

**Master Sciences de l'Environnement et Développement
Durable**

Mémoire

Présenté par :

ELBOUAYADI Maryem

HOUASLI Imane

**Caractérisation physico-chimique du bassin
versant d'Ourika, Détermination de la réserve
utile en eau, Couche de restriction des racines**

Encadrants :

Pr. BADRI Wadi

Pr. KHATTABI Abdellatif

Le 10/07/2017 devant le jury

Pr. BADRI Wadi	Faculté des Sciences Ben M'sik, Casablanca	Président
Pr. FOUGRACH Hassan	Faculté des Sciences Ben M'sik, Casablanca	Examineur
Pr. KHATTABI Abdellatif	Organisme d'accueil	Examineur
Pr. HSAINE Mohammed	Faculté des Sciences Ben M'sik, Casablanca	Examineur

Année universitaire : 2015/2017

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer toute nos reconnaissances à notre Directeur de mémoire Pr. BADRI Wadi nous le remercions d'avoir nous orienté, aidé et conseillé.

Nous adressons ainsi nos sincères remerciements au Pr. KHATTABI Abdellatif qui nous a donné l'opportunité pour réaliser ce travail avec beaucoup de patience.

Nos remerciements s'étendent également au Pr. FOUGRACH Hassan qui nous a accompagné et soutenu lors de ce travail.

Nous remercions ainsi Pr. HSAINE Mohammed d'avoir accepté de juger notre travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants dans l'élaboration du présent travail notamment Pr. SEBBAR Mohammed et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté à nous rencontrer et répondre à nos questions durant l'élaboration du ce travail.

Avant-propos

Le projet de « Gestion Intégrée des Ressources en Eau et Paiement pour les Services Environnementaux dans le cadre des changements climatiques dans la Région de Marrakech Tensift Al Haouz (GIREPSE) », est mené par l'Association Marocaine des Sciences régionales qui est présidé par Pr. Abdellatif KHATTABI, et financé par le Centre de Recherches pour le Développement International du Canada. Ce projet est étalé sur 3 ans (2014- 2017), avec la coordination régionale de l'OREDD MTH.

Ce projet de recherche sera conduit dans le bassin versant du Tensift, mais vu son étendue, les analyses qui nécessitent des données locales seront conduites au sein du sous bassin versant de l'Ourika (SBVO) qui est l'un des sous bassins où les problématiques visées par la recherche sont prédominantes. L'objectif global de ce projet de recherche est de formuler des orientations stratégiques pour une gestion intégrée des ressources en eau (GIRE), émanant d'une compréhension des déterminants de la vulnérabilité au changement climatique et de la durabilité de l'offre de biens et services environnementaux en lien avec les ressources hydriques.



Professeur KHATTABI lors d'une sortie de prospection de terrain avec les étudiants chargés du projets à Ourika.

Sommaire

REMERCIEMENTS	2
Avant-propos	3
Résumé :	7
Abstract :	8
Liste des abréviations :	9
INTRODUCTION	12
CHAPITRE 1 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	13
I. Pédologie et méthodes d'analyses du sol	13
1. Pédologie.....	13
❖ Sol	13
❖ Description	13
❖ Les fractions du sol	14
▪ Fraction minérale	14
▪ Fraction organique	14
2. Méthodes d'analyse du sol.....	15
2.1. Analyses physiques des sols	15
2.1.1. Humidité.....	15
2.1.2. La texture du sol	15
2.1.3. Résistance à la pénétration d'un sol	16
2.1.4. Réserve utile en eau du sol	17
❖ Humidité à la capacité au champ	17
❖ Point de flétrissement.....	18
❖ Densité apparente	18
2.2. Analyses chimiques	19
2.2.1. Mesure du pH (Eau et KCl).....	19
2.2.2. Mesure de la matière organique	20
2.2.3. Dosage du Carbone organique et d'azote total.....	20
II. Présentation de la zone d'étude	21
1. Situation géographique	21
2. Données hypsométriques	21

3.	Les pentes.....	22
4.	Cadre géologique et lithologique du bassin versant	23
5.	Cadre pédologique	24
6.	Cadre climatique	24
7.	Le régime pluviométrique.....	26
8.	Occupation des sols et répartition de la végétation.....	29
8.1.	Occupation des sols.....	29
8.2.	Répartition de la végétation	29
9.	Conséquences sur l'érosion.....	33
10.	Conséquence sur l'écoulement hydrique	34
CHAPITRE 2 : MATERIELS ET METHODES		36
I.	Sites d'étude : Choix et caractéristiques	36
II.	Cartographie de la végétation.....	37
III.	Echantillonnage	39
IV.	Matériels et méthodes.....	47
1.	Analyses physique du sol.....	47
1.1.	Humidité	47
1.2.	Texture	47
1.3.	Détermination des couches de restriction des racines.....	49
1.4.	Réservoir utile	50
	• La capacité au champ	50
	• Point de flétrissement	51
	• Mesure de la densité	52
2.	Analyses chimiques du sol.....	53
2.1.	pH.....	53
2.2.	Détermination de la teneur en matière organique par calcination	53
2.3.	Dosage de la matière organique, du carbone organique et de l'azote total.....	54
2.4.	Dosage du calcaire total	56
V.	Résultats et discussion.....	57
1.	Résultats	57
	▪ Texture.....	62
	▪ Restriction des racines	62

▪ pH	63
▪ Matière organique.....	63
▪ Carbone.....	64
▪ L'azote	64
▪ Réserve utile :	65
2. Discussion	70
Conclusion.....	72
Référence bibliographique :	73

Résumé :

Le contexte climatique fait que certaines régions sont plus vulnérables que d'autre dont le bassin de Tensift El Hawz en est un. Dans ce cadre s'inscrit le projet GIREPS qui a pour but d'augmenter et optimiser les services environnementaux au niveau de la région de l'Ourika

Le présent travail qui dérive du projet GIREPS a fait l'objet de la caractérisation de la réserve utile en eau des sols du bassin versant de l'Ourika en tenant compte à la fois l'influence des paramètres physico-chimiques du sol et le type d'occupation végétale.

A cette fin la méthode utilisée est un suivie in situ de l'évolution de l'humidité du sol, au niveau des trois quadras (117cm/117cm) par site jusqu'à sa stabilisation (HCC) après avoir les saturer en eau.

Les échantillons collectés et analysés au laboratoire ont montré une variabilité plus ou moins remarquable entre les différents sites étudiés en termes de grandeurs physico-chimique (texture, résistance à la pénétration, matière organique, pH, ...) ce qui a contribué à une différence de réserve utile en eau plus ou moins considérable entre les différents sols, qui varie de 15,9 mm à 37,7 mm.

Mots clés : Bassin versant Ourika, sol, réserve utile, résistance, caractéristiques physico-chimiques.

Abstract :

The climate context means that some areas are more vulnerable than others in the Tensift El Hawz Basin. In this framework, the GIREPS project aims to increase and optimize environmental services in the Ourika region.

The present work, which derives from the GIREPS project, has been characterized by the characterization of the available water content of the soils of the Ourika catchment, taking into account both the influence of the physicochemical parameters of the soil and the type of vegetal cover.

For this purpose, the method used is an in situ follow-up of the evolution of soil moisture, at the level of the three quadras (117 cm / 117 cm) per site until its stabilization (HCC) after having saturated them in water.

The samples collected and analyzed in the laboratory showed a more or less remarkable variability between the different sites studied in terms of physicochemical quantities (texture, resistance to penetration, organic matter, pH, etc.) which contributed to a difference of a available water content of more or less considerable water between the different soils, which varies from 15.9 mm to 37.7 mm.

Key words : Key words: Ourika watershed, soil, available water content, resistance, physicochemical characteristics.

Liste des abréviations :

- A-L-S** : Structure argile limono-sableuse
Arb. : Arboriculture.
B.V : Bas versant.
C : Teneur en carbone.
C/N : Rapport carbone/azote.
Da : Densité apparente.
H : Humidité.
H V : Haut versant.
HCC : Humidité à la capacité au champ.
L : Structure limoneuse.
L-S : Structure limono-sableuse.
M O : Teneur en matière organique.
M V : Mis versant.
Moy : Moyen.
N : Teneur en azote.
NDVI : Normalized Difference Vegetation Index (indice de végétation par différence normalisé).
P : Profondeur par centimètre.
Pf : Poids frais.
pF : Point de flétrissement.
pH : Potentiel d'hydrogène.
Ps : Poids sec.
Q : Quadra.
Reb. : Reboisement par Pin d'Alep.
Rés : Résistance à la pénétration.
RU : Réserve utile.
S1 : Site de la chênaie du Toug Elkhir.
S2 : Site de la chênaie d'Ouelmes.
S3 : Site de la Juneperais d'Ouelmes.
S4 : Site du thuya d'Amassine.
S5 : Site hors couvert végétale.
TAB : Terrasse agricole Bour.
TAI : Terrasse agricole irrigué.
Tex : Texture.
Th.M.D : Site de Thuya moyennement dense.

Liste des figures :

- Figure 1 :** Schéma montrant les différentes causes de la compaction du sol.
- Figure 2 :** L'acidité effective et l'acidité titrable.
- Figure 3 :** Situation géographique du bassin versant de l'Ourika (in Saidi, 2003).
- Figure 4 :** Carte hypsométrique du bassin versant de l'Ourika. (Saidi 2003)
- Figure 5 :** Carte des pentes du bassin versant de l'Ourika (Saidi, 2003).
- Figure 6 :** Esquisse géologique du bassin versant de l'Ourika (Saidi et al, 2003).
- Figure 7 :** Situation de l'étage bioclimatique d'Ourika sur le climmagrame d'Emberger.
- Figure 8 :** Photo montrant la nébulosité au niveau de la vallée d'Ourika.
- Figure 9 :** Précipitations mensuelles d'Aghbalou (mm). (Saidi, 2003)
- Figure 10 :** précipitations moyennes saisonnières d'Aghbalou (mm). (Saidi, 2003)
- Figure 11 :** précipitations moyennes annuelles d'Aghbalou (mm). (Saidi, 2003)
- Figure 12 :** Carte d'occupation du sol (DREF, 2010).
- Figure 13 :** Exemple de dégâts de la crue du 17 août 1995 et du niveau atteint par ses dépôts (Source : agence de bassin hydraulique de Tensift).
- Figure 14 :** Image montrant le résultat du calcul de l'indice de végétation normalisé de la végétation de la région Ourika
- Figure 15 :** Carte du couvert végétal de l'Ourika après classification du NDVI par Arc GIS.
- Figure 16 :** Photo d'un profil du sol creusé
- Figure 17 :** Photo lors du prélèvement d'un échantillon par le cylindre.
- Figure 18 :** Photo d'un prélèvement par la tarière.
- Figure 19 :** Photos montrant la pipette de Robinson.
- Figure 20 :** Triangle de texture proposé par USDA (IUSS Working Group WRB, 2006).
- Figure 21 :** Photo montrant le pénétromètre de poche (4,5 bars).
- Figure 22 :** Photos montrant les étapes de la préparation d'un quadra.
- Figure 23 :** Photo d'humidimètre TDR (Time Domain Reflectometer).
- Figure 24 :** Photo de la presse à membrane ou la marmite de Richard.
- Figure 25 :** Matériels de minéralisation du carbone et de l'azote (à gauche), de distillation de l'azote (à droite).
- Figure 26 :** Photos qui illustre le développement des racines des arbres sur la roche mère.

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Résultats des analyses physico-chimiques du site 1.

Tableau 2 : Résultats des analyses physico-chimiques du site 2.

Tableau 3 : Résultats des analyses physico-chimiques du site 3.

Tableau 4 : Résultats des analyses physico-chimiques du site 4.

Tableau 5 : Résultats des analyses physico-chimiques du site 5.

Tableau 6 : Tableau des paramètres utilisés dans le calcul de la réserve utile du site 1.

Tableau 8 : Tableau des paramètres utilisés dans le calcul de la réserve utile du site 3.

Tableau 10 : Tableau des paramètres utilisés dans le calcul de la réserve utile du site Th.M.D.

Tableau 11 : Tableau des paramètres utilisés dans le calcul de la réserve utile du site TAI.

