | 00 | 4,78 | 90,74 | 5,77 | 00 |
| Végétations irriguées | 00 | 00 | 5,56 | 92,31 | 3,70 |
| Sols nus ou constructions | 00 | 00 | 00 | 1,92 | 96,3 |

Tableau 17: Matrice de confusion de l'estimation de la classification de l'image TM de LandSat pour l'année 2001

| Classes | Mer Méditerranée | Forêts des conifères | Maquis ou végétations régénérées | Végétations irriguées | Sols nus ou constructions |
|----------------------------------|------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Mer Méditerranée | 99,91 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| Forêts des conifères | 00 | 92,63 | 11,25 | 1,37 | 00 |
| Maquis ou végétations régénérées | 00 | 7,37 | 80,0 | 9,59 | 00 |
| Végétations irriguées | 00 | 00 | 8,75 | 87,67 | 2,86 |
| Sols nus ou constructions | 0,09 | 00 | 00 | 1,37 | 97,14 |

Tableau 18: Matrice de confusion de l'estimation de la classification de l'image TM de LandSat pour l'année 2011.

| Classes | Mer Méditerranée | Forêts des conifères | Maquis ou végétations régénérées | Végétations irriguées | Sols nus ou constructions |
|----------------------------------|------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Mer Méditerranée | 100 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| Forêts des conifères | 00 | 93,22 | 3,33 | 00 | 00 |
| Maquis ou végétations régénérées | 00 | 6,78 | 91,11 | 5,77 | 00 |
| Végétations irriguées | 00 | 00 | 5,56 | 93,27 | 00 |
| Sols nus ou constructions | 00 | 00 | 00 | 0,96 | 100 |

La classification et l'analyse des trois cartes d'occupation du sol de la région donnent les résultats suivants :

-Pour l'année 1987 : l'observation des chiffres du tableau 19 déduit de la matrice de confusion et la figure 33 qui illustre l'occupation du sol daté en 1987 montre que: Plus de 826 ha de superficie du MBV de Tefeless était nue notamment au nord (au Djbel Ach Zerfèt), et à l'est (Douar Tizi), au niveau d'Ouled Mahieddine c'est le couvert forestier qui marque sa dominance avec une superficie 815,5 ha dont l'espèce dominant était le pin d'Alep (*Pinus halepensis*), alors que le centre est occupé par des maquis et des garigues, soit un pourcentage de 14%. D'autre formation ne couvrent qu'une petite superficie ; les cultures irriguées d'une superficie de 328.6 ha qu'occupent les surfaces côtières et les terrains des bordures d'Oued Tefeless.

Tableau 19: la répartition des espèces au sein de la région d'étude en 1987.

| Occupation du sol | Superficies (ha) | Pourcentage (%) |
|----------------------------------|------------------|-----------------|
| Forêts des conifères | 815.58 | 32,81 |
| Maquis ou végétations régénérées | 350.24 | 14,1 |
| Végétations irriguées | 328.63 | 13,22 |
| Sols nus ou constructions | 826.789 | 33,26 |

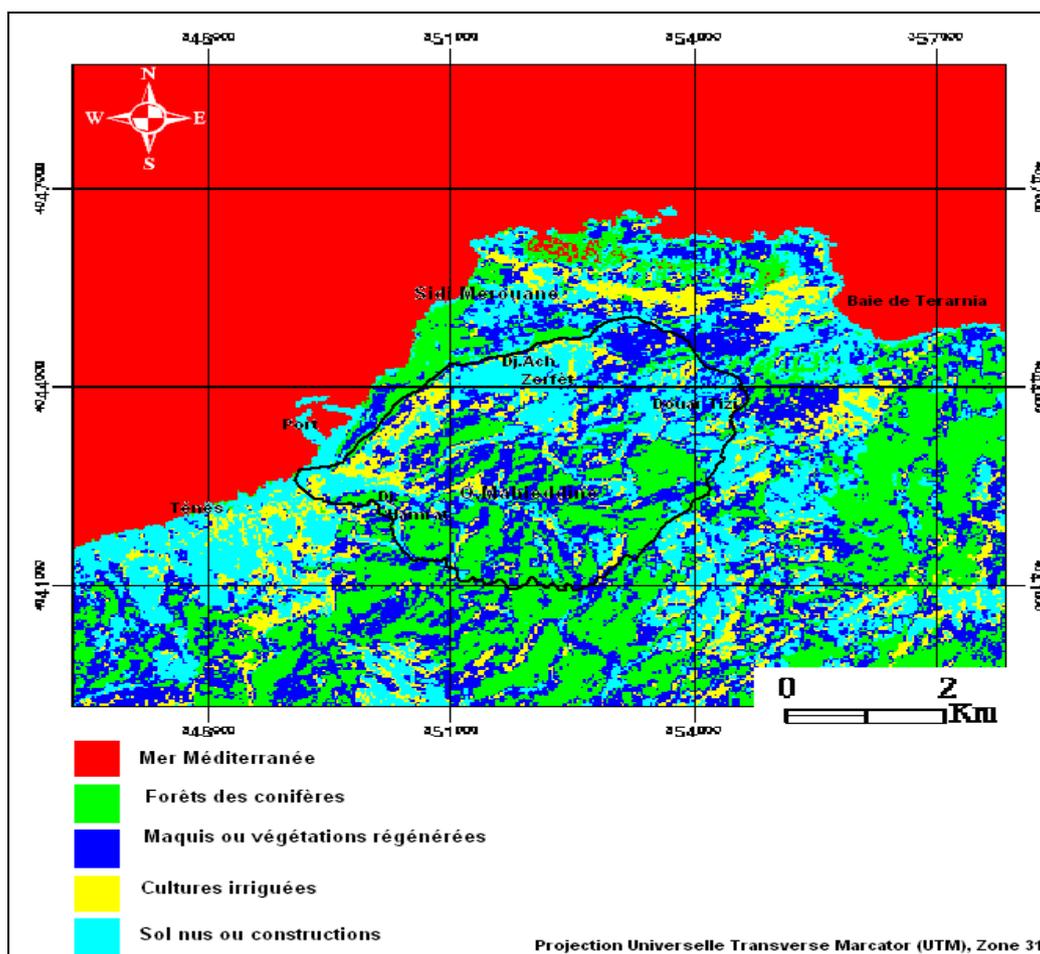


Figure 34: Carte d'occupation des sols en 1987.

- **Pour les années 2001 et 2011** : Les deux cartes d'occupation du sol (2001 et 2011) et les chiffres des tableaux 20 et 21 présentent un grand changement ou niveau des classes par rapport à la carte d'occupation des sols de l'année 1987.

Les maquis et végétations régénérées connaissent une augmentation considérable de la surface occupée entre 1987 et 2011. La surface qu'ils occupaient a pratiquement triplée ; elle est passée de 350 ha à 930 ha. Quant à la classification de l'image de 2001, la comparaison des trois cartes montre une augmentation très importante des maquis et végétations régénérées ; cette augmentation a eu lieu, notamment durant la période 2001-2011.

Les cultures irriguées occupent également une surface plus grande 612, 3 ha en 2011 (soit 27,18 %) par rapport à celle qu'elles occupaient en 1987 environ 328.6 ha (soit 13,22 %).

Les forêts présentent une régression considérable entre 1987 et 2011. Elles étaient réparties sur 33 % de la surface totale de la zone d'étude en 1987, nous les retrouvons

seulement avec 14% (soit une superficie de 316 ha) en 2011, et dans quelques endroits bien particuliers au Sud (à Ouled Mahieddine) leur disparition est presque totale, la diminution est d'environ la moitié durant ces 20 ans.

Quant à la classification de l'image de 2001, on observe une régression très importante des forêts entre 1987 et 2001 qu'entre 2001 et 2011, elle est passée de 815.58 ha à 543.23 ha.

Les cultures irriguées ont connu une augmentation considérable durant la période de la surface entre la période 1987 et 2001: de 13,22% à 23,94%, mais la période 2001-2011 est marquée par une stabilité de surface.

Nous remarquons que les terres nues, et les constructions ont subi un grand changement durant la période 1987-2001 : 33,26% contre 11,87%, elles ont diminué presque d'un tiers (1/3). Mais après 2001 on remarque une stabilité de surface.

Tableau 20 : la répartition des espèces au sein de la région d'étude en 2001.

| Occupation du sol | Superficies (ha) | Pourcentage (%) |
|----------------------------------|------------------|-----------------|
| Forêts des conifères | 543.23 | 21,85 |
| Maquis ou végétations régénérées | 882.99 | 35,52 |
| Végétations irriguées | 595.05 | 23,94 |
| Sols nus ou constructions | 295.17 | 11,87 |

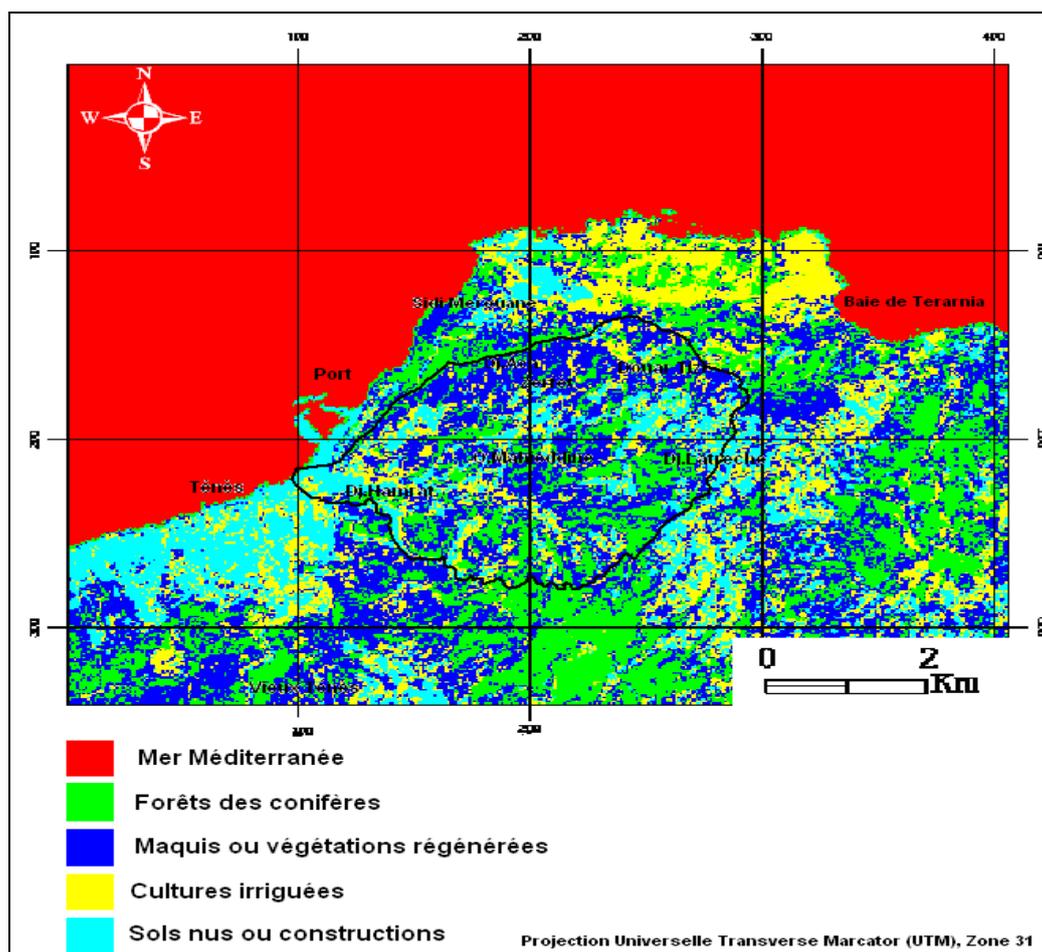


Figure 35 : Carte d'occupation des sols en 2001.

Tableau 21 : la répartition des espèces au sein de la région d'étude en 2011.

| Occupation du sol | Superficies (ha) | Pourcentage (%) |
|----------------------------------|------------------|-----------------|
| Forêts des conifères | 315.99 | 14,02 |
| Maquis ou végétations régénérées | 930.6 | 41,31 |
| Végétations irriguées | 612.27 | 27,18 |
| Sols nus ou constructions | 241.74 | 10,73 |

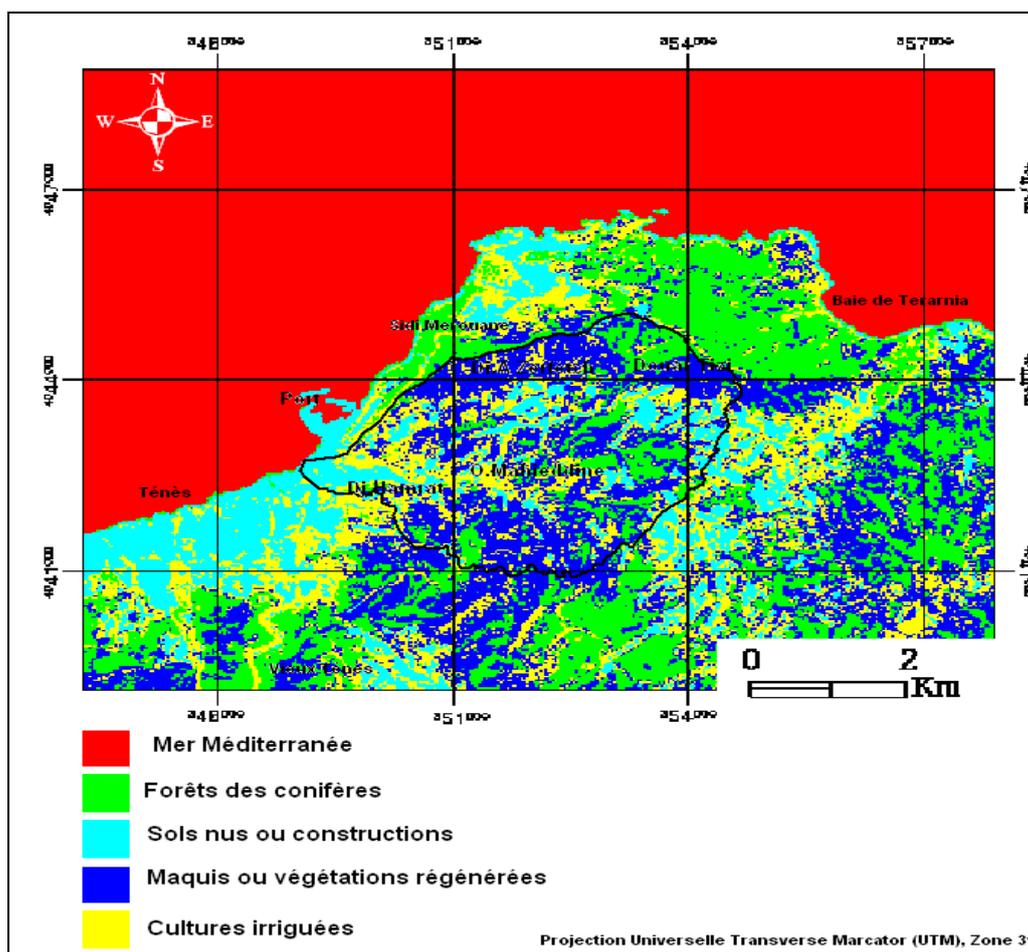


Figure 36 : Carte d'occupation des sols en 2011.

L'analyse des cartes de suivi et d'occupation des sols pour toute la zone met en évidence l'impact de l'action anthropique représentée par l'extension des surfaces des maquis des végétations régénérées et des cultures irriguées et la régression du couvert forestier.

En effet, l'observation du tableau 22, représentant l'évolution des surfaces des unités d'occupation de sol des trois dates 1987, 2001, et 2011 révèle que ; cette zone a subi des changements importants qui se manifestent par une réduction du couvert forestier. Cette régression de la forêt a engendré l'extension des maquis et les espaces des cultures irriguées. Il faut noter aussi que les causes essentielles de la dégradation des couverts végétaux dans le MBV de Tefeless sont : les incendies, l'exploitation abusive du bois, le surpâturage, (Selon le service de Conservation des forêts, Chlef 2011)

Tableau 22: Evolution des surfaces des unités d'occupation du sol pendant les trois dates 1987, 2001 et 2011.

| Unités d'occupation du sol | Surface en 1987 | | Surface en 2001 | | Surface en 2011 | | Évolution en (ha) de 1987 à 2011 |
|---|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|----------------------------------|
| | % | ha | % | ha | % | Ha | |
| Forêts des conifères | 32,8 | 815.58 | 21,8 | 543.23 | 14 | 315.99 | -499,59 |
| Maquis ou végétations régénérées | 14,1 | 350.24 | 35,5 | 882.99 | 41,3 | 930.6 | 580,36 |
| Végétations irriguées | 13,2 | 328.63 | 23,9 | 595.05 | 27,2 | 612.27 | 283,64 |
| Sols nus ou constructions | 33,3 | 826.79 | 11,9 | 295.17 | 10,7 | 241.74 | -585,05 |

4- Action d'utilisation des terres sur la diminution de la végétation :

Les activités humaines peuvent être classées en quatre catégories (les incendies et le déboisement, le surpâturage, la population et le système de culture).

4-1 Incendies et déboisement :

Le feu constitue l'ennemi numéro un de la forêt, les incendies répétés détériorent la forêt et provoquent sa dégradation jusqu'à la disparition totale du manteau forestier et du sol. Les risques d'incendies et les ravages du feu sont d'autant plus grands que la saison sèche est plus longue et que la végétation est plus sensible et inflammable.

D'après **Arfa (2008)**, pour la wilaya de Chlef, la moyenne annuelle des superficies incendiées se chiffre à 10 000 ha entre 1985 et 2006. La forêt de Tefeless a perdu une grande surface (Tab. 23), quoique des efforts et des campagnes de reboisement réalisées annuellement depuis l'indépendance, le taux de boisement n'a pas dépassé 10 et 12% (**Service de conservation des forêts, 2011**), et est loin du taux escompté de 25 % nécessaire pour arriver à un équilibre biologique, ce qui résulte la fragilisation des écosystèmes en réduisant leur régénération, la perte de superficies pastorales et l'extension de l'érosion des terres. Signalant que la cause majeure de ces incendies est liée au trouble social, en raison notamment, de la conjoncture sécuritaire difficile qu'a traversé le pays durant la décennie 1990-2000.

Tableau 23: La superficie brûlée par incendies durant la dernière décennie.

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Année | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 |
| Sup. (ha) | 9,1 | 205,65 | 49,3 | - | - | - | 351,83 | 160,4 | 105 | 104 | 29,2 | 79,8 |
| Année | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | / |
| Sup. (ha) | 2 | 4,3 | 0,8 | - | - | 160 | - | - | - | 100 | 2 | / |

(-) : manque de données

Source : Service de conservation des forêts, 2011.

Il est à noter que, les utilisations non raisonnées de certains outils et équipements agricoles sur des sols en pentes fragiles et le recours au défrichage en vue d'élargir les superficies agricoles, ont souvent provoqué les résultats inverses à ceux escomptés. De même que la réalisation de certaines cultures ou plantations arboricoles mal adaptées au sol.

Enfin, et d'après ce qui a été cité précédemment, on remarque que le déboisement et des incendies ont un effet désastreux sur la végétation, en exposant le sol aux érosions hydriques et éoliennes.

4-2 Le surpâturage :

Par définition, le surpâturage est le résultat d'une trop grande concentration de bétail sur un espace donné (El Zerey et al., 2009). Il se traduit par la disparition des espèces végétales comestibles et par le développement consécutif d'espèces non comestibles. Si cette trop lourde pression exercée par le pâturage se poursuit, la disparition du couvert végétal risque de provoquer une érosion du sol.

La croissance démographique a rendue nombreuse et qui est en majorité s'est rabattue sur les élevages caprins et ovins comme source de revenu principale, résultant une charge pastorale importante dans le MBV de Tefeless, elle est de l'ordre de 0,45 équivalent ovin/ ha. Les ovins et les caprins sont les plus nombreux ; sachant que, ces derniers sont les plus dévastateurs du fait qu'ils peuvent se nourrir des branches des arbres. C'est en été que la forêt de Tefeless est plus menacée par le pâturage (Service de conservation des forêts, 2011). Malgré l'interdiction du pâturage par des lois strictes, les bergers tentent de diriger les troupeaux vers les sous-bois d'où ils consomment les jeunes pousses, ce qui empêche la régénération, aussi que le feuillage des arbres.

En définitive, le surpâturage contribue pour une bonne part à la dégradation du couvert végétal dans notre zone d'étude.

4-3 Démographie et politique d'aménagement du territoire :

Selon les résultats obtenues, en terme d'accroissement démographique, la population de la région d'étude a évolué selon un rythme d'accroissement soutenu de l'ordre de 1,4% durant la période de 1990 – 2010 comparé à la moyenne nationale observée durant la même période et qui était de l'ordre de 2,3 % (**DPAT, 2011**).

Ceci pose quelques interrogations par rapport au mode de construction et mode de vie, dont on remarque des concentrations des habitats qui forment des douars et des petits centres administratifs basant essentiellement sur l'agriculture.

Une forte pression démographique soumet le milieu à une exploitation excessive qui travaille à la fragilisation de l'écosystème. Ce constat a été même soulevé par **Le Houerou (1983, in El Zerey et al., 2009 ; Benslimane et al., 2011)**, où il a noté que dans la plupart des zones arides mondiales, la population s'accroît au rythme exponentiel de 2,5% à 3,5% par an, et parfois plus. Les zones, où la pression démographique est la plus intense sont aussi les zones où le risque de la dégradation est plus aigu.

Conclusion :

L'exploitation des résultats obtenus dans ce chapitre, permet de conclure l'ampleur de la dégradation du couvert végétal et l'importance de la lutte, on procédant tout d'abord à l'aménagement et à la réalisation des travaux sylvicoles, à l'ouverture et l'entretien des infrastructures et équipements, pour pouvoir prétendre à une gestion rationnelle et durable, de mettre en place des dispositifs de prévention et de lutte contre les feux de forêts, de développer des techniques culturales adaptées aux zones semi-arides et de restructurer les pentes en limitant la longueur et l'inclinaison des versants par toute une série de banquettes d'absorption totale.

Arrivons au terme de ce travail qui nous a passionné et enrichi, nous tirons la conclusion qu'avec une somme de données précises, des logiciels adéquats, la télédétection est un outil conséquent pour traiter de manière exhaustive l'étude de la variation de couverture végétale et son impact sur le milieu.

Chapitre IV:
Etude de l'aspect quantitatif

Introduction :

L'érosion du sol demeure un problème de taille pour l'agriculture, car elle entraîne des coûts et dégrade la productivité naturelle du sol. Il est donc nécessaire d'améliorer les modèles de prévision pour évaluer la nature et l'étendue de ce problème à l'échelle locale, régionale et nationale.

La présente étude se propose de quantifier ce phénomène, Nous utilisons un modèle d'érosion à une base physique WEPP (Water erosion prediction project) qui prévoit non seulement le détachement des particules du sol mais également le dépôt des sédiments le long des pentes complexes sur une base quotidienne (Flanagan et al., 2000). Il a été publié en 1995 par le ministère américain de l'Agriculture et de l'Intérieur, pour l'application sur les terres cultivées, pâturages, forêts et autres terres gérées (Flanagan et Nearing 1995 in Gete et al.1999). C'est un modèle qui repose sur des équations mathématiques physique et qui est applicable aussi pour estimer la perte en sol des petits bassins versants (Pudasaini, 2004) (Fig. 37).

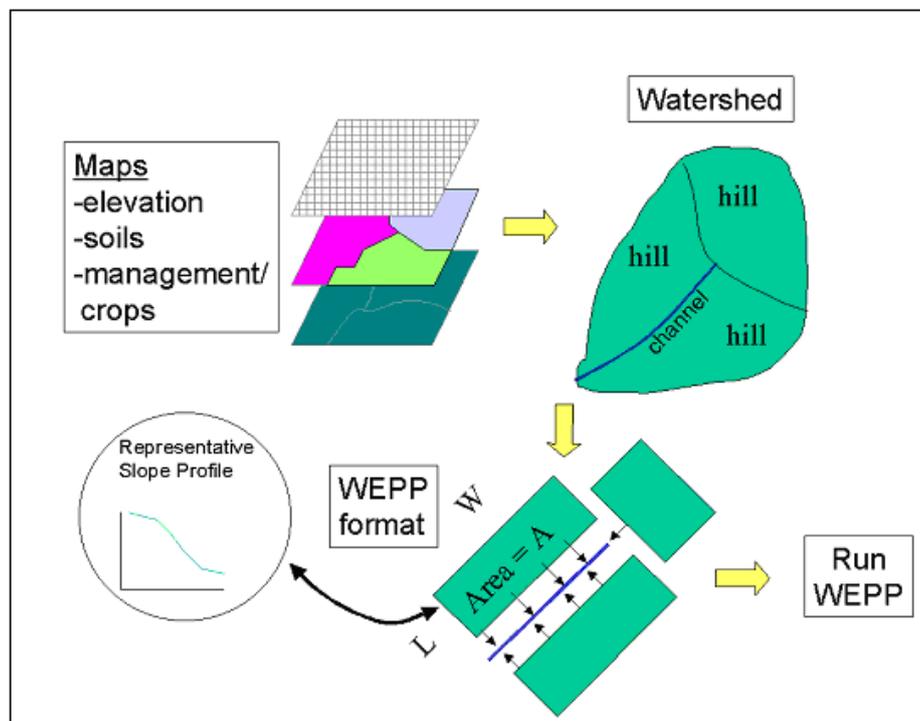


Figure 37 : Les étapes de la discrétisation d'un bassin versant pour un modèle de simulation.
(Flanagan et al., 2000)

I- Méthodologie de travail :

Il s'agit au premier lieu de repérer, à partir de l'image satellitaire mai 2011, les différents sites représentatifs du MBV de Tefeless (Fig .38), en considérant la région de «Dj. Hamrat » comme région diagnostic de la régression du couvert végétal durant la période 1987-2011.

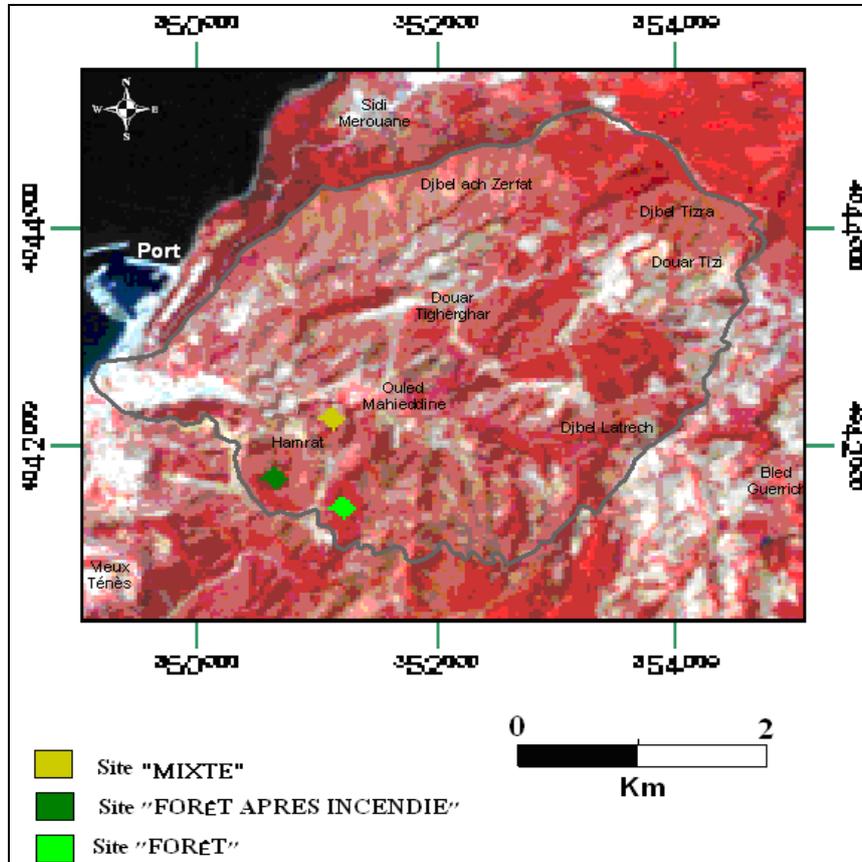


Figure 38: Localisation des sites représentatifs du MBV de Tefeless.