Tableau 12 : Tableau des paramètres utilisés dans le calcul de la réserve utile du site T.A.B.

Tableau 13 : Tableau des paramètres utilisés dans le calcul de la réserve utile du site Arb.

Tableau 14 : Tableau des paramètres utilisés dans le calcul de la réserve utile du site Reb.

INTRODUCTION

Comme tous les pays ayant un climat méditerranéen, le Maroc connaît des périodes de sécheresse ou d'averses brutales en particulier en montagnes qui sont dues à l'irrégularité des précipitations qui est l'une des caractéristiques de ce type du climat. Certaines régions sont plus vulnérables aux conséquences de ces aléas que d'autres dont les bassins versants font partie.

L'étude de ces territoires en termes de connaissance des propriétés de leurs sols "qui constituent une ressource naturelle non renouvelable" et de leurs caractéristiques physicochimiques, intéresse les gestionnaires de l'environnement confrontés aux problèmes de l'érosion, de pollution anthropique des sols, de gestion des nappes phréatiques en termes de qualité d'eau et d'utilisation des stocks, qui deviennent de plus en plus conscient de leurs usages productifs, de leurs fonctions environnementales et écologiques, ainsi que la prise en compte de leur rôle dans l'aménagement du territoire constituent un enjeu collectif pour le développement durable.

Parmi les bassins versants marocains les plus sensibles on trouve celui d'Ourika, qui se situe dans la région du haut atlas.

L'objet de ce rapport est double. Il consiste à une contribution à la caractérisation physico-chimique des sols de la région, et à la quantification de la réserve utile en eau de ces sols, ainsi que l'effet de la compacité des sols sur le développement des racines.

Ce rapport sera donc l'occasion d'engager une réflexion générale sur l'étroite relation qu'il existe entre les caractéristiques physico-chimiques des sols et leur réserve utile en eau.

CHAPITRE 1 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Pédologie et méthodes d'analyses du sol

1. Pédologie

La pédologie est une science qui s'intéresse à la formation et à l'évolution des sols. La formation d'un sol résulte toujours de deux mécanismes concomitants : l'altération des couches les plus superficielles de la roche mère sur lesquelles s'accumulent progressivement de la matière organique morte, d'origine essentiellement végétale et la minéralisation et l'humification progressive par les microorganismes. Les sols s'épaississent donc au cours du temps, de façon à la fois centrifuge et centripète.

❖ Sol

Le sol est le support de la vie terrestre. Il résulte de la transformation de la couche superficielle de la roche-mère, la croûte terrestre, dégradée et enrichie en apports organiques par les processus vivants. Hors des milieux marins et aquatiques d'eau douce, il est ainsi à la fois le support et le produit du vivant.

❖ Description

Le sol est formé de plusieurs couches (horizons) ; l'ensemble de ces horizons que l'on distingue sur une coupe se nomme "**SOLUM**" (ou profil) sont :

- **L'horizon O (organiques) :** C'est l'horizon constitué exclusivement de matière organique, de végétaux plus ou moins transformés en condition aérobie.
- **Les horizons A :** Ils sont constitués d'un mélange de matière organique et de matière minérale et sont situés à la base des horizons holorganiques lorsque ceux-ci existent ou sinon à la partie supérieure du sol.
- **Les horizons éluviaux E :** Les horizons éluviaux E sont des horizons minéraux ou organo-minéraux nettement appauvris en fer et/ou en argiles fines (< 2 µm) et / ou en aluminium.
- **Les horizons illuviaux B :** Les horizons B sont des horizons enrichis en constituants, minéraux ou organiques, une partie de l'enrichissement étant la conséquence d'une migration de matière, verticale ou latérale.
- **Les horizons d'altération à structure pédologique S :** L'horizon structural S est un horizon pédologique d'altération. Il est le siège de processus d'altération des minéraux primaires (avec libération d'oxydes ou d'hydroxydes de fer et d'Al), et de décarbonatation.
- **Les horizons hydromorphes G et g :** On distingue deux types d'horizons hydromorphes :

- **Les horizons réductiques G** : Ils résultent d'un excès d'eau presque permanent, leur morphologie est à attribuer à la prédominance des processus de réduction du fer.
- **Les horizons rédoxiques g** : Ils résultent d'un excès d'eau temporaire, leur morphologie résulte de la succession, dans le temps, de processus de réduction et d'oxydation du fer.
- **Les horizons d'altération à structures lithologiques C** : L'horizon C se situe à la base du sol, en continuité avec la roche-mère qui lui donne naissance. Les constituants de cet horizon ont subi une fragmentation importante et/ou une certaine altération chimique.
- **Les roches-mères : R, M ou D (roches-mères ou substrats)** : Il s'agit de roches, dures ou meubles, non altérées (ou seulement très localement). Ce matériau peut être partiellement exploité par les racines.

❖ **Les fractions du sol**

▪ **Fraction minérale**

La fraction minérale représente l'ensemble des produits de la dégradation physique puis chimique de la roche mère, on y trouve : les blocs de taille supérieure à 4 cm, les graviers d'une taille comprise entre 4 mm et 4 cm, les sables grossiers, les sables fins, les limons, et l'argile granulométrique.

▪ **Fraction organique**

La matière organique est composée d'éléments principaux (le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote) et d'éléments secondaires (le soufre, le phosphore, le potassium, le calcium et le magnésium). Elle constitue l'humus.

La fraction organique se répartit en 4 groupes :

- La matière organique vivante, animale et végétale, qui englobe la totalité de la biomasse en activité.
- Les débris d'origine végétale et animale (déjections, cadavres) c'est la matière fraîche.
- Des composés organiques intermédiaires, appelés matière organique transitoire (évolution de la matière organique fraîche).
- Des composés organiques stabilisés, les matières humiques, provenant de l'évolution des matières précédentes qu'on nomme l'humus.

L'humus est généralement associé aux minéraux argileux et forme le complexe argilo-humique lequel joue un rôle essentiel dans la structure du sol, ses propriétés mécaniques, physiques, hydriques et chimiques.

Les différents types d'humus que l'on peut observer dans la nature sont issus de processus biochimiques complexes, ceux-là dépendant des conditions pédologiques régnant localement, ces types sont :

- **Les mulls** : sont des humus forestiers, zoogènes, constitués d'un mélange homogène de matières organiques bien humifiées et de minéraux. La teneur en matières organiques varie de 5 à 20 % et le rapport C/N, de 10 à 15.
- **Les moders** : sont des humus forestiers, zoogènes, formés de débris végétaux partiellement décomposés par la faune du sol. Le rapport C/N est de l'ordre de 20 à 25, parfois plus faible.
- **Les mors** : Présentant une nette démarcation avec l'horizon A, le mor est généralement acide et a une forte teneur en carbone organique (au moins 52 %), et un rapport C/N élevé (de 25 à 35, parfois plus).

2. Méthodes d'analyse du sol

2.1. Analyses physiques des sols

2.1.1. Humidité

L'humidité du sol joue un rôle important dans le maintien de la vie sur la Terre, sa première "utilisation" est de permettre la croissance de la végétation. Elle conditionne également la mise en place du peuplement végétal (germination des semences, émergence, implantation du système racinaire, etc.).

Il existe différentes approches pour estimer l'humidité du sol : données de télédétection la sonde à neutrons... et la mesure du séchage au laboratoire que nous avons suivi.

2.1.2. La texture du sol

La texture du sol est la répartition des particules du sol inférieures à 2 mm par catégorie de taille (ou granulométrie des particules < 2 mm). Habituellement 3 catégories sont considérées : les argiles (< 2 μm), les limons (2-50 μm) et les sables (50-2000 μm). La répartition est habituellement représentée par un graphique ternaire ou triangle de texture.

La texture d'un sol a des effets sur la densité, sur la porosité, sur la circulation de l'eau et de l'air, sur la rétention de l'eau entre autres propriétés. Cette distribution de la taille de pores est très peu influencée par le travail du sol et évolue peu dans le temps. Ainsi, la plupart des systèmes de classification des sols sont basés sur la texture qui est alors considérée comme le critère de base de la classification (Bittelli et al., 1999 ; Chesworth, 2008).

Il existe différentes méthodes pour la déterminer, parmi elles nous citons les méthodes suivantes :

-Méthode du tamisage qui consiste à séparer une portion d'échantillon séchée par vibration, sur une série de tamis superposés. Par la suite, le contenu de chaque tamis est pesé et la fraction d'échantillon recueillie par tamis est rapportée sur la quantité d'échantillon totale.

-Méthode hydrométrique ; dont une portion d'échantillon séchée est mélangée à un volume d'eau contenant un agent dispersant, lequel est ensuite introduit dans un cylindre. La densité du mélange est mesurée à l'aide d'un hydromètre à divers intervalles de temps.

-Méthode de la granulométrie par diffraction laser qui est basée sur le principe de la diffraction de la lumière, les grains en suspension dans l'eau diffractent une lumière émise par un faisceau laser. La taille des particules modifie la répartition spatiale de la lumière qui est enregistrée par des photodiodes. (Beckman Coulter LS-13320©, Cilas 1090/1190©, Malvern Mastersizer 2000©, Shimadzu SALD et IG-1000©, ...).

Pour déterminer la texture de nos échantillons nous avons utilisé la méthode de la pipette de Robinson qui dérive de la méthode hydrométrique.

2.1.3. Résistance à la pénétration d'un sol

La résistance d'un sol à la pénétration est un moyen de déterminer la facilité avec laquelle les racines vont le franchir.

Cette résistance varie d'une couche de sol à l'autre, lorsqu'une couche a une forte résistance et compaction elle bloque le développement racinaire ce qu'on nomme la couche de restriction des racines, cette compaction résulte de différentes causes :

Notons tout d'abord qu'on distingue trois types de compaction de sols : la compaction de surface (située à moins de 20 cm), la compaction de profondeur (à partir de 30 cm et peut aller jusqu'à 60 cm). Entre ces deux types, on trouve souvent une compaction que l'on réfère très souvent à la semelle de labour qui est la couche du sol la plus dense qui se trouve immédiatement sous les passages fréquents du soc de la charrue (fig.1)

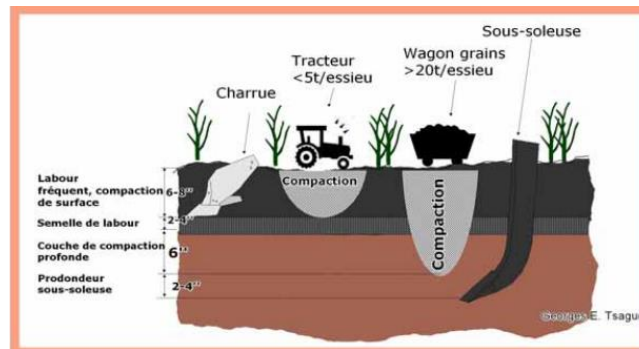


Figure 1 : Schéma montrant les différentes causes de la compaction du sol.

Autre cause due à l'angle de frottement interne qui est formé naturellement par un matériau mis en tas par rapport à l'horizontale. Il dépend du type de sol et plus particulièrement de l'émoussé de ses grains : plus ces derniers sont anguleux, plus l'angle de frottement interne sera élevé.

NB. Pour la mesure de la résistance nous avons utilisé un pénétromètre de poche.

2.1.4. Réserve utile en eau du sol

La quantité d'eau maximale que les plantes peuvent extraire du sol (eau utilisable) est bornée par la teneur en eau au point de flétrissement permanent, et la teneur en eau à la capacité au champ. Elle correspond plus précisément à la quantité d'eau retenue, après 48 heures d'infiltration de l'eau libre, par un sol préalablement gorgé d'eau.

Ce stock d'eau disponible dans le sol pour les plantes est couramment appelé réserve utile (RU). En cohérence avec l'analyse bibliographique de Généré et al (2012), on lui préférera l'appellation de « réservoir utilisable » (RU), afin de bien exprimer que la notion recouvre une vision de la quantité d'eau potentiellement disponible pour les plantes, et non de la quantité d'eau utilisée.

Le calcul de ce réservoir utilisable est réalisé à partir de la formule suivante :

$$RU = (HCC - pF) * Da * Z$$

Dont :

HCC = humidité à la capacité aux champs,

pF = point de flétrissement,

Da = densité apparente du sol,

Z = profondeur.

❖ Humidité à la capacité au champ

La capacité au champ correspond à la capacité de rétention maximale (**Pf=2,7**) en eau du sol

Concernant les méthodes de mesure de la capacité de rétention on trouve des :

Méthodes physiques

Les techniques de laboratoire sont basées sur l'élimination de l'eau de gravité par une force extérieure, celle-ci peut être appliquée par :

- Succion à une atmosphère (méthode Bouyoucos) ;
- Pression à 1/3 d'atmosphère (méthode Richard) ;
- Centrifugation à 1000g (méthode Briggs).

Méthode naturelle

Cette dernière est basée sur la force de succion de la terre elle-même : élimination de l'eau de gravité d'un échantillon de la terre humectée à l'excès par la même terre sèche.

❖ Point de flétrissement

Le point de flétrissement permanent (**pF=4.2**) correspond au seuil au-delà duquel l'humidité du sol ne permet plus à la plante de prélever l'eau, car la réserve utile en eau du sol a été entièrement consommée.

Diverses méthodes ont été proposées pour la détermination du point de flétrissement à savoir :

Méthode biologique

Cette méthode est celle de référence pour la détermination de ce paramètre. Elle consiste à mesurer la teneur en eau du sol au moment du flétrissement permanent d'une plante témoin placée dans un atmosphère saturé.

Méthodes physiques

- Mesure de la quantité d'eau retenue dans le sol après l'application d'une pression de 15 atmosphères, à pF = 4,2 (méthode Richard) ;
- Détermination du taux d'eau non congelée à -1,25 °C.

❖ Densité apparente

La densité apparente est l'un des paramètres les plus importants dans les études portant sur la structure du sol. Elle est, en effet, liée à la nature et à l'organisation des constituants du sol (CHAUVEL, 1977). Elle permet, en outre, de calculer la porosité et d'apprécier ainsi indirectement la perméabilité, la résistance à la pénétration des racines (MAERTENS, 1964), la cohésion des horizons (YORO, 1983 ; YORO et ASSA, 1986) et la réserve en eau du sol (HENIN, MONNIER et GRAS, 1969).

Sa connaissance peut permettre de déterminer ou d'orienter les travaux de préparation du sol tels que le labour, le sous-solage, le pulvérisage, le hersage ... Elle peut être évaluée au laboratoire sur des échantillons, ou sur le terrain dans des horizons en place selon que l'on veut déterminer la porosité texturale, la microporosité ou la macroporosité. Au laboratoire, sont essentiellement utilisées la méthode à la paraffine et à l'eau et la méthode au pétrole. Ces deux

méthodes conviennent surtout pour la mesure de la densité apparente des mottes (VIZIER, 1971), des petits agglomérats (MONNIER, STENGEL et FIES, 1973) et des agrégats (YORO, 1983). Pour les mesures in situ, il existe quatre méthodes : la méthode au cylindre, la méthode au sable, la méthode au densitomètre à membrane et la méthode par gammamétrie.

Dans notre étude nous avons utilisé la méthode au cylindre.

2.2. Analyses chimiques

2.2.1. Mesure du pH (Eau et KCl)

L'acidité du sol est définie par la concentration en ions H^+ : on oppose l'acidité effective (fig.2), qui correspond à la concentration en ions H^+ libres existant dans la solution du sol, à l'acidité titrable qui est représentée par les ions H^+ échangeables (beaucoup plus abondant) fixés par les colloïdes et qui constitue une réserve non disponible directement. Les sols ont une réaction neutre, acide ou basique. Leurs degrés d'acidité ou de basicité sont exprimés par le pH. La mesure du pH constitue ainsi le test le plus sensible aux modifications survenant dans l'évolution d'un sol. Le pH du sol dépend également du complexe argilo-humique. Des ions H^+ sont fixés sur le complexe. Ces ions H^+ fixés sont en équilibre avec les ions H^+ libres de la solution du sol.

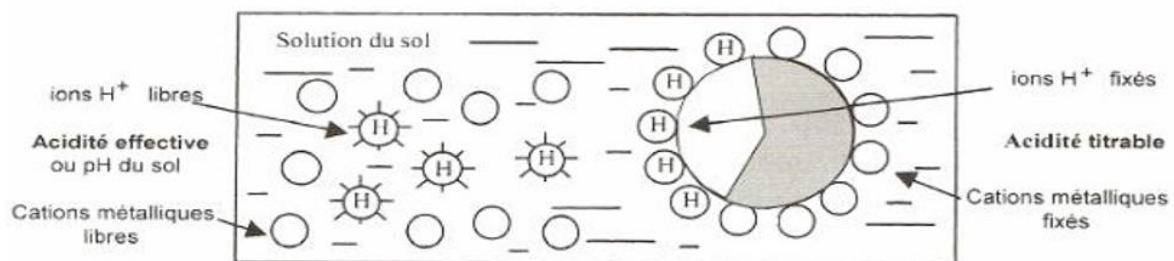


Figure 2 : L'acidité effective et l'acidité titrable.

L'acidité effective, ou acidité réelle, est mesurée avec le pH mètre après un contact terre /eau déminéralisée : c'est le pH eau.

L'acidité titrable, ou acidité de réserve, est mesurée soit par titration, soit par échange avec une solution saline, en présence d'une solution de KCl, de Ca^{++} , NaF...

On échange ainsi une partie des ions H^+ adsorbés par du potassium : c'est le pH KCl.

Le pH KCl est normalement plus acide que le pH eau. Les ions K^+ , en prenant la place d'ions H^+ sur le complexe, font apparaître une acidité d'échange d'autant plus forte que l'acidité titrable est élevée. (Mathieu et al., 2003). Du point de vue pédologique, la mesure du pH d'un échantillon de sol est une appréciation globale et indispensable).

2.2.2. Mesure de la matière organique

La matière organique du sol (MOS) désigne une large gamme de composés allant des organismes vivants à la matière organique morte de degrés de dégradation, de composition et de complexité variables. La taille de ce compartiment résulte d'un équilibre entre les entrées (chute de litière, exsudats racinaires, racines et animaux morts, fixation photosynthétique par des micro-algues et des cyanobactéries...) et les sorties (minéralisation par les microorganismes, pertes par lixiviation ou lessivage...) de matières organiques. (in romain, 2015).

Pour la détermination de la teneur en matière organique de nos échantillons nous avons utilisé la méthode de perte au feu ou perte par calcination.

2.2.3. Dosage du Carbone organique et d'azote total

La matière organique d'un sol est constituée des résidus de plantes et d'animaux à différents stades de décomposition. Si, par une intervention extérieure la quantité ou la qualité des intrants est modifiée, l'activité microbienne du sol est affectée, et par la même, les cinétiques de minéralisation de la matière organique ce qui, finalement, a une répercussion sur les quantités de carbone organique et d'azote.

Le rapport carbone organique/azote total (C/N) peut également nous informer sur la capacité d'un sol à stocker et à recycler l'énergie et les nutriments. Il existe en effet une étroite relation entre le rapport C/N de la matière organique et l'activité microbienne des sols.

Parmi les principaux les méthodes du dosage du carbone on trouve la méthode de Walkley et Black et celle d'Anne avec laquelle nous avons travaillé.

II. Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique

D'une superficie de 576 km² le bassin versant d'Ourika se situe dans le Haut Atlas occidental au centre de la province d'Al Haouz à 35 km de Marrakech entre les latitudes 31° et 31°21' Nord et les longitudes 7°30' et 7°60' Ouest. Il constitue un sous bassin atlasique du grand bassin versant du Tensift (Fig. 3), Il est limité au Sud par le haut bassin de l'Oued Sousse, au Nord par la plaine du Haouz, à l'Est par le bassin versant de Zat et à l'ouest par le bassin versant de la Rhéraya.

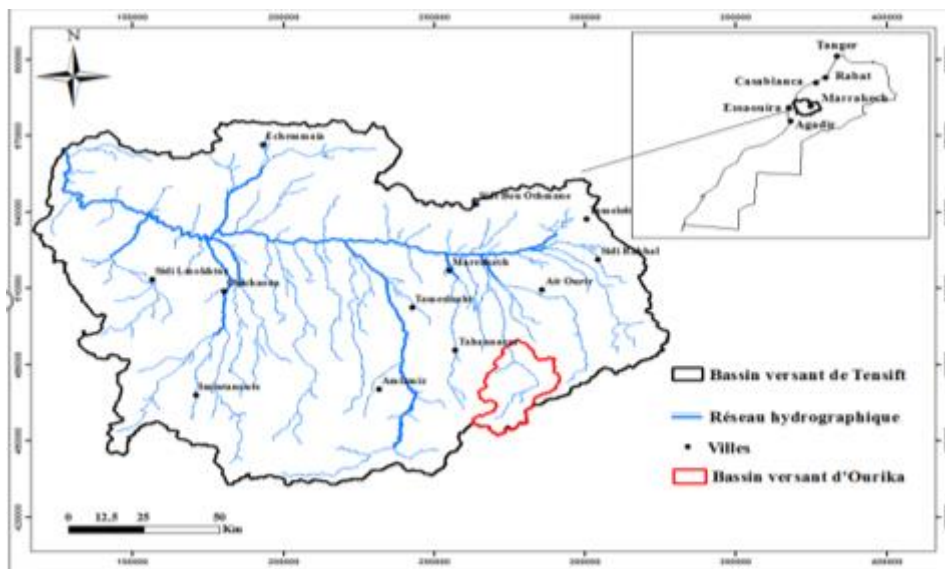


Figure 3 : Situation géographique du bassin versant de l'Ourika (in Saidi, 2003).

La zone est caractérisée par trois principales unités physiographiques : les zones du piémont avec une altitude aux alentours de 600 m, les vallées de l'Oued Ourika et ses affluents et les zones de haute montagne et les plateaux d'altitude.

2. Données hypsométriques

L'analyse de la répartition des tranches d'altitude s'est effectuée à partir de la carte topographique au 1/100000 Oukaimden-Toubkal. La répartition altimétrique au bassin de l'Ourika montre la prédominance des terrains compris entre 1600 et 3200 m (75%), l'altitude moyenne s'élève à 2500 m. Le point culminant du bassin est celui de Jebel Ifrouane (4001 m) et le point le plus bas est celui de l'exutoire (848 m) (fig.4).

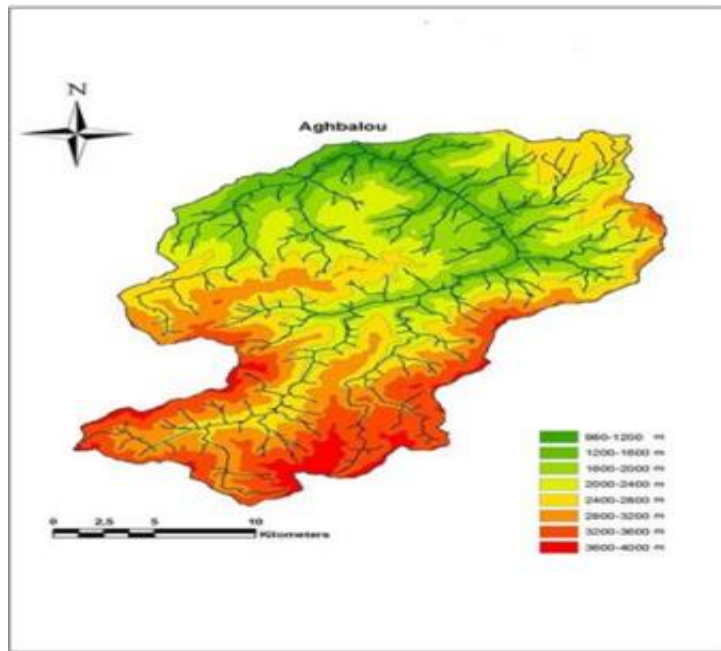


Figure 4 : Carte hypsométrique du bassin versant de l'Ourika. (Saidi 2003)

3. Les pentes

Les pentes sont dans l'ensemble fortes. Celles du cours principal ne dépassent pas 5 %, mais celles des affluents et des versants montagneux sont beaucoup plus importantes : Le Tarzaza qui draine le massif de l'Oukaïmden suit une pente moyenne de 11 %, mais les ravins les plus abrupts se situent en amont du bassin avec des pentes qui atteignent, par endroit, des valeurs de 30 à 40 %, comme le cas de l'Oufra et du Tifni (Fig. 5). Ces pentes confèrent à l'oued un caractère violent et torrentiel.