Pour une bonne conduite, on a mesuré la pente et les altitudes par rapport au niveau de la mer par le GPS, du chaque site (trois segments pour chaque site) (tab. 24).

Tableau 24 : La pente des sites d'observation.

| Sites | Segment 01 | Segment 02 | Segment 03 |
|----------------------|------------|------------|------------|
| Zone mixte | 34 % | 31 % | 34 % |
| Forêt après incendie | 40 % | 33 % | 32 % |
| Forêt de Pin d'Alep | 20 % | 29 % | 30 % |

Etant donné le manque de moyen et la difficulté d'accès dans les régions forestières, nous avons essayé de sélectionner des sites d'observation qui présentent les modes

d'occupation du sol les plus dominants, et qui sont relativement proches des uns aux autres, pour permettre faire la comparaison côte à côte des sols adjacents ayant différents types d'utilisation des terres et où la dégradation est présentée sur un et non sur l'autre.

2- Présentation du modèle WEPP :

Le modèle WEPP exécute des simulations basées sur les données qu'il tire de diverses bases de données. Elles comprennent le climat, le sol, la pente et la façon de culture. Le WEPP fonctionne de façon similaire au logiciel Arc Map, il enregistre les chemins d'accès aux fichiers de base de données. Pour cette raison, lorsque les fichiers sont créés et enregistrés dans le WEPP, ils doivent être enregistrés dans leurs bases de données appropriées. (Elliot et Hall, 1997 ; Pudasaini, 2004).

Les principales interfaces du modèle pour introduire les données d'entrées comme input nécessaire sont représentées dans la figure ci-dessous :

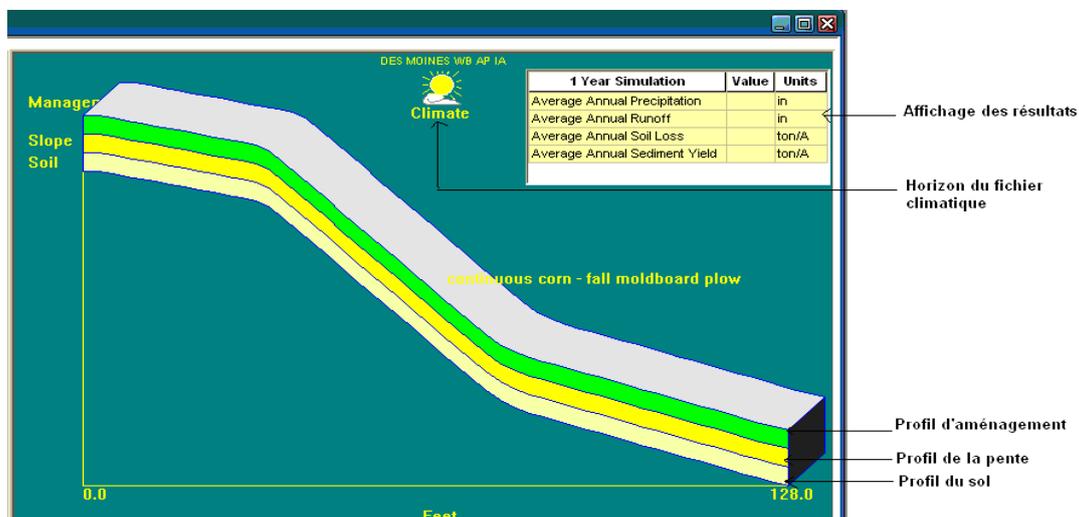


Figure 39: interface principale de WEPP.

3-Fichiers nécessaires pour exécuter le WEPP :

Pour exécuter le modèle WEPP, les données d'entrées pour simuler une parcelle accidentée doivent être précisés dans quatre fichiers:

- ❖ Un fichier pour le climat de la région ;
- ❖ Un fichier sur le sol de la parcelle étudiée ;
- ❖ Un fichier de la pente ;
- ❖ Un fichier sur les façons culturales et la couverture du sol.

Ce qui suit est un bref résumé sur la façon de construire ces fichiers.

a)- Fichiers d'entrée de pente :

Selon la topographie des bassins versants et des sols, chaque bassin versant est divisé en plusieurs versants. La figure 40 montre le profil complexe de la parcelle et la longueur du segment avec sa pente.

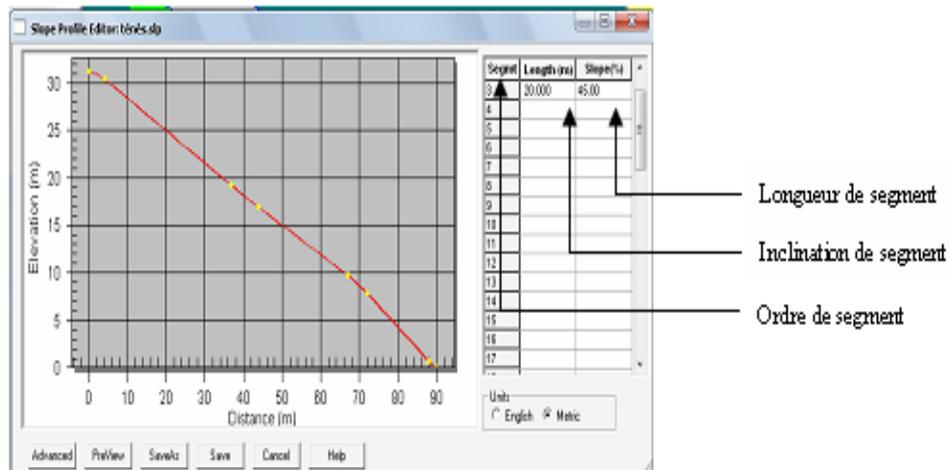


Figure 40: interface de l'éditeur de la pente.

b)- Fichiers d'entrée du Sol :

Les paramètres : teneur en matière organique, pourcentage d'argile, pourcentage de limon, pourcentage de sable, albédo du sol, capacité d'échange cationique et pourcentage de la couverture de pierres (Fig. 41) sont nécessaires pour sa configuration et ont également été obtenus à partir d'analyse détaillée des sols (voir annexe 2).

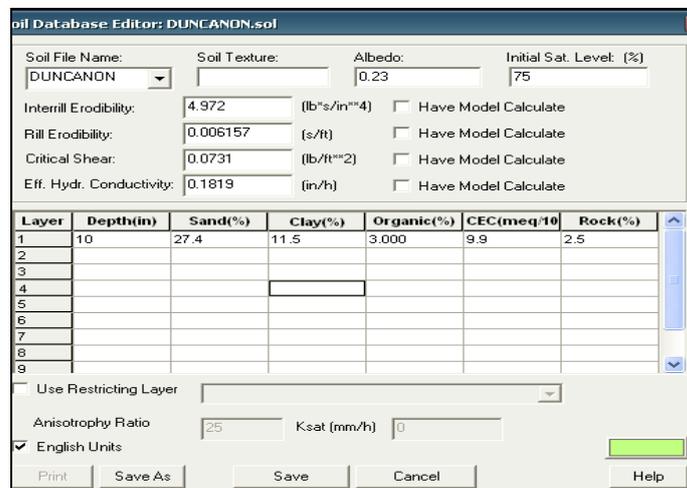


Figure 41: Interface de l'éditeur de sol et ses paramètres d'entrés.

- La texture :

Un échantillon de sol a été prélevé de 15 à 20 cm de profondeur, laissé à l'air libre jusqu'à le séchage, ensuite il est analysé au laboratoire (LPB) on lui appliquant la méthode de granulométrie.

L'analyse granulométrique a pour objectif de classer les particules minérales du sol par catégories de diamètre afin de déterminer sa texture sur le triangle de texture (Fig. 42).

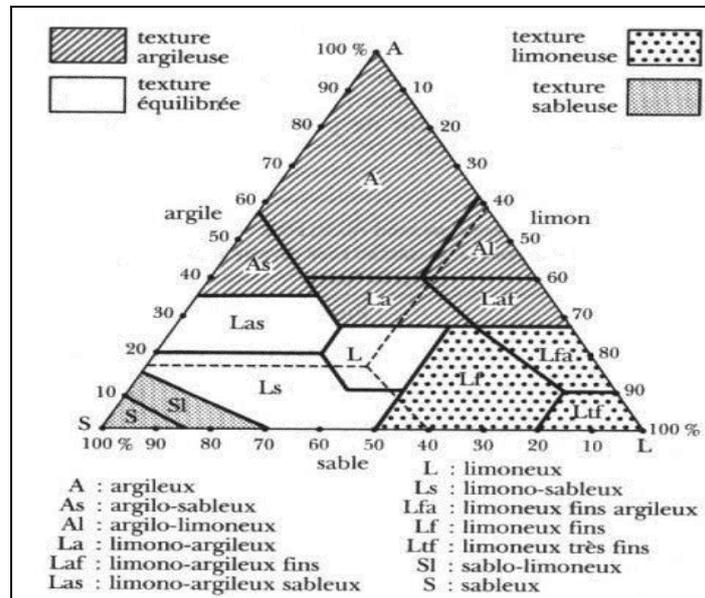


Figure 42 : Diagramme de classification des textures.

Les résultats obtenus pour les trois sites sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau 25 : Pourcentage des particules minérales des sols.

| | Site « forêt » | Site « forêt après incendie » | Site « Zone mixte » |
|--------------------|------------------|-------------------------------|---------------------|
| Argile (%) | 30,05 | 25,95 | 18,45 |
| Limon grossier (%) | 20,33 | 20,62 | 17,23 |
| Limon fin (%) | 10,15 | 12,50 | 18,10 |
| Sable grossier (%) | 21,48 | 12,30 | 10,89 |
| Sable fin (%) | 14,99 | 29,18 | 35,33 |
| Texture | Limono-argileuse | Limoneuse | Limoneuse |

- La matière organique :

La détermination de la matière organique a été estimée d'après la méthode de ANNE, dont sa formule est la suivante :

$$C\% = \frac{(V_t - V_s)0,6}{P} 100 \quad \text{d'où} \quad \text{MO}\% = 1,724C\% \quad (17)$$

Avec :

- C%** : taux de carbone organique ;
- V_t** : Volume total de l'échantillon ;
- V_s** : Volume sec ;
- P** : poids total de l'échantillon ;
- MO%** : Pourcentage de la matière organique.

Les données du taux de carbone organique et le pourcentage de la matière organique sont indiqués dans le tableau suivant :

Tableau 26 : Pourcentage du carbone organique et de la matière organique des sites.

| | Site « forêt » | Site « forêt après incendie » | Site « zone mixte » |
|------|----------------|-------------------------------|---------------------|
| C % | 5,01 | 5,92 | 1,28 |
| MO % | 8,64 | 10,21 | 2,21 |

-L'albédo (R₀) :

L'Albédo est défini comme étant une réflectance de surface dans le domaine de l'énergie solaire (0,3-3 μm). Il est calculé par la formule proposée par **Liang et al., (2002 in Souidi et al., 2010)** :

$$R_0 = 0,356.r_1 + 0,13.r_3 + 0,373.r_4 + 0,085.r_5 + 0,072.r_7 - 0,0018 \quad (18)$$

r_i : est la réflectance dans le canal i du capteur TM (avec i=1, 3, 4, 5 et 7).

A titre indicatif, nous représentons le résultat obtenu pour le MBV de Tefeless pour l'année 2011 (Fig. 43) et les valeurs d'Albédo pour chaque site représentatif (Tab. 27). Les zones où le couvert végétal est dense, elles sont caractérisées par des valeurs faibles d'albédo, alors que celles qui présentent des sols à recouvrement végétal faible ont des valeurs d'albédo élevées.

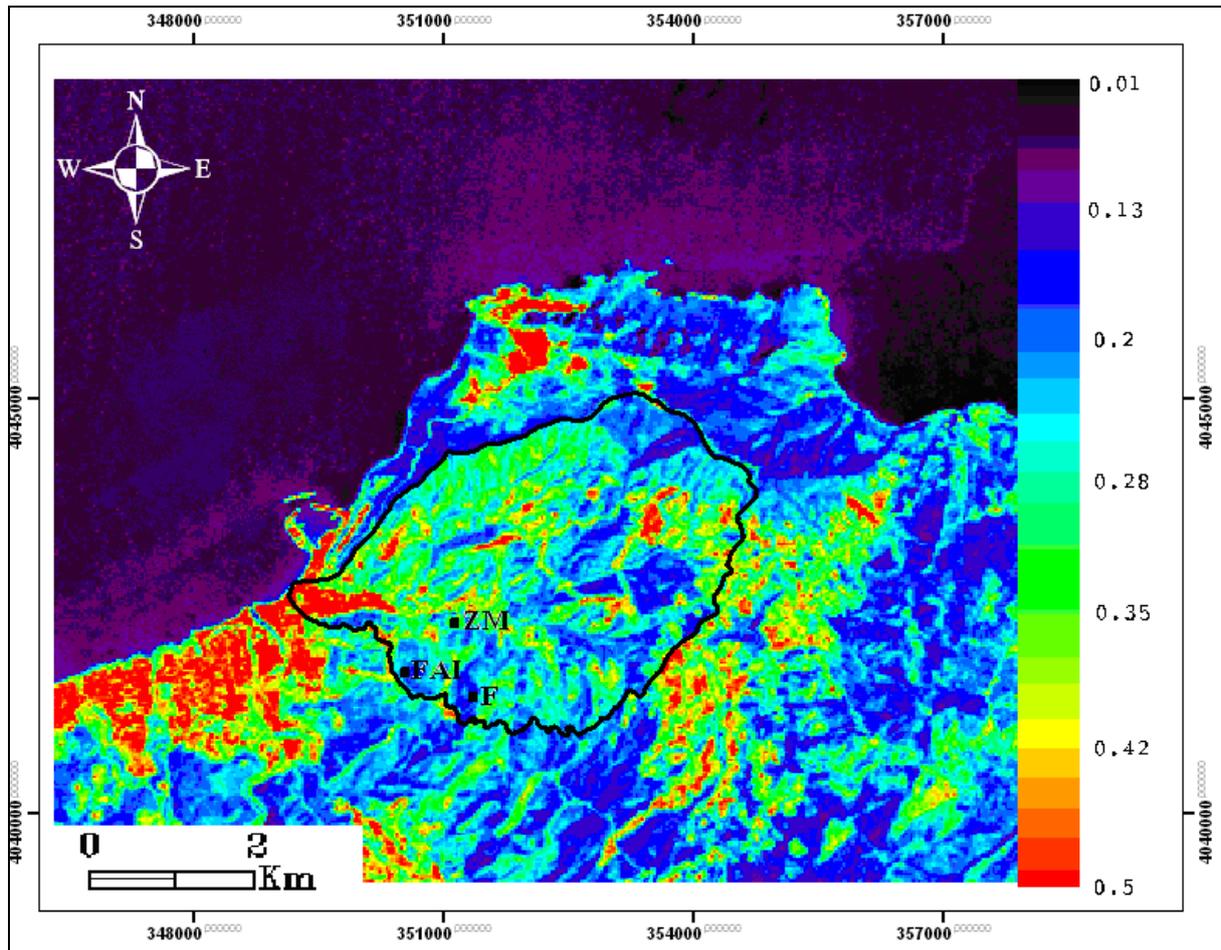


Figure 43: Cartographie de l'albédo (R_0) du MBV de Tefeless (Année 2011).

Tableau 27: les valeurs de l'Albédo des sites représentatifs.

| | Site « forêt » | Site « forêt après incendie » | Site « zone mixte » |
|-------|----------------|-------------------------------|---------------------|
| R_0 | 0,14 | 0,23 | 0,38 |

d)- Fichiers d'entrée du Climat :

Avec l'avènement des technologies informatiques, le modèle de nouvelle génération est généralement fourni avec des outils pour créer des fichiers d'entrée ou des ensembles de données requises par le modèle. Le WEPP utilise un programme autonome appelé CLIGEN (Flanagan et Nearing, 1995 in Gete et al.1999) qui génère un fichier d'entrée de climat, et qui a une base de données d'environ 7000 stations aux Etats-Unis.

L'obtention des fichiers d'entrée avec les paramètres requis pour le CLIGEN en dehors des États-Unis peut être confronté à un problème grave (Gete et al.1999). Cette limitation d'utilisation du modèle hors pays d'origine a été résolue par le lancement d'un autre

programme autonome appelé **PBCDG** (Break Point Climate Data Generator). En effet, ce modèle permet de créer le fichier climat nécessaire au bon fonctionnement du WEPP de n'importe quelle région du monde.

Il nécessite quatre fichiers d'entrée qui peuvent être créés par n'importe quel éditeur de texte (Notepad, WordPad ou l'Excel) où peuvent être mis à jour à partir de systèmes de bases de données existantes.

- ❖ Le premier fichier (xxyyyyPL.CSV) contient des informations sur les précipitations (début, fin, intensité et quantité de pluviosité d'un jour précis) ;
- ❖ Le second fichier (xxyyyyCS.CSV) contient la date, les températures minimales et maximales, vitesse et direction du vent ;
- ❖ Le troisième dossier (xxyyyyCL.DAT) contient les données sur l'insolation (mensuelle ou annuelle) la température de condensation (mensuelle ou annuelle) ;
- ❖ Le quatrième fichier (xxyyyyST.DAT) contient le nom, les coordonnées, l'altitude de la station météorologique et le nombre d'années de simulation.

4- Création des fichiers d'accès :

4-1- Le fichier Pente :

Pour représenter les différentes cassures de pente de chaque site, soit on fait appelle à l'éditeur de pente du modèle WEPP ou manuellement on crée des cassures au niveau de l'interface principale. Avec l'éditeur de pente, on introduit les valeurs de la longueur et de l'inclinaison pente de chaque segment. A l'aide du bouton aperçu, le profil de notre MBV s'affiche sous forme graphique avec les différents segments et automatiquement le fichier des pentes est créé et sauvegardé sous un nom choisi.

Pour une visualisation réelle de notre zone d'étude, on revient à la fenêtre principale pour importer le fichier pente. Par la suite en cliquant avec le bouton droit de la souris sur l'horizon pente, la commande « import » s'affiche, ce qui nous permet d'appeler le fichier pente qui a été enregistré auparavant.

4-2- Le fichier sol :

Afin d'introduire les données du sol de nos parcelles, on fait appelle cette fois ci à l'éditeur de base de données des sols. L'éditeur apparaît ce qui nous permet d'introduire toutes les données correspondantes à notre sol. On nomme les fichiers de chaque site, et on

introduit dans les cases correspondantes les caractéristiques de chaque échantillon. La fenêtre de cet éditeur possède l'option pour représenter le sol de la zone d'étude avec une couleur personnelle. En exécutant la commande « save as » ceci nous permet de sauvegarder et d'ajouter le fichier de notre sol dans la base de données sol du modèle WEPP, sous un nom de notre choix.

Afin de simuler l'érosion sur notre MBV, il faut toujours revenir à la fenêtre principale et importer le fichier approprié, une clique droite de la souris cette fois-ci sur l'horizon sol du profil, faite apparaître la commande « import », ce qui nous permet d'appeler le fichier de sol déjà enregistré.

4-3-Le fichier culture :

En raison de la présence de beaucoup d'information sur les modes d'utilisation des terres enregistrées dans le modèle WEPP, trois fichiers de gestion appropriés à sa base de données qui correspondaient à l'occupation du sol de nos sites d'observation ont été utilisés qui sont : « **Forest** » pour le site « **Forêt** » ; « **30% cover after fire** » ; pour le site « **Forêt après incendie** » et « **Fallow** » pour « **Zone Mixte** ». Une clique droite de la souris sur l'horizon « managements » du profil fait apparaître la commande « Import » ; ce qui nous permet d'appeler le fichier souhaité.

4-4-Le fichier climat :

4-4-1 Les fichiers d'entrée du BPCDG :

Le modèle WEPP a son propre générateur de climat « CLIGEN » destiné uniquement aux différentes stations météo des Etats-Unis d'Amérique. Ceci nous a conduit à utiliser le générateur adapté au modèle à base physique WEPP le « BPCDG », qui est une interface DOS (Fig. 44).

```

D:\pbcgdg\Bpcdg.exe
I          AND          I
I WEPP CLIMATE INPUT FILE(*.CLI)I
I          v4.99          I
I co Gete Zeleke/Thomas Winter I
I-----I

This MODEL Uses Standard Climate Databases and Generates Breakpoint
Climate Input File For WEPP Model

To create WEPP climate input file you need two CSV-FILES:
- XXXXXXcs.csv (temperature,winddir...)
- XXXXXXpl.csv (precipitation...)
and DAT-FILE which has conversion factors and other data sets
- XXXXXXcl.dat (radiation,velocity...)
You need also a file which contains information about the climate station
- XXXXXXst.dat (latitude,longitude...)

Interactive questions shall be answered as indicated below
<xx>    ^^ Station name code (aj for Anjeni)
<yyyy>  ^^ Year of DATA simulation (1992 for 1992)

Please enter climate station code:TN
Please enter year of simulation:2000_

```

Figure 44: l'interface du programme BPCDG.

Afin de générer le fichier climat, il faut faire appel au quatre fichiers clés types ASCII, créés à l'aide de l'Excel, et qui sont : TN2000PL.CSV ; TN2000CS.CSV ; TN2000CL.DAT et TN2000ST.DAT. Dans lequel, TN est le code de la station météo et 2000 est l'année de simulation.

On introduit le code de station « TN », on valide une première fois, puis on introduit l'année de simulation « 2000 » et on valide une deuxième fois, le BPCDG commence le traitement de toutes les données introduites, et s'il ne décèle aucune erreur il génère un fichier du climat de station météo nommé « TN2000.cli » (Fig. 45).

4.30
 1 0 0
 Station: Ténès/CHLEF
 CLIGEN VERSION 4.3
 Latitude Longitude Elevation (m) obs. Years Beginning year Years simulated
 36.30 1.15 17 10 2000 10
 Observed monthly ave max temperature (C)
 16.6 15.9 18.8 20.3 22.2 26.7 34.4 30.1 27.7 25.1 20.3 17.8
 observed monthly ave min temperature (C)
 10.2 10.3 11.8 13.1 16 19 21.6 22.3 20.3 17.9 14.6 13.1
 observed monthly ave solar radiation (Langleys/day)
 457.44 523.76 576.62 625.72 654.23 745.34 755.79 744.8 646.51 556.92 459.4 408.17
 observed monthly ave precipitation (mm)
 54.73 41.34 37.34 44.43 42.7 2.2 2.5 0.74 19.5 37.6 116.5 94.8
 da mo year prcp dur tp ip tmax tmin rad w-v| w-dir tdew
 (mm) (h) (C) (C) (l/d) (m/s)(Deg) (C)
 1 1 2000 7.0 2.42 0.02 1.01 15.00 7.00 576.5 3.25 202.5 0.8
 2 1 2000 3.0 1.64 0.06 1.01 17.00 8.00 576.5 3.25 225.0 0.4
 3 1 2000 4.5 0.86 0.24 1.01 16.00 9.00 576.5 1.50 202.5 0.6
 4 1 2000 0.0 0.00 0.00 0.00 17.00 9.00 576.5 3.25 225.0 0.6
 5 1 2000 0.0 0.00 0.00 0.00 17.00 9.00 641.6 3.25 202.5 0.3
 6 1 2000 0.0 0.00 0.00 0.00 18.00 10.00 641.6 3.25 225.0 0.6
 7 1 2000 0.0 0.00 0.00 0.00 16.00 7.00 641.6 0.00 0.0 0.1
 8 1 2000 0.0 0.00 0.00 0.00 14.00 9.00 446.4 1.50 225.0 0.9
 9 1 2000 3.9 3.09 0.06 9.92 11.00 8.00 434.6 4.75 225.0 0.5
 10 1 2000 2.4 1.91 0.02 6.32 15.00 9.00 487.8 2.25 225.0 6.5
 11 1 2000 0.0 0.00 0.00 0.00 15.00 9.00 558.8 0.75 202.5 4.8
 12 1 2000 0.0 0.00 0.00 0.00 16.00 8.00 381.4 0.75 180.0 6.4
 13 1 2000 0.0 0.00 0.00 0.00 14.00 8.00 340.0 4.75 225.0 6.5

Figure 45 : Le fichier climat généré par le BPCDG.

De nouveau on retourne au modèle WEPP, et on importe ce dernier par la commande « import » avec une clique droite de la souris sur l'horizon « climate » (Fig.46).

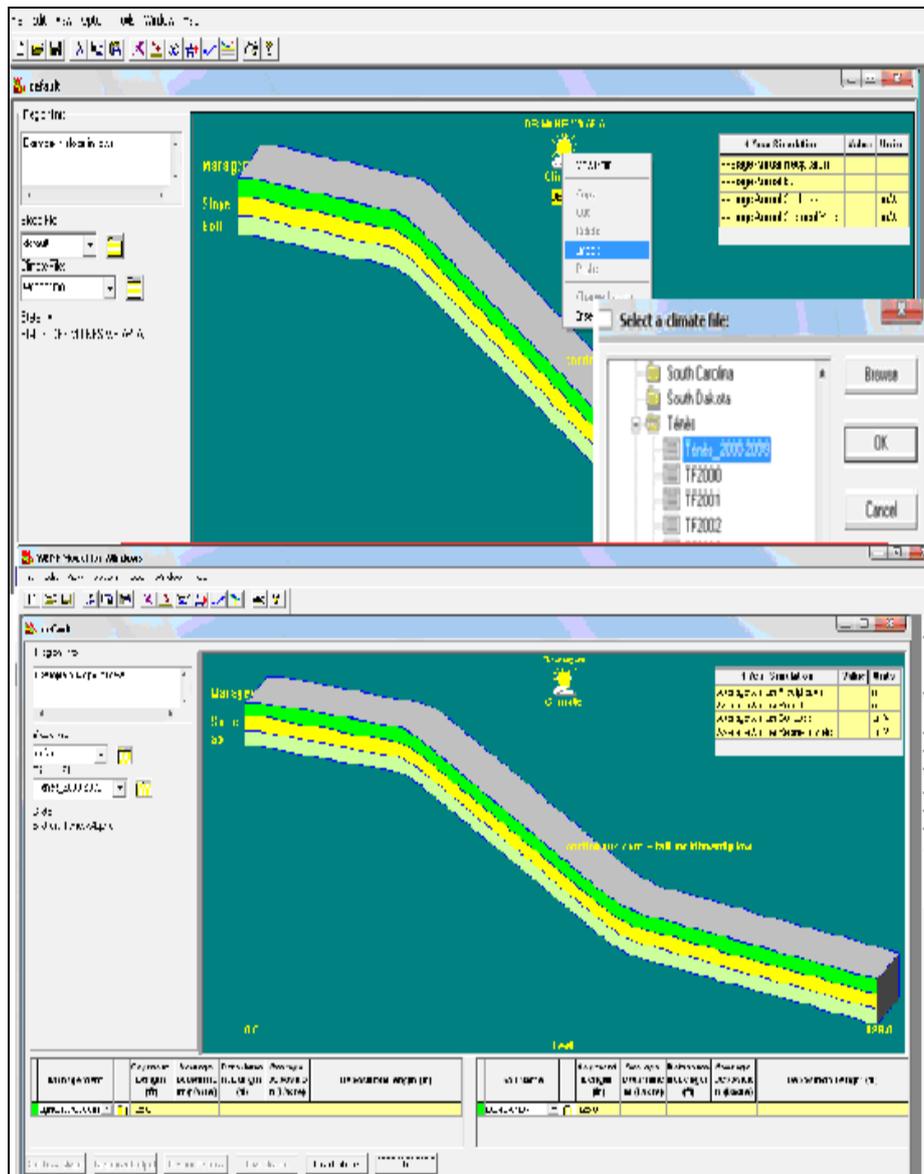


Figure 46 : Etapes d'importer le fichier climat dans la base de données du WEPP.

5- Détermination des pertes en sols par le modèle WEPP :

Une fois les données climatiques ; façons d'aménagement et les paramètres du sol et de la pente sont introduits comme input dans le modèle ; on procède à la simulation de l'érosion en cliquant sur le bouton « RUN », après compilation, le modèle affiche les résultats (Tab. 28) de la pluie moyenne annuelle ; du ruissellement moyen ; de l'érosion moyenne estimée sur un mètre carré (1m²) et enfin les pertes en sol moyenne sur un hectare(en divisant ces résultats sur la période de simulation).