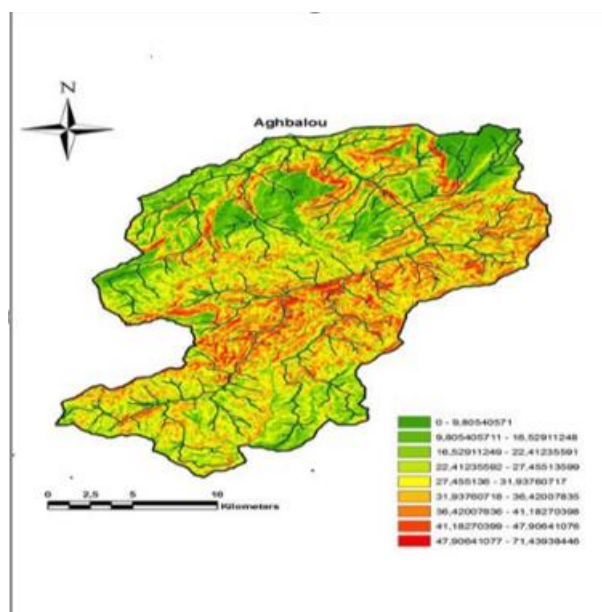


Figure 5 : Carte des pentes du bassin versant de l'Ourika (Saidi, 2003).

4. Cadre géologique et lithologique du bassin versant

Sur le plan géologique, le bassin-versant offre deux grands types de faciès:

– Une partie amont, située à des altitudes supérieures à 2000 m, constituée de roches magmatiques et métamorphiques, qui constituent le socle de la chaîne atlasique. On y rencontre des roches plutoniques (notamment des granites et granodiorites), des roches volcaniques (andésites, rhyolites, etc.) et des faciès métamorphiques (gneiss et migmatites). Cette mosaïque cristalline est propice à un ruissellement immédiat des eaux de pluie.

– Une partie septentrionale, située à des altitudes inférieures à 2000 m, composée de dépôts permo-triasiques et quaternaires plus tendres. La lithologie du permo-trias est composée d'un faciès nord, subatlasique, formé de conglomérats, grès et siltites, et d'un faciès sud des hauts plateaux, formé essentiellement de siltites argileuses et localement de grès massifs.

Les observations lithologiques déduites de la carte géologique au 1/500 000 et des prospections de terrain montrent que les roches tendres à moyennement tendres représentent une étendue inférieure à 40 %, alors que le substrat dur représente environ 65 % de l'étendue du bassin. Ainsi, la source des blocs et des galets charriés par l'Ourika proviendrait essentiellement du socle qui constitue la partie axiale de la chaîne atlasique. Quant aux matériaux latéraux plus tendres en provenance des versants, leurs entrées au niveau des drains principaux sont très variées : matériaux alluviaux (contact avec les cônes de déjection et les confluences des tributaires) et matériaux non alluviaux (cônes d'éboulis et glissements de terrain). Toutefois, l'environnement géomorphologique est marqué par la dominance de deux groupes de formes et de dépôts : les cônes de déjection et les terrasses Fulvio-torrentielles. Ces deux unités sont intimement liées dans le temps et dans l'espace. Leurs dépôts sont constitués par des matériaux ayant subi un transit dans un milieu fluvial diversifié. (**fig. 6**)

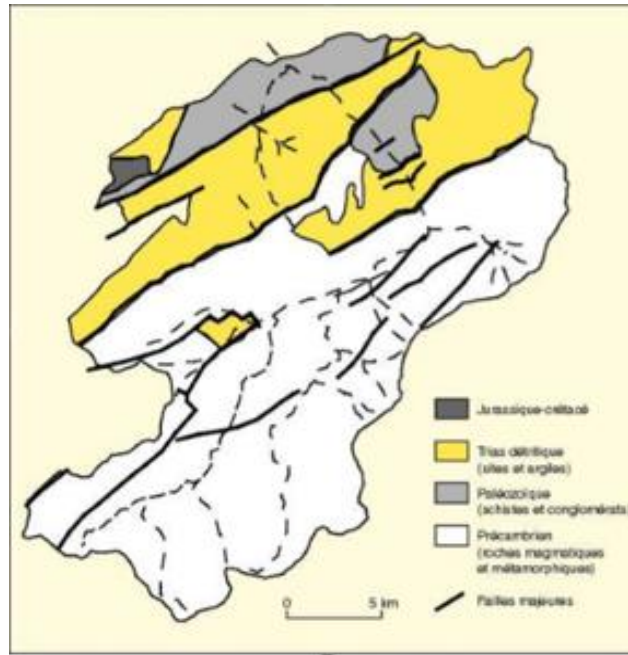


Figure 6 : Esquisse géologique du bassin versant de l'Ourika (Saidi et al, 2003).

5. Cadre pédologique

Les types de sols et leur évolution dépendent essentiellement de la nature lithologique des substrats, qui, sous l'influence des facteurs écologiques en l'occurrence le climat, la végétation, la topographie, la pente et l'épandage de la roche mère donne naissance à des différents types de sols. On distingue plusieurs types de sols au niveau de la vallée de l'Ourika, dont :

Les sols squelettiques défavorables à l'installation de la végétation surtout sous des conditions de sécheresse. Mais, ils sont couverts généralement de matorral*, de chêne vert rabougri, d'oléastre et de caroubier,

Les lithosols, sur les versants secs avec une faible couverture végétale. Les substrats de types schisteux et grès schisteux affleurent. Il n'y a pas d'évolution pour donner un sol. C'est un milieu à formation dure non carbonatée couvert de reboisement de pins,

Les sols rouges fersialitiques, l'altération des grès rouges sous des conditions climatiques assez chaudes aboutit à la formation d'un manteau argilo-sableux.

6. Cadre climatique

Le climat est typiquement méditerranéen à influences semi-continentales.

Des variations dans la nature et dans la quantité des précipitations sont enregistrées dans les parties basses et hautes en liaison avec les gradients climatiques altitudinaux. Les précipitations neigeuses sont fréquentes de novembre à avril au-delà de 2200 m d'altitude. L'enneigement,

pendant cette période, est plus persistant sur les hauts versants de l'ubac, souvent ombragés, et plus fugace sur les versants chauds, exposés au sud.

Au niveau du piémont et de la zone sub-atlasique, le total moyen annuel des précipitations varie de 450 à 650 mm, il correspond aux bioclimats semi-aride (fig.7).

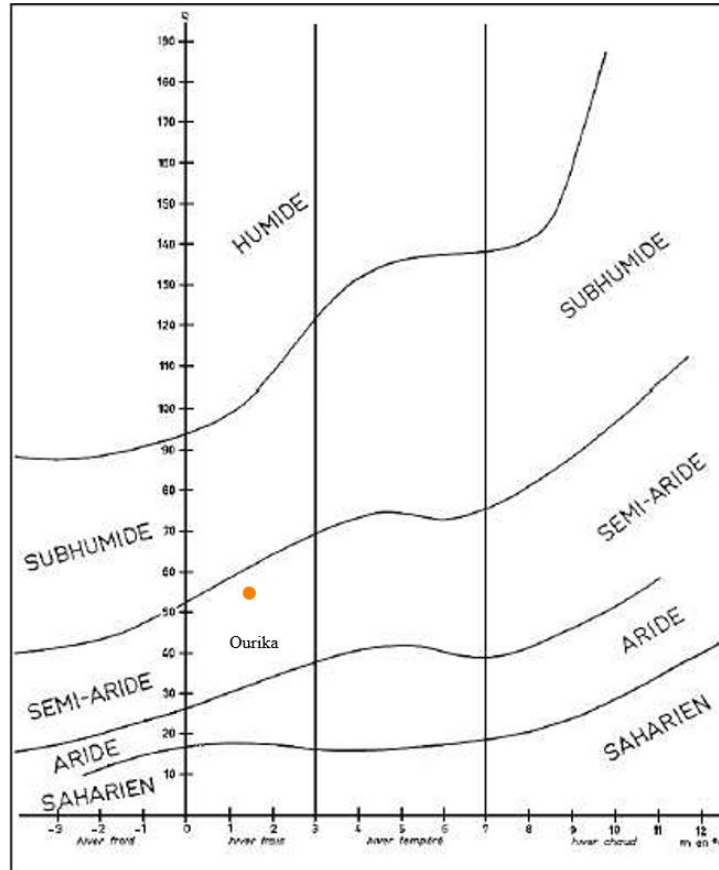


Figure 7 : Situation d'Ourika sur le climmagrame d'Emberger.

Il est aussi intéressant de signaler l'importance de l'impact des masses d'air humide qui affectent la région. L'analyse de la variation moyenne mensuelle de l'humidité relative à Marrakech, dans la plaine, montre qu'elle avoisine 65 % ; en été, elle descend à 40 %. Par conséquent, malgré l'aridité apparente du climat dans la région de Marrakech, le degré de l'humidité de l'air est satisfaisant. Ce phénomène est rendu visible grâce à la fréquence de la nébulosité au niveau des massifs bien exposés. L'observation de la circulation de ces masses d'air humide dans les différentes parties du bassin étudié a permis de pallier le manque de données climatiques. Elle a permis par la suite de le diviser en trois types de domaines en liaison avec la fréquence de la nébulosité (fig.8). Ces domaines peuvent :

— Les domaines océaniques les plus touchés par la nébulosité se localisent sur les massifs directement exposés aux courant d'air humide.

— Les domaines internes se situent au niveau des vallées internes abritées derrière les hauts massifs. Dans le bassin de l'Ourika, ce type de domaines est peu répandu, il existe au niveau du tronçon est-ouest de l'Ourika où l'encaissement de la vallée est important.

Les domaines semi-internes occupent une position intermédiaire. Ils nuageux. Sont plus ou moins touchés, suivant le type de temps et l'intensité des flux nuageux.

Du fait de leur encaissement relatif, les domaines semi-internes et internes sont le siège de conditions méso climatiques liées à l'effet de vallées et à l'effet de foehn, bien connus dans les chaînes de montagnes. Il est à signaler que ces subdivisions climatiques se superposent bien aux zones géographiques, individualisées par l'orographie. (Ouhammou, 1986)



Figure 8 : Photo montrant la nébulosité au niveau de la vallée d'Ourika.

7. Le régime pluviométrique

Les données de précipitations sont fournies par l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift, recueillies principalement à la station d'Aghbalou située à l'exutoire du bassin versant de l'Ourika, aux coordonnées Lambert suivantes :

$X = 276.150$, $Y = 83.050$, $Z = 1070$ NGM.

A titre d'analyse et de comparaison, ces données sont représentées à l'échelle mensuelle, saisonnière, et annuelle des précipitations.

Variation mensuelle des précipitations (1969-2011) :

Les précipitations mensuelles à la station d'Aghbalou ont été obtenues par le calcul de la moyenne arithmétique des données journalières de chaque mois (Fig.9).

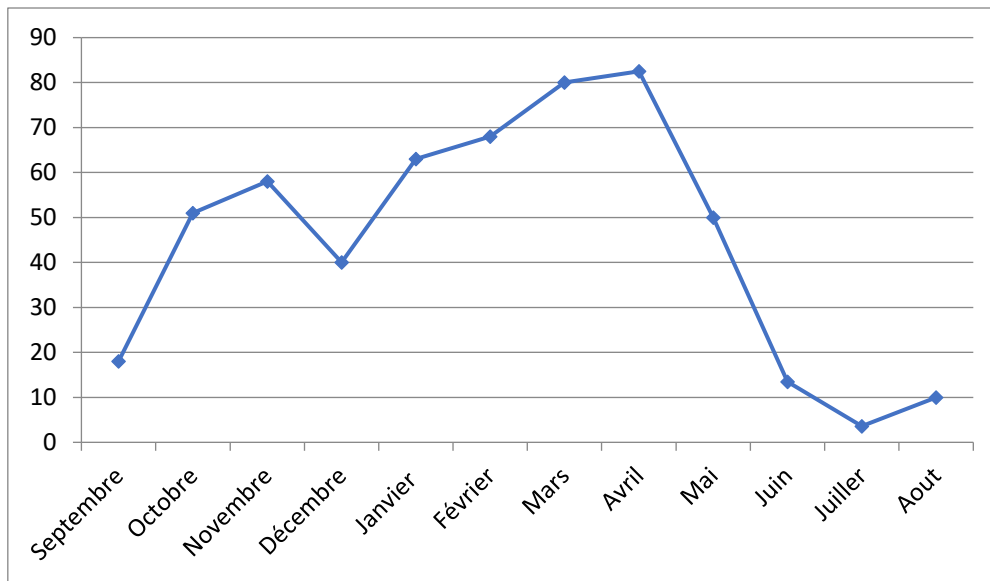


Figure 9 : Précipitations mensuelles d'Aghbalou (mm). (Saidi, 2003)

Les précipitations mensuelles montrent une augmentation en novembre et un pic plus remarquable en avril.