Tableau 28 : résultats de la simulation des sites représentatifs du MBV de Tefeless.

| | Site « Zone mixte » | Site « forêt après incendie » | Site « Forêt » |
|---|---------------------|-------------------------------|----------------|
| Average Annual Precipitation (mm) | 490 | 490 | 490 |
| Average Annual Runoff (mm) | 190.5 | 140.74 | 92.75 |
| Average Annual Soil Loss (kg/m ²) | 0.543 | 0.153 | 0.327 |
| Average Annual Sediment Yield (t/ha) | 0.534 | 0.153 | 0.285 |

Les résultats obtenus montrent les énormes capacités du modèle d'érosion WEPP. Il peut estimer le moyen annuel du ruissellement ainsi que la moyenne annuelle des pertes en sols, les figures ci-dessous représentent les graphes de la quantité des pertes en sols des trois sites d'observation.

Le tableau 28 et la figure 47 nous permettent de visualiser clairement la dégradation du sol dans notre zone d'étude. La « zone mixte » caractérisée par un sol laissé en jachère nue, pauvre en matière organique avec une pente supérieure à 30 %, la perte en sol sur une période de dix ans était de 0,54 Kg/m² plus un taux de sédiment dépasse 0,53 t/ha/an ce qui, tend à conforter l'importance du couvert végétal pour contrecarrer la dégradation des terres ; quant au site « forêt après incendie » et « forêt » on estime respectivement 0.15 Kg/m² et 0.33 Kg/m² de perte en sol, un taux de sédiment assez important dans le site « forêt » (0.28 t/ha/an) par rapport au site « FAI » (0.15 t/ha/an). L'érosion est relativement importante sur les zones agropastorales où le taux de couverture permanente du sol est faible, les pertes en terre sont généralement liées aux fortes pluies, à l'encroûtement de la surface et à la faible couverture végétale.

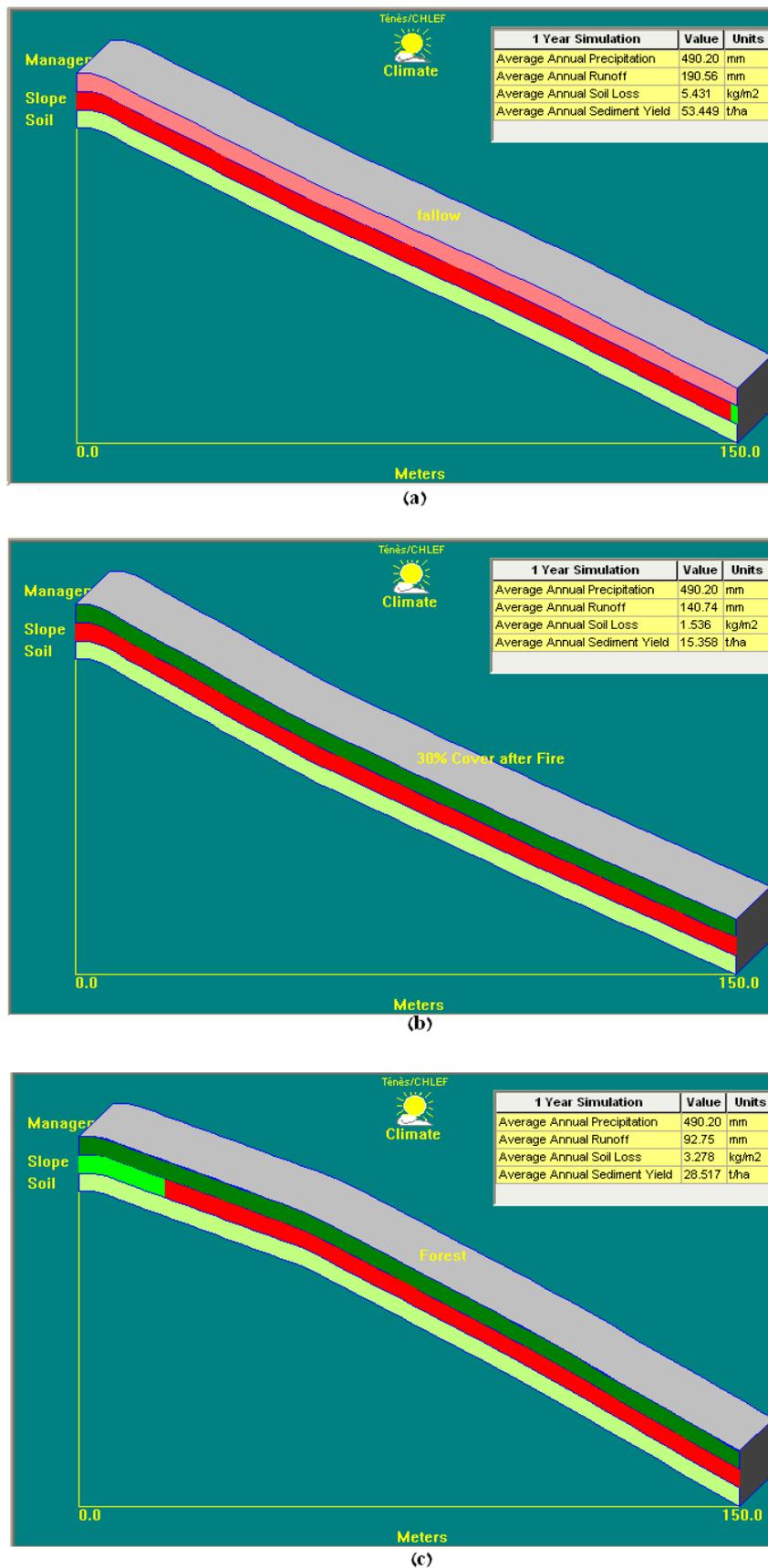


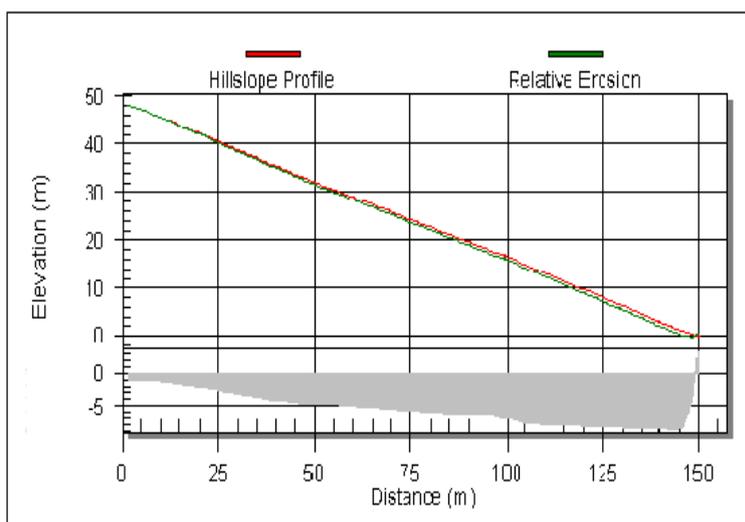
Figure 47: interface de WEPP présente la quantité de pertes de sol des trois sites.

(a) : Zone mixte; (b) : Forêt après incendie et (c) : Forêt.

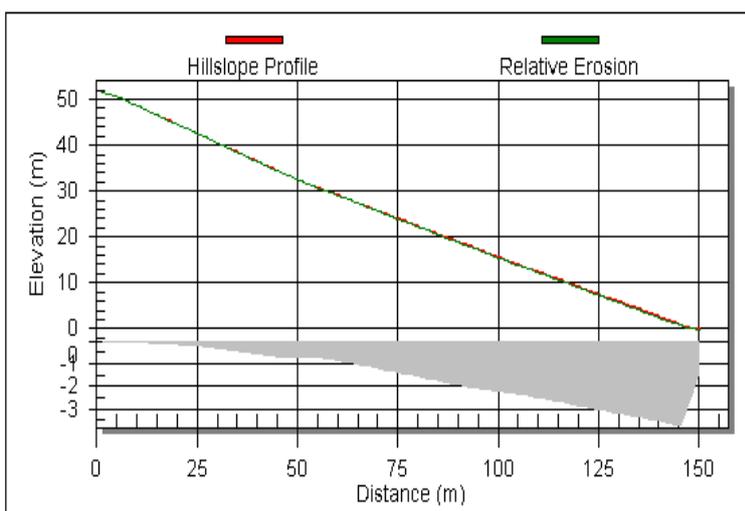
6- Evolutions de l'érosion hydrique le long de la pente :

L'étude de l'allure de l'érosion le long des sites est représentée sur les graphes ci-dessous, ces derniers nous montrent que plus la régression de la couverture végétale est importante, plus le détachement des particules est intense, dans le cas des sols incultes et des parcelles agropastorales le taux de détachement atteint plus de $0,8 \text{ Kg/m}^2$ et dans les forêts post incendie et les forêts il est de $0,37$ et $0,63 \text{ Kg/m}^2$ respectivement, ceci s'explique que plus l'irrégularité des pluies, les conditions édaphiques et la nature du couvert végétal augmentent le ruissellement et le pouvoir érosif dans la région d'étude.

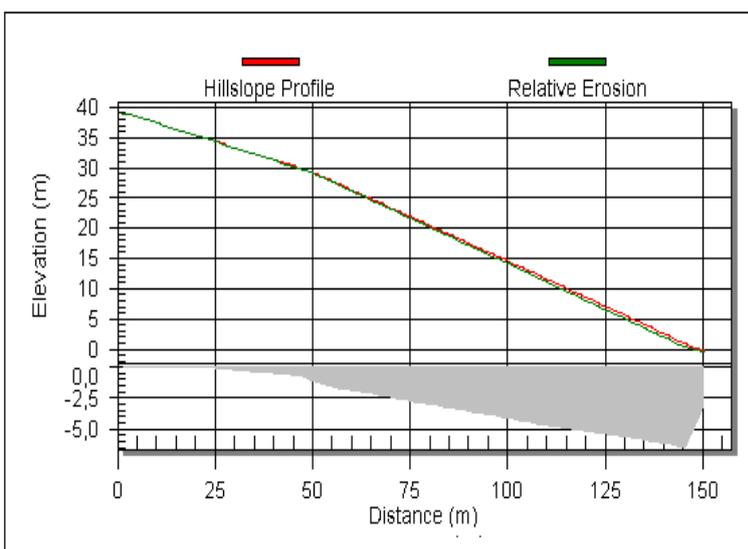
D'après **Goor et coll. (2006)**, les particules limoneuses ($2-50 \mu\text{m}$) présentent une faible cohésion entre elles, ce qui facilite leur détachement et favorise la formation d'une croûte de battance. Leur petite taille les rend par ailleurs facilement transportable par les eaux de ruissellement. Le détachement des particules est également fonction de l'inclinaison de la pente ce qui force accentue la vitesse d'écoulement et les eaux deviennent très agressives au-delà de 15% d'inclinaison d'où un pouvoir énergétique de décapage se produit (**Roose et al, 1993 ; Lazzeri et Nahon, 2011 ; Roose et al, 2012**). Dans la région d'étude, plus de 30% du territoire sont caractérisés par des pentes de plus de 15% et soumis à une telle agressivité. **Wischmeier et Smith (1978 in Roose, 2012)** ont montré qu'un couvert arboré dont la canopée est à plus de 4 m de hauteur ne réduit que peu le risque de ruissellement. Le couvert végétal est donc le paramètre le plus efficace à notre disposition pour réduire les risques d'érosion.



(a)



(b)



(c)

Figure 48 : Graphe de perte en sol des trois sites
 (a) : Zone mixte; (b) : Forêt après incendie et (c) : Forêt.

Les résultats acquis nous permettent de distinguer très nettement les méfaits de l'érosion induite par la violence et l'irrégularité du régime des pluies, par le manque de couverture végétale et par des sols très pentus (supérieure à 30%). A ces paramètres s'ajoute les feux de forêt, le surpâturage et les mauvaises techniques agricoles en aboutissant une réduction de la capacité de rétention en eau et du taux d'infiltration de l'eau.

Dans le MBV de Tefeless, une large superficie forestière a été perdue par les incendies qui sujette chaque été, le surpâturage et le défrichage, les systèmes de cultures des paysagers qui marquent des résultats catastrophiques malgré l'interdiction du surpâturage par des lois strictes et les programmes d'aménagements consentis par l'état. Notre approche a permis de détecter et comprendre les processus de changement spatiotemporelle de la végétation et la dégradation du sol dans le MBV de Tefeless, en confrontant nos résultats aux réalités socioéconomiques du terrain, et aux conditions climatiques.

Conclusion :

Au terme de ce travail, on peut souligner que la quantification de l'érosion dans la région d'étude a permis de faire ressortir clairement les zones les plus sensibles à ce phénomène de dégradation. L'analyse des résultats obtenus montre l'importance de l'érosion laquelle menace pratiquement toute la région et plus particulièrement les zones où le sol est en jachère et les parcelles agropastorales d'où les pentes sont accidentées.

Le modèle de prédiction de l'érosion WEPP montre sa fiabilité d'estimer l'érosion hydrique, ses résultats plaident en faveur l'efficacité de la lutte anti-érosive préconisée par le labour des sols et l'installation des banquettes et des terrasses. Malgré que l'utilisation du WEPP est très limitée en Algérie, on peut dire que ce modèle est capable d'estimer les pertes en sols et par conséquent, prédire l'érosion hydrique à n'importe quel point dans le versant, car il repose sur une base de données très riche et modifiable selon le type de la région d'étude.

Au plan méthodologique, la simulation de l'érosion par le modèle du WEPP, est une démarche scientifique cohérente qui répond à une approche objective des indicateurs régionaux de ce phénomène. La nature de ces indicateurs donne une vue globale de leur impact sur l'érosion, dont certains agissent plus que d'autres mais tous ont un rôle dans ce processus.

Conclusion générale

Les résultats obtenus des deux axes de travail, fait apparaître une variation de la végétation en général et des classes de cultures dans l'espace et dans le temps. Cette variation ne dépend pas seulement aux conditions climatiques mais aussi aux d'autres paramètres naturels et anthropiques (tel que la texture du sol, la nature du couvert végétal, l'incendie, le surpâturage...). On a noté aussi, une large superficie de ce MBV a été perdue par les incendies qui sujette chaque été, le surpâturage et le défrichement, les systèmes de cultures des paysagers qui marquent des résultats catastrophiques malgré l'interdiction du surpâturage par des lois strictes et des programmes d'aménagements consentis par l'état.

Ces résultats ont montré aussi le taux des pertes en sols dans les trois sites du MBV de Tefeless avec une forte perte dans la zone agropastorale $0,54 \text{ Kg/m}^2$, par rapport aux autres sites. Notre approche a permis de détecter et comprendre les processus de changement spatiotemporel de la végétation et la dégradation du sol dans le MBV de Tefeless, en confrontant nos résultats aux réalités socioéconomiques du terrain, et aux conditions climatiques.

A travers ce travail, nous avons essayé d'effectuer une étude qualitative et quantitative de la dégradation des sols, en utilisant au premier cas des données de télédétection, et des données recueillies au pré des institutions locales, pour étudier la variation qualitative du couvert végétal du MBV de Tefeless durant la période 1987-2010, à partir des images LandSat, on a évalué le comportement chlorophyllien (l'indice de végétation NDVI) des trois sites représentatifs, qui nous ont permis de déduire que la végétation est très variable dans le temps et dans l'espace, elle régresse progressivement d'année en année et cela est due principalement à l'action de l'homme.

Et en deuxième cas on a tenté de quantifier l'érosion hydrique à l'aide du WEPP qui nous a permis d'estimer la quantité de la perte en sol et le taux de sédiments dans ce MBV dont on concluant que, parmi les sites traités, les zones des parcours des jachères pâturées et tassés présentent un grand risque de ruissellement et d'érosion.

En outre, pour améliorer les résultats de cette étude, il nous semble important de tenir compte les recommandations suivantes :

- La détermination exacte des pondérations des différents facteurs de l'érosion hydrique des sols du micro bassin versant de Tefeless, et de tester l'importance de chacun des facteurs par des expérimentations sur terrain ;

- Avant l'adoption du plan d'aménagement de protection, il est nécessaire d'intégrer le facteur humain et l'adopter aux coutumes de chaque région sans pour autant l'imposer, pour ne pas rééditer les erreurs du passé.
- Il est possible grâce aux résultats obtenus sur le micro bassin de Tefeless pourraient être extrapoler aux sous bassins voisins possédant la même spécificité par rapport aux caractéristiques physique, le régime pluviométrique et hydrologique semblable.

Ce travail nous a permet d'acquérir des reconnaissances concernant la modélisation de l'érosion, la télédétection et sur le micro bassin versant lui-même. Notre souhait est qu' à travers lui nous aurons pu démontrer d'une manière ou d'une autre l'importance que peut apporter un modèle de simulation d'érosion comme le WEPP et l'avantage de l'étude diachronique de l'indice de végétation NDVI pour détecter la progression ou la régression du couvert végétal . Néanmoins, la méthodologie retenue a probablement des limites qui risquent d'induire en erreur. Il nous semble, afin de minimiser les erreurs d'appréciation, utile et nécessaire de compléter et d'améliorer cette démarche par d'autres études séquentielles qui permettent de : dégager et de délimiter les classes de sensibilité à l'érosion ; de constituer une banque de données actualisables et qui touchent l'ensemble des paramètres influents sur l'équilibre géomorphologiques et climatiques ; Ainsi et pour être efficace la lutte anti érosive ces travaux doivent s'appuyer sur le lancement d'une cartographie géologique menées à des échelle plus fines en se basant sur les systèmes d'information géographique et la télédétection.

Références bibliographiques

Abdelbaki A., (2008) : Mise en place d'un système d'information géographique pour l'élaboration d'un plan d'aménagement de protection cas du sous bassin versant d'Oued Bouguedfine ; w. Chlef. Mémoire d'Ingénieur, INA Alger, 112p.

Abourida A., (2007) : Approche hydrologique de la nappe du Haouz (Maroc) par télédétection. Isotopie, SIG et modélisation. Mémoire de Doctorat, nouvelles techniques d'investigation et de gestion des ressources naturelles, Université Cadi Ayaad, Marrakech, 197p.

Achour F., Bouzelboudjen M. et Pieyns S. A. (1998) : Variabilité spatio-temporelle des ressources en eau en région semi-aride: application au bassin du Cheliff, Algérie. Water Resources Variability in Africa during the XXth Century (Proceedings of the Abidjan'98 Conference held at Abidjan, Côte d'Ivoire, IAHS Publ. no.252, pages 225-234.

Adja M. G., Jourda J., Kouame K. J., Dibi B., Kouame K. F., Saley M. B. et Biemi J. (2009): Cartographie Quantitative de la Dynamique de l'Assèchement des Cours d'Eau du Bassin Versant de la Bagoé par Analyse Diachronique d'Images ETM+ de Landsat (Milieu Soudano-Sahélien de Côte d'Ivoire). European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.27 No.3 (2009), pp 417-425. EuroJournals Publishing, Inc. <http://www.eurojournals.com/ejsr.htm>

Aksoy H., (2011) : Modélisation des transports solides. Relation man/environnement and sediment transport : a spatial approach. International Scientific Workshop, 7 et 8 June 2011 - Tipaza, Algeria, pages 20-25.

Al karkouri J., Laouina A., Roose E. et Sabir M.(2000) : Capacité d'infiltration et risques d'érosion des central (Maroc) sols dans la vallée des Beni Boufrah –Rif.pages 342 à 356. <http://www.documentations.ird.fr>.

Antoni V., Le Bissonnais Y., Thorette J., Zaidi N., Laroche B. et Barthès S. (2006): Modélisation de l'aléa érosif des sols en contexte méditerranéen à l'aide d'un Référentiel Régional Pédologique au 1/250 000 et confrontation aux enjeux locaux. Étude et Gestion des Sols, Volume 13, 3, pages 201-222.

Arabi M., Asla T., Bourouga L., Kedaid O. et Ait Kaci A.(2002) : Recherche sur les techniques anti-érosives dans la région aride de wilaya de Médéa, 4p. <http://www.inrf.dz/projetmedea1.pdf>

Arabi M., Kedid O., Bourougaa L., Asla T. et Roose E. (2004) : Bilan de l'enquête sur la défense et restauration des sols (DRS) en Algérie, www.iamm.fr/ress_doc/opac-css/index.php.

Arabi M., Bourougaa L. et Kedaid O. (2007) : Intensification de l'agriculture et réduction des risques érosifs en milieu semi aride algérien. Actes des JSIRAUF, Hanoi, 6-9 nov. 7p.

Arfa A. (2008) : Les incendies de forêt en Algérie : Stratégies de prévention et plans de gestion. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magistère en Ecologie et Environnement. Université Mentouri ; W. Constantine, 124p.

Armand R. (2009) : Étude des états de surface du sol et de leur dynamique pour différentes pratiques de travail du sol. Mise au point d'un indicateur de ruissellement. Thèse de Doctorat de l'Université de Strasbourg, 209p.

Association ELATHAR: Castellum Tingitanum, Chlef, 2011; [http://www. castellum-tingitanum.org/index.php](http://www.castellum-tingitanum.org/index.php).

Auzet V. (1990) :L'érosion des sols par l'eau dans les régions de grande culture : aspects aménagements. Centre d'études et recherches éco-géographiques, ministère de l'Environnement ministère de l'Agriculture, 39 p.

Barbalata J. C., (1996) : Analyse diachronique de la dynamique des milieux naturels par télédétection satellitaire. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing.Vol XXXI, part B7, Vienna, and.www.isprs.org/proceeding/XXXI/congress.

Barmann F., (1953) : Etude préliminaire en vue de l'utilisation des ressources aquifères de la cuvette « Cartennienne du Tafilless ».Faculté des sciences de l'université d'Alger, 10 p.

Beaulieu R., Breune I., Guillou M., (2007): Diagnostic et solutions de problèmes d'érosion au champ et de drainage de surface, un partenariat entre Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) et le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) fiche technique, 8p.

Benchikha L. et Gueddari M., (2008) : Le bassin versant de Jannet (Tunisie), évaluation des risques d'érosion hydrique. Université de Tunis el Manar. <http://mappemonde.mgm.fr/num18/articles.html>

Benslimane M., Hamimed A., El Zerey W., Khaldi A. et Mederbal K., (2011) : « Analyse et suivi du phénomène de la désertification en Algérie du nord », Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Volume 8 Numéro 3. URL : <http://vertigo.revues.org/6782> ; DOI : 10.4000/vertigo.6782.

Bijaber N., Gaym M., Yessef M., Bouhaloua M., Tikert A. et Ahlafi Z. (2005): Utilisation des méthodes avancées de classification pour la cartographie forestière par télédétection. Workshop International. Télédétection et Systèmes d'Information Géographique "Information Spatiale et Développement Durable" 14 au 16 novembre 2005, Rabat, p 18.

Bouchnak H. Felfoul M. Boussema M. R.et Sname M.H. (2000): Etude de l'évolution du ravinement par unité lithologique dans deux bassins versants en Tunisie centrale. Gestion des sols dans un bassin versant ; IX^{ème} Journées du Réseau Télédétection, pages 23-25.

Boudjadja A., Messahel M., Pauc H. (2003) : Ressources hydriques en Algérie du Nord. Revue des sciences de l'eau, Rev. Sci. Eau 16/3(2003) pages 285-304.

Bougherara A., (2010) : Identification et suivi des paysages et de leur biodiversité dans la wilaya d'Eltarf (Algérie) à partir des images LandSat, SPOT et ASTER. Revue Télédétection, 2010, vol. 9, n° 3-4, pages 225-243.

Boukheir R. Girard M.C. Khawli M. et Abdelleh C. (2001): Erosion hydrique dans les milieux méditerranéens ; Revue bibliographique. Etude et gestion des sols, vol 8 (4), pages 231-245.

Bussière M., (2003) : la lutte contre l'érosion des sols dans les régions de grandes cultures. <http://www.rhone-alpes.chambagri.fr/phytov3/pages/erosion.htm>

Chebbani R., Djilli K. & Roose E. (1999): Etude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant de l'Isser; pages 85-95. www.documentations.ird.fr.

Combeau A., (1977) : Erosion et conservation des sols (plus particulièrement en zone tropicale). Plan de cours commenté et illustré d'exemples à l'usage des élèves de l'O.R.S.T.O.M. et des étudiants du Cours Post-Universitaire pour l'Aménagement du Milieu Naturel, 86p.

Dogan O. (1992) : Cartographie de l'érosion et les recherches sur la conservation des sols en Turquie. CIHEAM - Options Méditerranéennes, pages 78 à 96. <http://www.ressources.ciheam.org>.

El garouani A. Chen H., Lewis L., Tribak A. et Abahrour M., (2008) : Cartographie de l'utilisation du sol et de l'érosion nette à partir d'images satellitaires et du SIG IDRISI au nord-est du Maroc. Revue Télédétection, 2008, vol. 8, n° 3, p. 193-201.

El hadani D., (1997) : Télédétection et système d'information géographique pour la gestion et la recherche de l'eau. Remote Sensing and Geographic Information Systems for Design and Operation of Water Resources Systems (Proceedings of Rabat Symposium S3, April 1997). IAHS Publ. no. 242, pages 197-204.

Elliot W. J. and Hall D. E. (1997): Water Erosion Prediction Project (WEPP) Forest Applications. Forestry Sciences Laboratory. United States Department of Agriculture March,

El ouadini M., Ait brahim L., Ben jebara A., Moukhchane M. et Nachite D.(2001) : Erosion et transport en suspension dans le bassin versant de l'oued Martil (Rif septentrional, Maroc), pages 78 à 86. <http://www.obhatou.net>.

El Zerey W. Bouiadjra S. Benslimane M. et Mederbal K. (2009) : L'écosystème steppique face à la désertification : cas de la région d'El Bayadh, Algérie. Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Volume 9 Numéro 2, septembre 2009. URL : <http://vertigo.revues.org/8821> ; DOI : 10.4000/vertigo8821.

Fédération des clubs UNESCO-ALECSO de Tunisie, (2010) : Regards croisés sur l'état des ressources en eau en méditerranée. Club Savoir et développement durable. <http://agriurbanisme.org/news.php>.

Flanagan D., Renschler C. S. et Cochrane T., (2000) : Application of the WEPP model with digital geographic information. 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling (GIS/EM4): Problems, Prospects and Research Needs. Banff, Alberta, Canada, September 2 - 8, 12p.

Gete Z. Winter T. et Flanagan D., (1999) : BPCDG: Breakpoint Climate Data Generator for WEPP Using Observed Standard Weather Data Sets, 14p. www.ars.usds.gov/SP2UserFile.

Gisler S., Peter Liniger H. et Prasuhn V., (2011): Carte à haute résolution du risque d'érosion au raster 2×2 m (CRE2). Recherche Agronomique Suisse 2 (4), p148–155.

Girard M.C., (1999) : Cours de télédétection, UFR Dynamique des Milieux et Organisations Spatiales. Institut national agronomique Paris-Grignon, 68p. <http://lacan.grignon.inra.fr/ressources/EI/courteld/cours/1couverture.htm>

Goor F. Dautrebande S., Sohier C. et Brahy V. (2006) : L'érosion hydrique des sols. Chapitre 11 : les sols et l'environnement terrestre. <http://environnement.wallonie.be>

Gumiere S. J., (2009) : Contribution à la modélisation déterministe spatialisée de l'érosion hydrique des sols à l'échelle des petits bassins versants cultivés. Thèse du doctorat. Centre Internationale d'Etudes Supérieures en Science Agronomique, Montpellier SupAgro, 284p.

Heusch B., (1982) : Etude de l'érosion et des transports solides en zone semi aride. Recherche bibliographique sur l'Afrique du Nord. Projet RAB/80/04. PNUD, 83 p.

Institut national des sols, de l'irrigation et du drainage (INSID), (2006) : note sur la carte de sensibilité à l'érosion (nord de l'Algérie) juin 2006, 27p.