On peut distinguer alors :

- Une période humide qui s'étend depuis le mois d'octobre jusqu'au mois d'avril, avec des hauteurs supérieures à 44,8 mm
- Une période sèche depuis le mois mai jusqu'au mois de septembre.
- Le mois le plus arrosé est avril avec une hauteur de 82,5 mm
- Le mois le moins arrosé est juillet avec une hauteur inférieure à 4 mm

Variation saisonnière des précipitations (1969-2011) :

Les précipitations saisonnières ont été calculées à partir des données mensuelles. Les précipitations d'automne sont la somme des mois de septembre, octobre et novembre. Les précipitations en hiver sont la somme des précipitations des mois de décembre, janvier et février. Les précipitations du printemps sont la somme des précipitations des mois de mars, avril et mai. Les précipitations d'été sont la somme des précipitations des mois de juin, juillet et août (Fig.10).

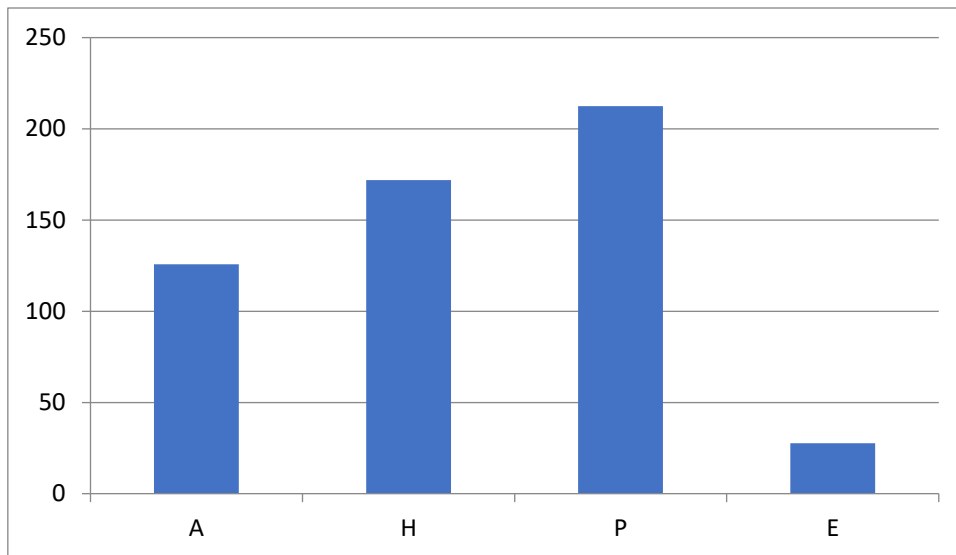


Figure 10 : Précipitations moyennes saisonnières d’Aghbalou (en mm). (Saidi, 2003)

L’analyse de la figure fait ressortir que : les précipitations sont plus abondantes au printemps, la saison la plus sèche est l’été avec des précipitations de 27,7 mm

Variation annuelle des précipitations : (1969-2011)

Les précipitations moyennes annuelles ont été obtenues par sommation des moyennes mensuelles de chaque année pour la station d’Aghbalou (Fig.11).

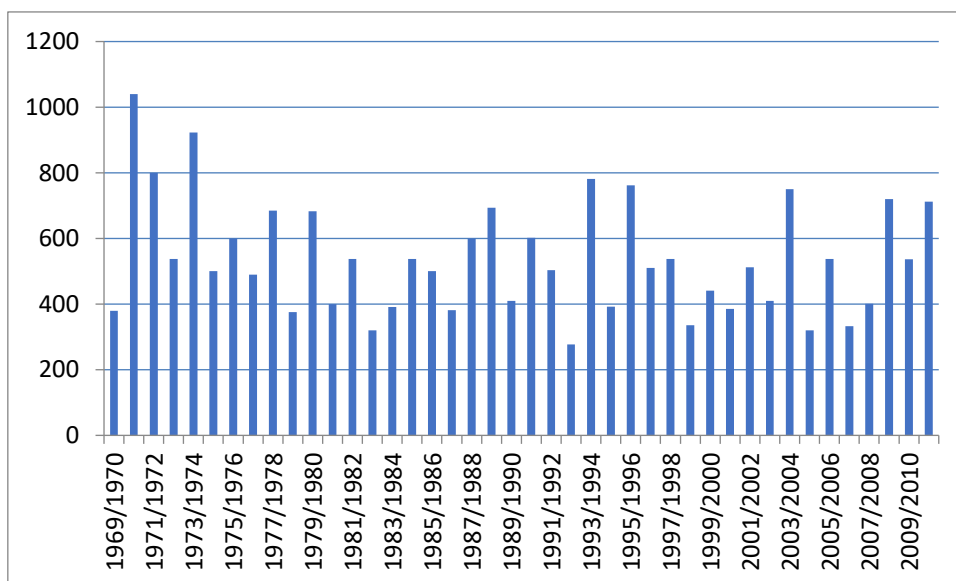


Figure 11 : Précipitations moyennes annuelles d’Aghbalou (en mm). (Saidi, 2003)

Nous pouvons voir que, dans la période de 1969 à 2011, deux années ont été exceptionnellement pluvieuses, ce sont les années 1979/1971 et 1973/1974. L’année 1992/1993 a été particulièrement sèche avec des précipitations inférieures à 280 mm.

8. Occupation des sols et répartition de la végétation

8.1. Occupation des sols

Le couvert végétal est l'un des facteurs importants par son rôle protecteur contre l'érosion. Il est capable de transformer à la fois l'action des agents et les mécanismes qu'il crée en s'interposant entre ces agents et le substratum géologique et pédologique (UNESCO, 1964). Ainsi qu'il joue un rôle primordial dans le déroulement du cycle de l'eau, souvent complexe et contradictoire (fig.12).

Pour le bassin versant d'Ourika le couvert végétal se répartie comme suit :

- Matorral et zones asylvatiques : 58,2%.
- Forêts : 33.8 %.
- Reboisements/DRS : 1,3%.
- Agriculture : 6.7 %.

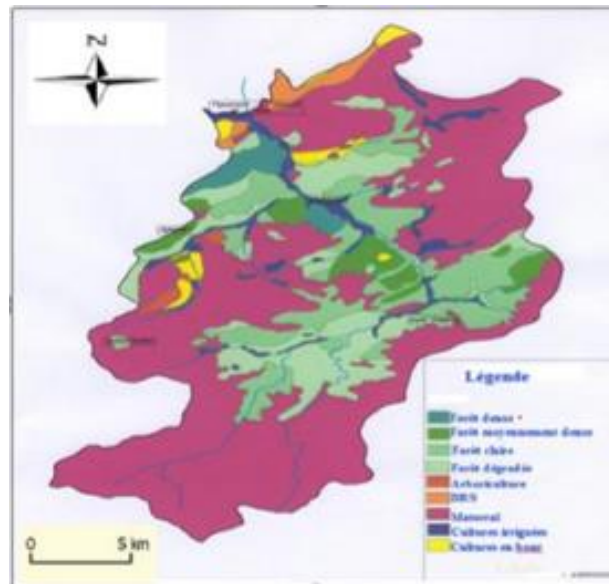


Figure 12 : Carte d'occupation du sol (DREF, 2010).

8.2. Répartition de la végétation

La notion de domaines climatiques citée précédemment trouve son véritable intérêt dans la répartition de la végétation, chaque domaine se caractérisant par une végétation spéciale.

- **Végétation des domaines océaniques :**

Trois types de formations végétales occupent l'essentiel de ces domaines :

1. L'oléastraie d'*Olea europaea* var. *oleaster*, qui ne subsiste actuellement que dans la région où Emberger (1939) a placé un climax de *Tetraclinis articulata*. Les conditions climatiques locales et le cortège floristique permettent de rapprocher cette oléastraie de celles des autres régions du

Maroc (Emberger, 1939) mais certainement dans des conditions thermiques plus basses (autour de 4°C). Elle sera placée dans le thermo méditerranéen supérieur (au sens de Quezel) variante semi-aride moyen à supérieur (ausens de Peyre).

Le cortège floristique de cette oléastraie, est caractérisé par : *Juniperus oxycedrus*, *Withania frutescens*, *Ceratonia siliqua*, *Anagyris foetida*, *Chamaerops humilis*, *Asparagus albus*, *Phagnalon saxatile*, *Teucrium fruticans*, *Osyris alba*, *Ephedra major*, *Ephedra fragilis*...

2. La chênaie à *Quercus ilex* (ou *Q. rotundifolia*) occupe la majeure partie du domaine océanique où elle montre plusieurs faciès.

a) Le faciès à *Arbutus unedo*, *Phillyrea angustifolia*, *Viburnum tinus*, *Cistus villosus*, *C. salviifolius*... se limite à des altitudes basses (1000 à 1400 m) dans le mésoméditerranéen inférieur variante semi-aride supérieur à subhumide inférieur.

b) Le faciès à *Cistus laurifolius*, *Pteris aquilinum*, *Cytisus triflorus*... s'individualise entre 1400 et 1750 m dans le mésoméditerranéen et le méditerranéen supérieur variante subhumide moyen.

c) Le faciès à *Juniperus thurifera*, *Bupleurum spinosum*, *Alyssum spinosum*, *Genista florida*, *Festuca maroccana*... caractérise les domaines océaniques d'altitude. Il constitue la limite forestière supérieure (2500 m environ) dans le méditerranéen supérieur voire même le montagnard méditerranéen variante subhumide moyen à supérieur.

3. Les xérophytaies de la haute montagne sont asylvatiques ; elles caractérisent les domaines océaniques les plus froids de l'étage oroméditerranéen variante subhumide moyen à supérieur.

Les xérophytes épineux en coussinets les plus répandus dans la région de Marrakech sont : *Alyssum spinosum*, *Bupleurum spinosum*, *Cytisus purgans* var. *balansae*, *Astragalus ibrahimianus*, *Arenaria pungens* et *Erinacea anthyllis*, ce dernier étant beaucoup plus localisé. Localement, ces coussinets manquent au profit des pelouses formées de *Poa bulbosa*, *Festuca rubra*, *Festuca mairei*, *Scorzonera pseudopygmaea*, *Hieracium pseudopillosella*, *Trifolium humile*, *Catananchoe coespitosa*...

Dans l'horizon supérieur de l'oroméditerranéen, la végétation ligneuse en coussinets est remplacée au-dessus de 3500 m environ par des hémicryptophytes avec de nombreuses espèces endémiques, comme par exemple *Vicia glauca* var. *reraensis*, *Linaria lurida*, *Cirsium dyris*, *Cirsium chrysacanthum*.

- **Végétation des domaines semi-internes :**

Dans les sous bassins relativement abrités, juste derrière les domaines océaniques, s'individualisent les domaines semi-internes qui renferment trois principales formations végétales :

1 — La tétraclinaie à *Tetraclinis articulata*, dominante dans le bassin de l'Amassine, occupe à peu près la même position géographique au niveau des bassins voisins de l'Ourika (Rdat, Zat, Rheraya...). Contrairement à la carte phytogéographique du Maroc (Emberger, 1939), la tétraclinaie n'est jamais continue dans cette région. Elle est éliminée des zones directement exposées aux masses d'air humide.

La tétraclinaie est très mixte, formée de *Juniperus phoenicea*, *Pistacia lentiscus*, *Juniperus oxycedrus*, *Cistus monspeliensis*, *Cistus villosus*, *Globularia alypum*, *Genista tricuspida*... Dans les revers ombragés, existent *Quercus rotundifolia*, *Arbutus unedo*, *Phillyrea angustifolia*, *Cistus salviifolius*... Elle caractérise l'étage thermoméditerranéen supérieur variante semi-aride supérieur.

2 — La junipéraie à *Juniperus phoenicea* se substitue à la tétraclinaie dans les zones plates où s'accumulent les matériaux très fins. Elle peut également lui succéder latéralement, vers l'amont du bassin et altitudinalement quand les conditions thermiques baissent.

Dans son aire de répartition, la junipéraie présente plusieurs faciès :

a) Faciès, très mixte rappelant la tétraclinaie, composé d'espèces thermophiles : *Ceratonia siliqua*, *Tetraclinis articulata*, *Olea europaea*, *Cistus salviifolius*, *Lavandula pedunculata* var. *atlantica*...

b) Faciès à *Chamaerops humilis* var. *argentea*, *Thymus satureioides*, *Genista scorpius*, *Artemisia mesatlantica*, *Fraxinus dimorpha*... situé plus à l'amont. Il est placé dans le mésoméditerranéen variante semi-aride supérieur.

c) Faciès à *Juniperus thurifera*, *Bupleurum spinosum*, *Thymus pallidus*, *Ormenis scariosa*, *Stipa nitens*, *Salvia taraxacifolia*... caractérisant les junipérais continentales des vallées intérieures classées dans l'étage méditerranéen supérieur.

3 — La thuriféraie à *Juniperus thurifera* occupe une place privilégiée dans le bassin de l'Ourika. Elle s'individualise dans le domaine semi-interne alticole, dans l'étage montagnard méditerranéen variante semi-aride supérieur à subhumide.

Floristiquement, on distingue trois faciès de thuriférais :

a) Faciès à *Bupleurum spinosum*, *Juniperus oxycedrus*, *Ptilostemon dyricola*, *Helianthemum croceum*, *Pterocephalus depressus*, *Festuca maroccfanica*.

b) Le faciès à *Adenocarpus anagyriifolius*, *Juniperus phoenicea*, *Stipa cnitens*, *Ormenis scariosa*... regroupe les thuriférais intérieures, succédant aux junipérais rouge du faciès.

c) Faciès à *Alyssum spinosum*, *Cytisus purgans* var. *balansae*, *Bupleurum spinosum*, *Festuca maroccana*, *Genista florida*... établit le passage aux xérophytaies des domaines océaniques d'altitude.

- **Végétation des domaines internes :**

Dans les vallées les plus internes du Haut Atlas siliceux existent deux espèces arbustives de Papilionacées (Fabacées) endémiques de cette région :

Rétama dasycarpa et *Adenocarpus anagyriifolius*. La valeur climacique de la rétamaie et de l'adénocarpaie n'est pas reconnue par certains auteurs qui les ont étudiées. Elles sont considérées comme des formations de dégradation de la chênaie ou de la junipéraie ou même de la thuriféraie (Emberger, 1939 ; Quezel, 1957 ; Achhal, 1979).

Les études détaillées de ces formations, entreprises dans le Haut Atlas de Marrakech (Peyre, 1983, Alifriqui, 1986, Haloui, 1986 ; Ouhammou, 1986), montrent qu'elles peuvent bien être climaciques en tenant compte de leur situation géographique au niveau des vallées internes, de leurs conditions écologiques et de leur composition floristique. En effet, ces domaines sont caractérisés par des méso climats secs liés à la faiblesse des précipitations en dépit de l'altitude, à la fréquence des vents violents et à la nébulosité toujours très rare.

Floristiquement, la rétamaie est essentiellement constituée de *Juniperus phoenicea*, *Juniperus oxycedrus*, *Linaria ventricosa*, *Stipa nitens*, *Chamaerops humilis* var. *argentea*, *Ephedra major* var. *nebrodensis*, *Thymus pallidus*, *Ormenis scariosa*... L'adénocarpaie est caractérisée par *Quercus rotundifolia*, *Juniperus oxycedrus*, *Bupleurum spinosum*, *Juniperus phoenicea*... Ces deux formations s'individualisent dans les mêmes régions, elles occupent néanmoins des biotopes différents. La rétamaie, peu alticole, se cantonne de préférence dans les endroits encaissés, les plus internes, L'adénocarpaie par contre apparaît plus alticole que la rétamaie. Au point de vue étage de végétation, ces deux formations occupent essentiellement l'étage méditerranéen supérieur variante semi-aride supérieur.

9. Conséquences sur l'érosion

Au sens large, on désigne par érosion, l'ensemble des processus d'ablation à la surface du globe terrestre. En effet, selon le spécialiste ou la discipline concernée, le mot a bien souvent un sens plus étroit, ne désignant par exemple que l'enlèvement du sol (horizons pédologiques), ou plus subjectif désignant, en outre, les phénomènes conduisant à l'appauvrissement du sol et tenant compte de la vitesse de régénération.

Ce phénomène est influencé par plusieurs facteurs en termes d'intensité des processus de détachement, de transport et de dépôt.

Les facteurs agissent donc sur les processus qui, eux, conduisent à des formes d'érosion spécifiques sont : La végétation, le climat (précipitations et vitesse du vent), la topographie, les pratiques culturales et le substrat édaphique lui-même.

Parmi ces facteurs les plus remarquables au niveau du bassin versant d'Ourika, on souligne le rôle majeur joué par la morphologie et la topographie du terrain qui est très accidenté vu que cette région est réputée par ses reliefs élevés et abondants. 75 % des surfaces du bassin sont situées entre 3200 et 1600 m et l'altitude moyenne s'élève à 2500 m, tandis que la pente moyenne des versants montagneux est de l'ordre de 35%.

Ladite participe au mécanisme de l'érosion comme suit :

- Pente et longueur de pente

Plus la pente d'un champ est raide et plus cette pente est longue, plus les risques d'érosion sont grands. L'érosion hydrique augmente aussi avec la longueur de la pente à cause de l'augmentation du ruissellement. La fusion de petits champs pour en faire de plus grands a souvent pour conséquence d'allonger les pentes. Le débit de l'eau étant alors plus rapide, le transport des sédiments augmente, ce qui donne lieu à des risques accrus d'érosion et d'affouillement. (Ritter ,2012).

- L'inclinaison de la pente

Les formes d'érosion changent selon l'inclinaison de la pente. Ainsi, pour des pentes inférieures à 4%, ce sont les particules fines qui migrent. Pour des pentes supérieures à 7 %, des rigoles apparaissent. Des particules grossières sont transportées à l'intérieur de ces griffes. Enfin, au-delà d'une pente 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, 1994).

- La longueur de la pente

La longueur de la pente est définie comme étant la distance du point d'origine de l'écoulement superficiel à un autre point considéré comme limitant pour la majeure portion du lieu en question et qui est :

- soit le point où la pente diminue à tel point que le dépôt commence ;
- soit le point où le ruissellement entre dans un canal bien défini, le canal étant une portion du système de drainage dont la taille ne peut être corrigée par les pratiques culturales (Wischmeier et Smith, 1957).

10. Conséquence sur l'écoulement hydrique

L'environnement morpho-climatique et le contexte litho-structural du bassin-versant de l'Ourika, notamment les pentes fortes et les terrains imperméables de nature lithologique variée, ont une influence évidente sur la puissance des crues ; dont ils confèrent aux écoulements un caractère torrentiel et boueux, et offrent un environnement propice aux pulsations brutales du cours d'eau.

Les crues de l'Ourika sont généralement violentes et de courte durée (El Gharbaoui et al. 1997 ; Saidi, 2000). Les hydrogrammes observés à l'exutoire sont souvent pointus, avec des temps de montée assez brefs (généralement de quelques dizaines de minutes) et des temps de base de quelques heures. Plusieurs autres facteurs naturels agissent sur les temps de base et de montée : le bassin est compact ($K_c = 1,3$) et le réseau hydrographique est bien hiérarchisé. Cette configuration morphologique contribue à amplifier les débits de pointe observés à l'exutoire (SAIDI et al., 2003).

Ces crues violentes entraînent toujours dans leur déplacement des blocs, des galets, du sable, du limon et des branchages. Ces matériaux forment parfois des barrages au droit des verrous. L'eau s'accumule derrière jusqu'au moment où le barrage cède. Un flot de boue, armé de charge solide fine et grossière, déferle alors en emportant champs, arbres, routes, passerelles et maisons (ARESMOUK, 2001).



Figure 13 : Exemple de dégâts de la crue du 17 août 1995 et du niveau atteint par ses dépôts
(Source : agence de bassin hydraulique de Tensift).

CHAPITRE 2 : MATERIELS ET METHODES

I. Sites d'étude : Choix et caractéristiques

Les tendances actuelles du climat de la région de Marrakech Tensift al Haouz constituent un élément important pour l'évaluation de l'impact du changement climatiques sur la région. Cette évolution et certainement accompagnée d'impacts négatifs sur les ressources naturelles de la région (forêts, ressources en eau, sol, sites d'intérêt biologique et écologique) ainsi que sur ses activités socio-économiques (agriculture, tourisme).

Vue l'étendue du bassin versant de Tansift nous nous sommes limité au bassin versant d'Ourika qui est également le plus touché par les aléas climatiques.

La vallée de l'Ourika par son environnement morphologique notamment les pentes fortes et les terrains imperméables de nature lithologique variée aussi bien que son contexte climatique, est soumise en permanence aux risques d'érosion forte.

Les classes d'érosion identifiées ont permis de dégager que 98 % de la superficie totale du bassin versant est soumise à une érosion moyenne, forte à très forte, et que l'érosion faible affecte seulement 2 % de la superficie totale de bassin versant.

En plus de la problématique de l'érosion, les caractéristiques du bassin versant de l'Ourika ont une influence évidente sur la puissance des crues ; ils confèrent aux écoulements hydriques un caractère torrentiel et boueux, et offrent un environnement propice aux pulsations brutales du cours d'eau.

II. Cartographie de la végétation

Hypothèses scientifiques :

IL est possible à partir d'une image TM de Landsat d'effectuer la différenciation des cultures et du recouvrement végétal.

Il est possible d'établir une règle de quantification empirique comportant plusieurs classes reliées aux couverts végétales à partir d'une image satellitaire et des photographies de terrain.

Hypothèses techniques :

L'utilisation des techniques d'indices de végétation permet une meilleure estimation de la couverture végétale au sol ;

La déconvolution spectrale à partir d'une image LANDSAT TM facilite la reconnaissance des pratiques agricoles dans un milieu fortement morcelé ;

L'utilisation de la variance aide à discriminer certaines classes ayant des qualités spectrales similaires mais présentant des différences au niveau de la variation spatiale de la réflectance.

- **Démarche générale**

La détermination de l'information relative au couvert végétal sera faite par la méthode des indices de végétation. Le choix des indices à utiliser devra être préalablement défini par la revue bibliographique. Par la suite, une classification sera effectuée à partir des observations faites sur le terrain afin d'extraire les classes générales de l'image (sol, végétation, eau, forêt, etc.) sans aller dans les particularités de la végétation et des cultures. Un masque sera appliqué sur les zones de l'image qui ne se rattachent pas à l'information liée au couvert végétal, soit l'eau et le sol nu, afin d'effectuer les traitements subséquents uniquement dans les zones concernées.