Jansen L.J.M. (1995): Une méthode de cartographie de l'érosion actuelle et de la dégradation des terres au Swaziland. <http://www.documentations.ird.fr>

Joannon A., (2004) : Coordination spatiale des systèmes de culture pour la maîtrise de processus écologiques. Cas du ruissellement érosif dans les bassins versants agricole du Pays de Caux, Haute-Normandie. Thèse de doctorat de l'INRA Grignon Paris, 393p.

Jouve A. (2007): Modélisation de la dynamique des paysages : application aux vallées de Seine et de la Marne au quaternaire. Thèse de Doctorat Spécialité Dynamique et Ressources des Bassins Sédimentaire. Ecole Doctorale n° 398 : Géosciences et Ressources Naturelles, Paris ; 364p.

Lazzeri Y. et Nahon D., (2011) : La conservation des sols : un enjeu pour les territoires méditerranéens, Pôle Développement Durable et Territoires Méditerranéens, Université Paul CEZANNE Marseille ;5p. <http://www.pole-developpementdurable.univ-cezanne.fr>

Le Bissonnais Y., Dubreuil N., Daroussin J. et Gorce M. (2004): Modélisation et cartographie de l'aléa d'érosion des sols à l'échelle régionale Exemple du département de l'Aisne. Étude et Gestion des Sols, Vol. 11, 3, pages 307 à 321.

Mazour M. et Roose E. (2001) : 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, pages 320 à 330. <http://www.beep.ird.fr/collect>

Mazour M., Touil A., Maachou B., Benmansour M. et Boughalem M., (2006) : Analyse de quelques aménagements antiérosives juste à l'amont du barrage de Hammam Boughrara (Moyenne-Tafna) Tlemcen, Algérie. Efficacité de la gestion de l'eau de la fertilité des sols en

milieux semi arides, Actes de la session VII organisée par le Réseau E-GCES de l'AUF au sein de la conférence ISCO de Marrakech (Maroc), du 14 au 19 mai 2006, pages 249-255.

Miramon R. R., (1997) : Cartographie des zones sensibles à l'érosion dans les Rougiers de Camarès (Sud-Aveyron). Application à une région test sur la commune de Montlaur ; Mémoire présenté pour l'obtention du Diplôme d'études supérieures spécialisées (DESS) Aménagement Rural et Développement Local. Montpellier, septembre 1997, 52 p.

Morsli B., Mazour M., Mededjel N., Hamoudi A. et Roose E. (2004): Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et d'érosion sur les versants semi-arides du nord-ouest de l'Algérie. Note de recherche Sécheresse ; 15 (1) pages 96-104

Mosbahi M., Benabdallah S. et Boussema M.R. (2004) : Influence des données d'entrée du modèle SWAT sur la quantification des pertes en sol dans un bassin versant semi aride en Tunisie. <http://www.ensh.dz/index.php>

Naimi M., Tayaa M. et Ouzizi S. (1998): Cartographie des formes d'érosion dans le bassin versant de Nakhla (Rif occidental, Maroc), Informations et ressources scientifiques sur le développement des zones arides et semi-arides. Sécheresse (décembre 2004), volume 1, numéro 2 . <http://secheresse.info>

Nasri S., Laaroussi M., El Ali Y. et Habaieb H. (2006) : Impact hydrologique des banquettes anti-érosives sur versant semi-aride en Tunisie centrale. Efficacité de la gestion de l'eau et de la fertilité des sols en milieu semi-aride. Actes de la session VII organisée par le Réseau E-GCES de l'AUF au sein de la conférence ISCO de Marrakech (Maroc), du 14 au 19 mai 2006, pages 65-69.

N'gussan É., Bellan M. et BLASCO F.(2003) : Suivi par télédétection spatiale d'une forêt tropicale humide protégée soumise à des pressions anthropiques. Télédétection, vol. 3, n° 5, p. 443–456

OMM (2005) : Organisation météorologique mondiale. Le climat et la dégradation des sols N° 989 ; 34p. <http://www.wmo.int/web/wcp/agm/agmp.html>

Perez P., (1994) : Genèse du ruissellement sur les sols cultivés du Sud du Saloum, Sénégal. Du diagnostic à l'aménagement de parcelle. Thèse de doctorat en sciences agronomiques Montpellier, 240 p.

Programme d'actions prioritaires (1998) : Directives pour la cartographie et la mesure des processus d'érosion hydrique dans les zones côtières méditerranéennes Split, Centre d'activités régionales pour le Programme d'actions prioritaires (PAM/PNUE), en collaboration avec la FAO. Croatie pp 72+ XII.

Pudasaini M., (2004) : Application of Water Erosion Prediction Project (WEPP) to estimate soil erosion from single storm rainfall events from construction sites. 3rd Australian New Zealand Soils Conference, 5 – 9 December 2004, University of Sydney, Australia. 7p Website : www.regional.org.au/au/asssi.

Remini W. et Remini B., (2003): La sédimentation dans les barrages de l'Afrique du nord. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 02, Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface, Juin 2003, pages 45-54.

Roose E., Arabi M., Brahamia K. ; Chebbani R., Mazour M. et Morsli B. (1993) : Érosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. Réduction des risques érosifs et intensification de la production agricole par la GCES : synthèse des campagnes 1984-1995 sur un réseau de 50 parcelles d'érosion. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXVIII, no 2, pages 289-308.

Roose E. et De Nouni G. (1998) : Apport de la recherche à la lutte antiérosive. Bilan mitigé et nouvel approche. Étude et gestion des sols, 5, 3, 1998, page 181 à 194.

Roose E. (1999): Evolution historique des stratégies de lutte antiérosive. Vers la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols : (GCES), pages 11-25. www.jle.com/e-dos.

Roose E. et Sabir M. (2002): Stratégies traditionnelles de conservation de l'eau et des sols dans le bassin méditerranéen : classification en vue d'un usage renouvelé, <http://horizon.documentations.ird.fr>

Roose E. (2006) : Efficacité des techniques traditionnelles de GCES pour la restauration de la productivité des sols : Introduction et éléments de conclusion. Actes de la session VII organisée par le Réseau E-GCES de l'AUF au sein de la conférence ISCO de Marrakech (Maroc), du 14 au 19 mai 2006, pages 17-22.

Roose E., (2010) : La dégradation des terre et l'érosion des sols. Gestion durable des eaux et des sols au Maroc, valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes. Institut de recherche pour le développement. IRD Éditions, p31.

Roose E., Sabir M, Arabi M., Morsli B. et Mazour M., (2012) : Soixante années de recherches en coopération sur l'érosion hydrique et la lutte antiérosive au Maghreb. Physio Géo, Volume 6 | 2012, <http://physio-geo.revues.org/2319> ; DOI : 10.4000/physio-geo.2319

Sarr M. A., (2008) : Variabilité pluviométrique en Afrique de l'Ouest : Dynamique des espaces végétaux à partir des images satellitaires. Exemple du bassin versant du Ferlo (Sénégal). Journées de Climatologie – Nantes, 13-14 mars 2008 - Climat et société : Climat et végétation, pages 57-76.

Samba G., (1994) : Quelques remarques sur les phénomènes d'érosion des sols au Congo méridional dans le secteur agricole de Boko: Essai de synthèse cartographique. Congo s/c du Centre de Recherches de Climatologie, Université de Bourgogne. Pages 360-373.

Solofo R., Tahina R., Claude C. et Solofoarisoa R.(2000) : Analyse spatiale des propriétés physiques des zones d'érosion à l'aide de données géoréférencées, images de télédétection et données topographiques. Gestion des sols dans un bassin versant IXèmes Journées du Réseau Télédétection, p 29-31.

Soudani K., (2005) : Cours Télédétection ECO II, Version 1.2 mars. Université Paris-Sud XI- 91405 Orsay, 19 p.

Soudani K., (2006) : Introduction générale à la télédétection. Laboratoire Ecologie Systématique et Evolution. Département Ecophysiologie Végétale Faculté des Sciences d'Orsay – Université Paris Sud XI, p 26. <http://www.es.e.u-psud.fr>

Souidi Z., Hamimed A., Donze F., Seddini A. et Mederbal K. (2010) : Estimation de l'évapotranspiration d'un couvert végétal en Algérie par télédétection. Revue Télédétection, 2010, vol. 9, n° 3-4, p. 164-181.

Taabni M., (1997) : Aménagement et lutte contre l'érosion des terres et pratiques paysannes dans les montagnes du Nord Ouest algérien. Département de Géographie. Université de Poitiers, pages 348 à 363. <http://beep.ird.fr>.

Touaïbia B., Dautrebande S., Gomer D. et Aidaoui A. (1999) : Approche quantitative de l'érosion hydrique à différentes échelles spatiales: bassin versant de l'Oued Mina. Hydrological Sciences Journal, 44(6) December 1999, pages 973-986

Touaibia B., (2010) : Problématique de l'érosion et du transport solide en Algérie septentrionale. Sécheresse en ligne; 21 (1e) pages 1 à 6.

Villeneuve J.P., Hubert P., Mailhot A. et Rousseau A.N., (1998) : Hydrological modeling and water management. Revue des sciences de l'eau, Rev. Sci. Eau n° spécial, pages 19-39.

Annexes

Annexe 1 : les coordonnées et les valeurs de NDVI des points échantillonnés.

| X | Y | NDVI ₁₉₈₇ | NDVI ₂₀₀₁ | NDVI ₂₀₁₁ |
|--------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 350792 | 4041542 | -0,1 | 0,08 | 0 |
| 350061 | 4041750 | 0,03 | 0,29 | 0,25 |
| 350906 | 4041713 | 0,05 | 0,25 | 0,11 |
| 350735 | 4042055 | -0,06 | 0,09 | -0,03 |
| 350906 | 4041428 | -0,07 | 0,13 | -0,05 |
| 350450 | 4043309 | 0,03 | 0,28 | 0,05 |
| 350279 | 4043651 | -0,05 | 0,05 | -0,06 |
| 350792 | 4043907 | 0,21 | 0,22 | 0,2 |
| 350678 | 4042967 | 0,01 | 0,1 | 0 |
| 350670 | 4042685 | 0,09 | 0,09 | -0,09 |
| 350307 | 4042340 | 0,25 | 0,25 | 0,21 |
| 351248 | 4042055 | 0,1 | 0,09 | -0,07 |
| 351219 | 4042254 | 0,35 | 0,34 | 0,32 |
| 351134 | 4041456 | 0,29 | 0,3 | 0,3 |
| 351162 | 4041656 | 0,28 | 0,28 | 0,28 |
| 351333 | 4041798 | 0,3 | 0,3 | 0,18 |
| 351219 | 4041968 | 0,24 | 0,26 | 0,28 |
| 351191 | 4042083 | 0,1 | 0,1 | 0,28 |
| 351364 | 4041941 | 0,19 | 0,2 | 0,09 |
| 351647 | 4041684 | 0,15 | 0,15 | 0,13 |
| 351191 | 4043423 | 0,12 | 0,25 | 0,12 |
| 351084 | 4043252 | 0,14 | 0,27 | 0,3 |
| 351476 | 4043508 | 0,13 | 0,14 | 0,15 |
| 352844 | 4042397 | 0,25 | 0,23 | 0,24 |
| 352929 | 4042397 | 0,27 | 0,22 | 0,25 |

| | | | | |
|--------|---------|------|------|-------|
| 352243 | 4042539 | 0,13 | 0,1 | -0,05 |
| 352815 | 4041684 | 0,23 | 0,15 | 0,19 |
| 352103 | 4041056 | 0,22 | 0,26 | 0,07 |
| 352074 | 4041542 | 0,1 | 0,13 | -0,01 |
| 352245 | 4041912 | 0,16 | 0,19 | 0,13 |
| 352045 | 4042026 | 0,24 | 0,05 | 0,11 |
| 352274 | 4041171 | 0,13 | 0,33 | 0 |
| 353100 | 4043451 | 0,19 | 0,3 | -0,1 |
| 353585 | 4042798 | 0,05 | 0,29 | 0,23 |
| 353385 | 4042055 | 0,35 | 0,27 | 0,22 |
| 353243 | 4042539 | 0,3 | 0,12 | 0,18 |
| 353129 | 4042210 | 0,29 | 0,32 | 0,21 |
| 353328 | 4042140 | 0,28 | 0,3 | -0,01 |
| 353642 | 4041650 | 0,11 | 0,29 | 0,3 |
| 353813 | 4043394 | 0,32 | 0,27 | 0,13 |
| 353955 | 4043204 | 0,3 | 0,12 | 0,09 |
| 353499 | 4043223 | 0,19 | 0,32 | 0,05 |
| 353929 | 4043573 | 0,11 | 0,3 | 0,25 |
| 354326 | 4042910 | 0,19 | 0,18 | 0,22 |
| 354354 | 4043594 | 0,29 | 0,11 | 0,14 |
| 354497 | 4044050 | 0,27 | 0,19 | 0,25 |
| 354240 | 4044056 | 0,19 | 0,28 | 0,2 |
| 354867 | 4043651 | 0,19 | 0,27 | 0,07 |
| 354269 | 4043280 | 0,09 | 0,2 | 0,27 |
| 354639 | 4043109 | 0,32 | 0,19 | 0,14 |

Annexe 2 : Rapport d'analyse de sol

Occupation du sol: Pin d'Alep

Lieu dit: Hamrat (Forêt après incendie)

commune:Ténès

Latitude:36°30' **Longitude:**01°20'

Altitude :177 m

| Résultats: paramètres physiques | | | Commentaire |
|----------------------------------|----|-------|--|
| Granulométrie (%) | A | 25.95 | La texture du sol est limoneuse |
| | LF | 12.50 | |
| | FG | 20.62 | |
| | SF | 29.18 | |
| | SG | 12.30 | |
| Texture | | L | |
| indice de battance | | 0.27 | Sol non battant |
| Paramètres chimiques | | | Le pH du sol est neutre, le sol est faiblement calcaire et peu salé |
| pH | | 6.8 | |
| Calcaire total (%) | | 3.6 | |
| conductivité électricité (ds/cm) | | 0.5 | |
| Paramètres biologiques | | | Le sol est très faiblement pourvu en Azote total et bien pourvu en matière organique |
| Azote total (%) | | 0.09 | |
| Carbone total (%) | | 5.92 | |
| Matière organique (%) | | 10.21 | |

Occupation du sol: jachère non travaillée

Lieu dit: Hamrat (sylvo-agro-pastoral)

commune:Ténès

Latitude:36°30' **Longitude:**01°20'

Altitude : 102 m

| Résultats: paramètres physiques | | | Commentaire |
|--|----|-------|---|
| Granulométrie (%) | A | 18.45 | La texture du sol est limoneuse |
| | LF | 18.10 | |
| | FG | 17.23 | |
| | SF | 35.33 | |
| | SG | 10.89 | |
| Texture | | L | |
| indice de battance | | 0.70 | Sol non battant |
| Paramètres chimiques | | | Le pH du sol est neutre, le sol est faiblement calcaire et peu salé |
| pH | | 5.9 | |
| Calcaire total (%) | | 17 | |
| conductivité électrique (ds/cm) | | 0.5 | |
| Paramètres biologiques | | | Le sol est très faiblement pourvu en Azote total et non pourvu en matière organique |
| Azote total (%) | | 0.04 | |
| Carbone total (%) | | 1.28 | |
| Matière organique (%) | | 2.21 | |

Occupation du sol: Pin d'Alep

Lieu dit: Hamrat (Forêt)

commune:Ténès

Latitude:36°30 **Longitude:**01°20'

Altitude :177 m

| Résultats: paramètres physiques | | | Commentaire |
|--|----|-------|---|
| Granulométrie (%) | A | 30,05 | La texture du sol est limon-argileuse |
| | LF | 10,15 | |
| | FG | 20,33 | |
| | SF | 14,99 | |
| | SG | 21,48 | |
| Texture | | L | |
| indice de battance | | 0.5 | Sol non battant |
| Paramètres chimiques | | | Le pH du sol est neutre, le sol est faiblement calcaire et peu salé |
| pH | | 6.8 | |
| Calcaire total (%) | | 3.6 | |
| conductivité élictrique (ds/cm) | | 0.5 | |
| Paramètres biologiques | | | Le sol est moyennement pourvu en Azote total et pourvu en matière organique |
| Azote total (%) | | 2.19 | |
| Carbone total (%) | | 5,01 | |
| Matière organique (%) | | 8,64 | |

Remerciements

Résumé

ملخص

Abstract

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Tables des matières

Introduction générale..... Erreur ! Signet non défini.

Chapitre I: Bilan de connaissance sur la dégradation des sols

| | |
|---|----|
| 1 Les systèmes érosifs, mécanismes et dégâts occasionnés: | 9 |
| 1-1 Érosion : | 9 |
| 1-1-1 Erosion hydrique : | 9 |
| 1-1-2 Les formes d'érosion hydrique : | 11 |
| 1-1-3 Erosion éolienne : | 15 |
| 1-1-4 Facteurs de l'érosion hydrique: | 16 |
| 1-2 Le ruissellement : | 25 |
| 1-2-1 Le ruissellement hortonien : | 26 |
| 1-2-2 Le ruissellement sur sol saturé : | 26 |
| 1-3 Problèmes posés par l'érosion des sols dans un bassin versant : | 27 |
| 1-3-1 Les dégâts causés sur le territoire agricole : | 27 |
| 1-3-2 Les dégâts sur les ressources hydriques : | 29 |
| 1-4 Principales méthodes de lutte anti-érosive : | 30 |
| 1-4-1 Erosion en nappe : | 31 |
| 1-4-2 Erosion en ravines : | 32 |
| 1-4-3 Mouvement de masse : | 34 |
| 1-4-4 Sapement des berges : | 34 |
| 1-4-5 Nouvelle approche en Algérie : | 35 |

| | |
|--|----|
| 1-5 Evaluation de l'érosion hydrique :..... | 36 |
| 1-5-1 Intérêt de la modélisation des pertes de terre : | 36 |
| 1-5-2 Quelques modèles d'érosion :..... | 37 |
| 1-5-3 Présentation du modèle de WEPP :..... | 38 |
| 1-5-4 Pourquoi le WEPP :..... | 38 |
| 1-6 Apport de la télédétection :..... | 39 |
| 1-6-1 Les comportements spectraux des objets :..... | 41 |
| 1-5-3 Revue bibliographique des études de l'évolution spatiotemporelle de la dégradation du sol par télédétection:..... | 44 |

Chapitre II: Etude de milieu physique

| | |
|---|-----------|
| 1- Présentation de la zone d'étude :..... | 48 |
| 1-1 Situation géographique du MBV de Tefeless :..... | 48 |
| 1-2 Géologie :..... | 49 |
| 1-3 Ressources en eau :..... | 50 |
| 1-4 Hydrographie :..... | 51 |
| 1-5 Formation végétale :..... | 52 |
| 1-6 Climatologie :..... | 53 |
| 1-6-1 Pluviométrie :..... | 53 |
| 1-6-2 Température :..... | 54 |
| 1-6-3 Vents :..... | 55 |
| 1-6-4 Evaporation :..... | 56 |
| 1-6-5 Ensoleillement :..... | 56 |
| 1-6-6 Autres caractéristiques climatiques :..... | 57 |
| 1-7 Synthèse climatique :..... | 57 |
| 1-7-1 Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1935) :..... | 57 |
| 1-7-2 Indice d'aridité annuelle de De Martone :..... | 58 |
| 1-7-3 Climagramme pluviométrique d'Emberger (1955) :..... | 59 |

Chapitre III: Etude de l'aspect qualitatif

| | |
|-----------------------------|-----------|
| 1- Démarche générale :..... | 62 |
|-----------------------------|-----------|

| | |
|--|-----------|
| 1-1 Images satellitaires :..... | 62 |
| 1-1-1 Prétraitement des données :..... | 63 |
| 1-1-2 L'exploitation des données satellitaires :..... | 63 |
| 1-2 Les autres sources d'information:..... | 63 |
| 2- Méthodologie de travail :..... | 64 |
| 2-1 Etude diachronique du couvert végétal :..... | 66 |
| 2-2 La classification d'image :..... | 69 |
| 2-3 Logiciels utilisés :..... | 70 |
| 3- Etude diachronique des changements de couvert végétal :..... | 70 |
| 3-1 Évaluation de l'activité chlorophyllienne :..... | 72 |
| 3-2 Effet de la pluviosité sur la variation du couvert végétal :..... | 75 |
| 3-3 Réalisation de la classification supervisée :..... | 78 |
| 4- Action d'utilisation des terres sur la diminution de la végétation :..... | 87 |
| 4-1 Incendies et déboisement :..... | 87 |
| 4-2 Le surpâturage :..... | 88 |
| 4-3 Démographie et politique d'aménagement du territoire :..... | 89 |
| Conclusion :..... | 89 |

Chapitre IV: Etude de l'aspect quantitatif

| | |
|--|------------|
| Introduction :..... | 91 |
| I- Méthodologie de travail :..... | 92 |
| 2- Présentation du modèle WEPP :..... | 93 |
| 3-Fichiers nécessaires pour exécuter le WEPP :..... | 93 |
| 4- Création des fichiers d'accès :..... | 98 |
| 4-1- Le fichier Pente :..... | 98 |
| 4-2- Le fichier sol :..... | 98 |
| 4-3-Le fichier culture :..... | 99 |
| 4-4-Le fichier climat :..... | 99 |
| 4-4-1 Les fichiers d'entrée du BPCDG :..... | 99 |
| 5- Détermination des pertes en sols par le modèle WEPP :..... | 102 |
| 6- Evolutions de l'érosion hydrique le long de la pente :..... | 105 |
| Conclusion :..... | 107 |
| Conclusion générale..... | 109 |

Références bibliographiques

Annexes

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1: Erosion en nappe dans le MBV de Tefeless. | 11 |
| Figure 2: Erosion en rigoles dans le MBV de Tefeless. | 13 |
| Figure 3: Erosion en ravines dans le MBV de Tefeless. | 14 |
| Figure 4: Sapement de berges dans le MBV de Tefeless. | 15 |
| Figure 5: Perte en terre en fonction de la longueur de la pente et du type d'érosion (D'après Roose, 1999). | 23 |
| Figure 6: le passage des précipitations au ruissellement. | 26 |
| Figure 7: Seuil en gabion sur des ravines dans le MBV de Tefeless. | 33 |
| Figure 8: Spectre du rayonnement électromagnétique solaire. (Source Soudani , 2006). | 40 |
| Figure 9: Courbe de réflectance des végétaux, sols et eaux. (Source Soudani , 2006). | 41 |
| Figure 10: La localisation du micro bassin de Tefeless. | 48 |
| Figure 11: La carte géologique du MBV de Tefeless | 49 |
| Figure 12: Carte de l'hydrographie du MBV de Tefeless ; | 52 |
| Figure 13: Carte de la formation végétale du MBV de Tefeless.(extraite de la carte topo) | 53 |
| Figure 14: Histogramme des précipitations moyennes annuelles pour la station de Ténès (2000-2009). | 54 |
| Figure 15: Les températures moyennes mensuelles de MBV de Tefeless. | 55 |
| Figure 16: Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson du micro bassin versant de Tefeless. | 58 |
| Figure 17: Climagramme pluviométrique d'Emberger. | 60 |
| Figure 18: Les images brutes du satellite LandSat TM. | 64 |
| Figure 19: Méthodologie de travail. | 66 |
| Figure 20: Carte de l'indice de végétation NDVI de 1987. | 67 |
| Figure 21: Carte de l'indice de végétation NDVI de 2001. | 68 |
| Figure 22: Carte de l'indice de végétation NDVI de 2011. | 68 |
| Figure 23: Carte de NDVI du MBV de Tefeless. | 71 |
| Figure 24 : Variation des NDVI calculés à partir des images LandSat. | 73 |
| Figure 25: Variation de l'indice NDVI en fonction des précipitations pour le site FAI. | 74 |
| Figure 26: Variation de l'indice NDVI en fonction des précipitations pour le site ZM. | 74 |
| Figure 27: Variation de l'indice NDVI en fonction des précipitations pour le site F. | 75 |
| Figure 28: Précipitations annuelles connues de 1990 à 2010. | 76 |
| Figure 29: Précipitations moyennes mensuelles de 1990, 2000 et 2011 à la station de Ténès. | 76 |
| Figure 30: Carte de changement de la couverture végétale entre 1987 et 2001. | 77 |
| Figure 31 : Carte de changement de la couverture végétale entre 2001 et 2011. | 78 |
| Figure 32: Exemples de régions d'intérêt sélectionnées sur l'image satellitaires. | 79 |
| Figure 34: Carte d'occupation des sols en 1987. | 83 |
| Figure 35 : Carte d'occupation des sols en 2001. | 85 |
| Figure 36 : Carte d'occupation des sols en 2011. | 86 |
| Figure 37 : Les étapes de la discrétisation d'un bassin versant pour un modèle de simulation. (Flanagan et al., 2000) | 91 |
| Figure 38: Localisation des sites représentatifs du MBV de Tefeless. | 92 |

| | |
|---|-----|
| Figure 39: interface principale de WEPP. | 93 |
| Figure 40: interface de l'éditeur de la pente. | 94 |
| Figure 41: Interface de l'éditeur de sol et ses paramètres d'entrés. | 94 |
| Figure 42 : Diagramme de classification des textures. | 95 |
| Figure 43: Cartographie de l'albédo (R_0) du MBV de Tefeless (Année 2011). | 97 |
| Figure 44: l'interface du programme BPCDG. | 100 |
| Figure 45 : Le fichier climat générer par le BPCDG. | 101 |
| Figure 46 : Etapes d'importer le fichier climat dans la base de données du WEPP. | 102 |
| Figure 47: interface de WEPP présente la quantité de pertes de sol des trois sites. | 104 |
| Figure 48 : Graphe de perte en sol des trois sites. | 106 |

Liste des Tableaux :

| | |
|--|-----|
| Tableau 1: État d'envasement de quelques barrages en Algérie en 2001. | 27 |
| Tableau 2: Etat des barrages des pays sud de la Méditerranée. | 30 |
| Tableau 3: Efficacité et coûts des trois types de seuil sur le ravinement. | 34 |
| Tableau 4: proportions d'intervention pour contrer les mouvements de masses. | 34 |
| Tableau 5: Quelques modèles d'érosion hydrique. | 37 |
| Tableau 6: Les eaux superficielles et souterraines de Ténès. | 51 |
| Tableau 7: caractéristiques de la station pluviométrique de Ténès. | 53 |
| Tableau 8 : Moyennes annuelles des précipitations en mm de la station de Ténès de la période (2000-2009). | 54 |
| Tableau 9: Moyennes mensuelles des températures en °C. | 55 |
| Tableau 10: Les Fréquences et directions des vents dans la région de Ténès. | 56 |
| Tableau 11: Moyenne mensuelle de l'évaporation total en mm. | 56 |
| Tableau 12: Le moyen mensuel de l'ensoleillement en heure dans la région de Ténès période (1999-2008). | 56 |
| Tableau 13: les caractéristiques climatiques dominantes dans le milieu d'étude. | 57 |
| Tableau 14: Classification des climats en fonction de la valeur de De Martone. | 59 |
| Tableau 15: Caractéristique de l'image LandSat TM utilisée. | 65 |
| Tableau 16 : Matrice de confusion de l'estimation de la classification de l'image TM de LandSat pour l'année 1987. | 80 |
| Tableau 17: Matrice de confusion de l'estimation de la classification de l'image TM de LandSat pour l'année 2001. | 81 |
| Tableau 18: Matrice de confusion de l'estimation de la classification de l'image TM de LandSat pour l'année 2011. | 81 |
| Tableau 19: la répartition des espèces au sein de la région d'étude en 1987. | 82 |
| Tableau 20 : la répartition des espèces au sein de la région d'étude en 2001. | 84 |
| Tableau 21 : la répartition des espèces au sein de la région d'étude en 2011. | 85 |
| Tableau 22: Evolution des surfaces des unités d'occupation du sol pendant les trois dates 1987, 2001 et 2011. | 87 |
| Tableau 23: La superficie brûlée par incendies durant la dernière décennie. | 88 |
| Tableau 24 : La pente des sites d'observation. | 92 |
| Tableau 25 : Pourcentage des particules minérales des sols. | 95 |
| Tableau 26 : Pourcentage du carbone organique et de la matière organique des sites. | 96 |
| Tableau 27: les valeurs de l'Albédo des sites représentatifs. | 97 |
| Tableau 28 : résultats de la simulation des sites représentatifs du MBV de Tefeless. | 103 |