- **Utilité des indices de végétation**

Parmi tous les indices de végétation proposés depuis les origines de la télédétection spatiale, l'indice de végétation normalisé (ROUSE et al, 1974) est devenu l'outil standard de description du comportement spectral de la couverture végétale. Cet indice, le plus souvent appelé NDVI selon son abréviation anglaise, est calculé à partir de deux bandes spectrales, le rouge R et l'infrarouge IR selon la formule suivante : $NDVI = (IR - R) / (IR + R)$. Son utilité pour décrire le couvert végétal se base sur le fait que d'une part ce dernier absorbe préférentiellement (mais pas uniquement) l'énergie lumineuse dans les longueurs d'onde du rouge pour la photosynthèse, et réfléchit par contre fortement cette énergie dans le proche infrarouge, en fonction de la structure intercellulaire du matériel végétal photosynthétisant (GAUSMAN, 1985). En outre cet indice minimise la variation d'illumination en fonction du relief (HOLBEN and JUSTICE, 1981), mais reste sensible à la turbidité de l'atmosphère (SLATER and JACKSON, 1982 ;

JACKSON et al, 1983 ; CRIPPEN, 1988). Diverses alternatives ont été proposées (KAUTH and THOMAS, 1976 ; RICHARDSON and WIEGAND, 1977 ; PERRY and LAUTENSCHLAGER, 1984 ; HUETE, 1988 ; BARETef a/., 1989) pour remplacer le NDVI, mais ce dernier reste sans doute le plus largement utilisé.

- **Elaboration de la carte**

Après avoir calculer l'indice de différenciation normalisé (NDVI) à l'aide du Landsat 8, Operateur OLI (Operational Land Imager), l'image résultant est la suivante (fig. 14)

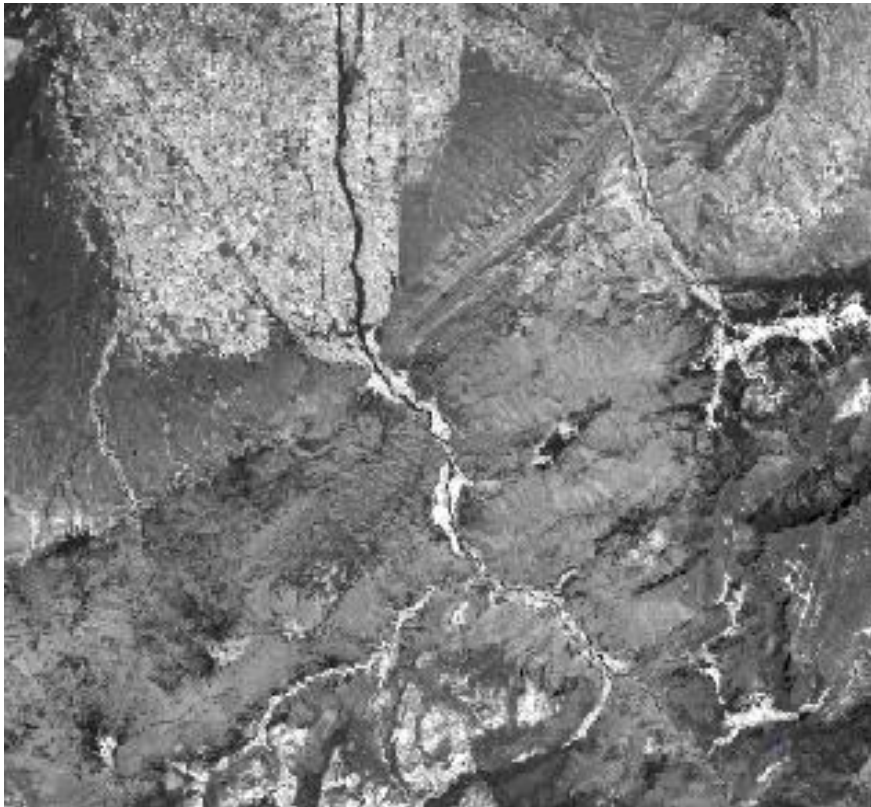


Figure 14 : Image montrant le résultat du calcul de l'indice de végétation normalisé de la végétation de la région Ourika

Cette image va être encore reclassifiée à l'aide du logiciel Arc GIS 10.2.2 en se basant sur l'indice de végétation normalisé de chaque zone (NDVI) (fig. 15)

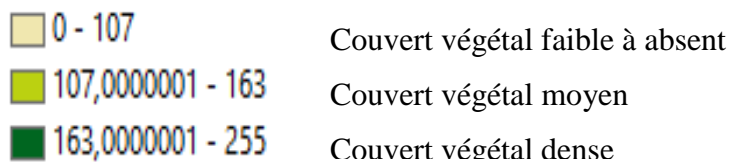
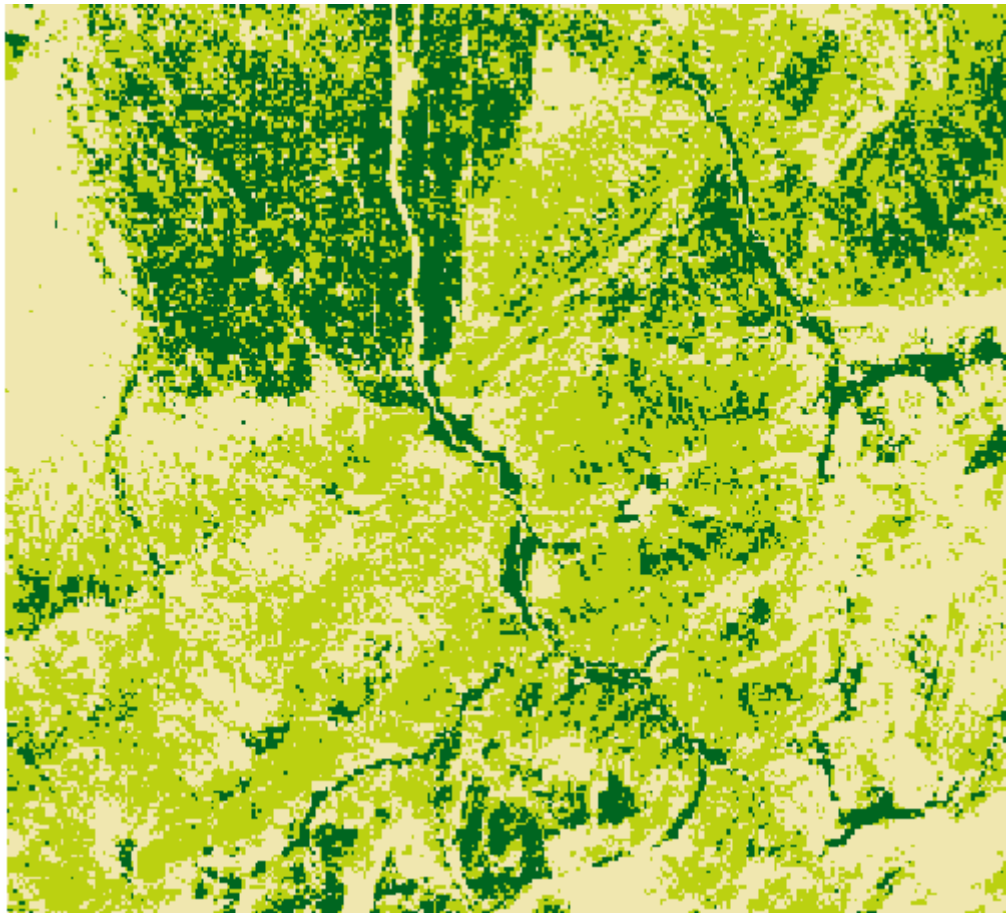


Figure 15 : Carte du couvert végétal de l'Ourika après classification du NDVI par Arc GIS.

III. Echantillonnage

L'échantillonnage sur le terrain constitue une étape fondamentale, non moins importante que l'analyse au laboratoire, puisqu'il conditionne a priori les résultats et a posteriori leurs interprétations.

Pour choisir les sites d'étude nous avons adopté la méthode d'échantillonnage aléatoire et stratifié selon deux approches méthodologiques qui sont basés sur les résultats de la cartographie de la végétation de la zone que nous avons réalisés, en plus des observations réalisées sur le terrain lors de la sortie de prospection du terrain qui a précédé la sortie d'étude :

-Approche par types d'occupation des sols pour la caractérisation de la réserve utile en eau du sol ainsi que la couche de restriction des racines : Terrasse agricole (Irrigué et Bour), Reboisement, Matorral, forêt dense, forêt moyenne dense.

-Approche par tranches d'altitude : Haut versant, Mi versant et Bas versant, ainsi que par essence végétale : Chêne vert, Genévrier rouge, Genévrier oxycèdre et Thuya de Berbérie, pour la caractérisation physico-chimique des sols.

- L'établissement de ces approches a été conditionnée par des facteurs importants à savoir l'accessibilité au sites d'échantillonnage qui présente des limites liés d'une part à la difficulté du terrain surtout du point de vue topographie et d'autre part à la nécessité de la demande d'une permission pour le travail dans les domaines privés; surtout dans le contexte de notre zone d'étude où les gens possèdent des terrasses fragmentées de petite surface ce qui nous a obligé à limiter notre nombre de point d'échantillonnage pour ne pas détruire leur petit terrain. A ces limites s'ajoute aussi la contrainte du temps.

Les figures ci-dessous présentent les caractéristiques des sites choisis et étudiés :



Terrasse agricole irrigué (TAI)

Coordonnées :

N31°18'25,7''

W7°43'20,8''

Altitude : 1143m

Pente : 1%

Recouvrement herbacé : 90%

Recouvrement arbustive : 3%

Recouvrement arborescent: 0%



Chenaie de Toug Elkhir (S1)

Coordonnées :

N31°20'59,6''

W7°45'53,6'

Altitude :

HV: 1321

MV : 1314m

BV : 1284

Pente : 65%

Recouvrement herbacé : 20%

Recouvrement arbustive : 80%

Recouvrement arborescent: 35%



Reboisement par le Pin d'Alep. (Reb.)

Coordonnées :

N31°18'41,7''

W7°42'49,3''

Altitude : 1263m

Pente : 21%

Recouvrement herbacé : 5%

Recouvrement arbustive : 10%

Recouvrement arborescent: 36%



Chêne Vert d'Ouelmes

Coordonnées :

N31°16'58,5''

W7°42'15,7''

Altitude :

BV : 1320 m

MV : 1218m

BV : 1200 m

Pente : 50%

Recouvrement herbacé : 25%

Recouvrement arbustive : 75%

Recouvrement arborescent: 30%



Genévrier rouge d'Ouelmes (S3).

Coordonnées :

N31°17'18,7''

W7°42'22,7''

Altitude :

HV : 1335m

MV : 1330m

BV : 1300m

Pente : 13%

Recouvrement herbacé : 4%

Recouvrement arbustive : 36%

Recouvrement arborescent: 2%



Thuya de Berbérie de l'Amassine (S4)

Coordonnées :

N31°20'59,6''

W7°45'53,6'

Altitude :

HV : 963m

MV : 954m

BV : 944m

Pente : 36%

Recouvrement herbacé : 40%

Recouvrement arbustive : 45%

Recouvrement arborescent: 60%



Arboriculture (Arb).

Coordonnées :

N31°16'57,1''

W7°42'26,6''

Altitude : 1244m

Pente : 3%

Recouvrement herbacé : 1%

Recouvrement arbustive : 0%

Recouvrement arborescent: 90%



Hors couvert végétal (S5).

Coordonnées :

N31°16'57,1''

W7°42'26,6''

Altitude : 1244m

Pente : 3%

Recouvrement herbacé : 1%

Recouvrement arbustive : 0%

Recouvrement arborescent: 0%

Pour que nos prélèvements du sol soient représentatifs et de bonne qualité nous avons respecté les règles suivantes :

- Nous avons choisi une zone homogène de sol ;
- Nous avons placé la face d'observation face au soleil pour bénéficier d'un bon éclairage, perpendiculaire au sens du travail du sol (pour un profil cultural) ou perpendiculaire au semis (pour observer l'enracinement), parallèle à la pente sur les versants ;
- Pour éviter les zones perturbées par l'action anthropozoogène nous avons s'écarté de 20 à 50 mètres au moins des bords de la parcelle, d'anciens chemins, anciennes haies ou talus, anciennes rigoles ou dérayures comblées, de bords de ruisseaux (curage), des lisiers ;
- Nous avons mis la terre d'un seul côté ;
- Et avant de passer au creusement du profil une description du terrain a été réalisée en notant la date, les coordonnées, l'altitude, la pente, le type de végétation, etc. ;

Pour le creusement du profil et le prélèvement des échantillons nous avons procédé en étapes suivantes :

- Creuser une fosse (**fig. 16**) ;
- Déchaumer avant de procéder au prélèvement de surface ;
- Nous avons placé un cylindre, sur le niveau du prélèvement, au-dessus duquel nous avons mis une planche ;
- Nous avons enfoncé le cylindre en tapant sur la planche, jusqu'à ce qu'il soit au ras du sol. Surtout ou ne doit pas tasser ;
- Ensuite nous avons glissé la spatule sous la base du cylindre pour le détacher (**fig. 17**) ;
- Le surplus de terre est arasé, en reposant la lame du couteau sur les bords du cylindre pour ne pas tasser, lisser ou tartiner l'échantillon ;
- Nous avons posé une plaquette de bois sur la surface du cylindre, puis nous l'avons retourné, pour faire la même chose de l'autre côté ;
- Enfin, nous avons placé chaque prélèvement dans un sac identifié et hermétique pour conserver son humidité ;
- Les prélèvements ont été faits du haut vers le bas, après avoir dégager le niveau qui nous intéresse, en décaissant le reste du sol du premier niveau pour passer au deuxième et ainsi de suite.



Figure 16 : Photo d'un profil du sol creusé.



Figure 17 : Photo lors du prélèvement d'un échantillon par le cylindre.

En plus des consignes pris en compte et des étapes suivi, pour un bon échantillonnage il fallait s'assurer que le matériel utilisé ne provoquera aucune pollution ou perte d'éléments avec les éléments à déterminer. Il existe plusieurs matériels de prélèvements, et dans cette étude nous avons utilisé :

- Une tarière à main pour prélever une colonne du sol, avec l'échantillon élémentaire le plus petit possible, (fig. 18)
- Un cylindre métallique de hauteur et de diamètre connu (10cm / 10cm).



Figure 18 : Photo d'un prélèvement par la tarière.

IV. Matériels et méthodes

1. Analyses physique du sol

1.1. Humidité

La teneur en eau du sol est un des paramètres importants à déterminer sur sol frais. Plusieurs méthodes ont été proposées, la plus simple étant celle de la perte de masse après passage à l'étuve à 105°C. On effectue une double pesée avant et après un passage d'une durée suffisante à l'étuve (généralement 48h).

Enfin on détermine le pourcentage de l'humidité de l'échantillon par la formule suivante :

$$\%H = (Pf - Ps) / Ps * 100$$

Avec :

Pf : Poids frai de l'échantillon.

Ps : poids sec de l'échantillon.

1.2. Texture

La granulométrie est la détermination du pourcentage des fractions des particules minérales (sables, limons et argile). Elle a pour objet la mesure de la taille des particules élémentaires qui constituent les ensembles de fractions minérales du sol qui définit sa texture.

La méthode utilisée pour l'analyse granulométrique est la méthode de pipette de Robinson (**fig. 19**), qui est basée sur la différence de vitesse de sédimentation entre les petites et les grosses particules du sol, ; dont leur sédimentation est le résultat de deux forces opposées : pesanteur et frottement résultant de leur mouvement dans un milieu liquide.

Elle consiste, en premier temps, à détruire la matière organique par une attaque à l'eau oxygénée (la matière organique constitue un ciment entre les particules minérales), à disperser les particules par un dispersant énergétique tel que l'hexa-métaphosphate de sodium et par agitation mécanique, et à la fin effectuer des prélèvement à l'aide de la pipette de Robinson (Application de la loi de stockes, loi de sédimentation des particules dans un liquide), dans des flacons à sédimentation, à des profondeurs et à des moments déterminés. Les résidus minéraux de chaque prélèvement sont pesés après évaporation du liquide (Annexe 1).

La masse des résidus en gramme est ensuite convertis en % par rapport à la prise d'essai initiale afin de classer les sols selon leur texture.

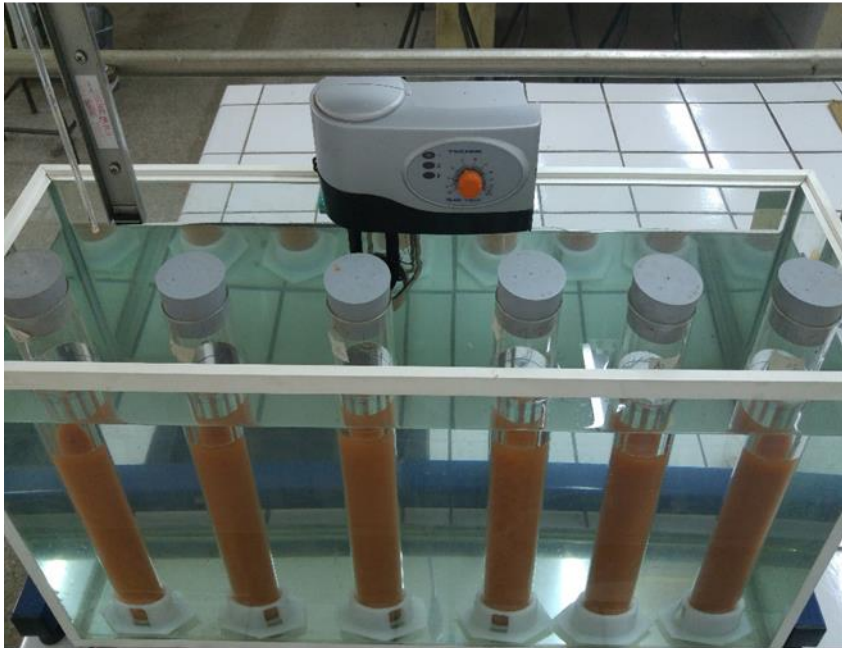


Figure 19 : Photos montrant la pipette de Robinson.

Au niveau international, la classification la plus utilisée est celle de l'USDA (United States Department of Agriculture, IUSS Working Group WRB, 2006). Ce triangle permet de classer les sols selon 12 classes de texture. (**fig. 20**)

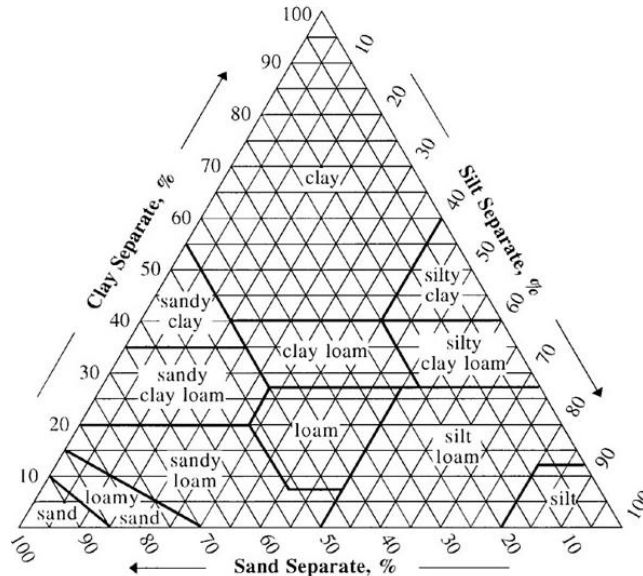


Figure 20 : Triangle de texture proposé par USDA (IUSS Working Group WRB, 2006).

La classification internationale répartit les particules de terre fine en cinq classes :

- Le sable grossier : 2 mm à 0.2 mm.
- Le sable fin : 0.2 mm à 0.005 mm.
- Le limon grossier : 0.005 mm à 0.002 mm.
- Le limon fin : 0.002 mm à 0.002 mm.
- L'argile : < à 0.002 mm.

1.3. Détermination des couches de restriction des racines

Faire un profil de sol est le moyen indéniable d'identifier le début et la fin de la couche compactée et de poser un diagnostic de compaction.

En utilisant un pénétromètre à main ou un couteau, on peut mesurer la résistance à la pénétration horizontale. Cette technique devient très vite laborieuse puisqu'il faut faire plusieurs profils de sol pour établir un diagnostic.

Afin de mesurer la résistance des sols, nous avons choisi soigneusement des sites représentatifs de l'ensemble du terrain étudié, dont nous avons creusé un profil du sol jusqu'à la limite des racines et pris des mesures de la résistance à la pénétration de chaque profondeur à l'aide du pénétromètre. (fig. 21)

Cet appareil très simple permet d'obtenir très rapidement un ordre de grandeur de la valeur de la résistance à la compression d'un sol cohérent non remanié (mesure in-situ).

L'index mobile d'un ressort travaillant en compression simple, la résistance du sol à la pénétration.

L'appareil permet d'évaluer des résistances à la compression simple allant jusqu'à 4,5 bars.



Figure 21 : Photo montrant le pénétromètre de poche (4,5 bars).

1.4. Réservoir utile

✚ La capacité au champ

La détermination de l'humidité à la capacité aux champs, a été réalisée en suivant le protocole suivant :

Commencer tout d'abord par la délimitation de la parcelle d'étude qui est de surface de 50m*50m (250m²) où nous avons choisi un endroit représentatif pour placer les quadras, l'emplacement de quadra doit tenir compte de l'hétérogénéité du milieu, puis délimiter un quadra de 117 cm sur 117 cm (**fig. 22**) et installer une plaque de métal de 117 cm /30 cm pour empêcher le ruissellement de l'eau latéralement hors zone délimitée. (Jabro et al, 2008).

Ensuite saturer le sol en eau et s'assurer à l'aide de l'humidimètre TDR que l'humidité est de 100% et enfin, couvrir le quadra par du plastique pour éviter l'évaporation.

En plus des mesures pris par le TDR (**fig. 23**) nous avons prélever des échantillons pour mesurer leur humidité au laboratoire, les échantillons ont été prélevés à l'aide de la tarière qui nous permet de prendre une colonne du sol, et lors des cas des terrains caillouteux nous avons recourir à creuser des profils.

Après avoir s'assurer que les sols testés sont saturés en humidité, des mesures de l'humidité de chaque profondeur ont été prises toutes les 5 à 6 heures jusqu'à sa stabilisation (au bout de 48h). Ce travail a été fait sur trois quadras par type d'occupation du sol.

NB : Vu que le terrain est caillouteux l'humidimètre TDR présente ses limites ; d'où la méthode de creuser une fosse et prélever des échantillons que nous allons mesurer leur humidité au laboratoire était nécessaire et plus adaptable.



Figure 22 : Photos montrant les étapes de la préparation d'un quadra.

La mesure de l'humidité a été réalisée grâce à un humidimètre à neutrons. Le principe de fonctionnement est le suivant :

Les neutrons à haute énergie émis par une source radioactive d'Américium-Beryllum de 40 ID s'ils sont ralentis ("thermalisés") par les noyaux des atomes rencontrés dans le sol et plus particulièrement par les noyaux d'hydrogène. Comme l'hydrogène est essentiellement présent dans le sol sous forme de molécules d'eau, on peut donc déterminer l'humidité du sol en mesurant le flux de neutrons ralentis au voisinage de la source radioactive.



Figure 23 : Photo d'humidimètre TDR (Time Domain Reflectometer).

✚ Point de flétrissement

Pour le prélèvement des échantillons servant à la détermination du point de flétrissement nous avons choisie des sites proches du quadra sur lequel nous avons mesuré l'humidité pour que l'échantillonnage soit homogène.

Nous avons pris un échantillon de chaque profondeur du sol jusqu'à 30 cm puis au laboratoire nous avons mesurer le point de flétrissement par expérimentation à l'aide de la presse à membrane ou la marmite de Richard (**fig. 24**).

Le principe de ce matériel est l'application d'une pression connue dans la chambre, ce qui crée un différentiel de pression par rapport à la pression atmosphérique. L'air comprimé ne peut s'échapper que par l'exutoire prévu en dessous de la plaque ou la membrane. La poussée qui s'opère permet l'évacuation de l'eau jusqu'à atteindre le point d'équilibre entre la pression de la chambre et la pression atmosphérique.

Les teneurs en eau massique (w) sont déterminées après la mise à l'équilibre dans le presse aux valeurs de potentiel matriciel suivantes :

- 500hPa ($W_{2.7}$ à $pF = 2.7$) pour déterminer l'humidité à la capacité au champ et -15 800hPa ($W_{4.2}$ à $pF = 4.2$) pour son point de flétrissement.



Figure 24 : Photo de la presse à membrane ou la marmite de Richard.

Mesure de la densité

La méthode au cylindre est fondée sur la détermination du poids spécifique apparent d'un volume de sol prélevé. Le volume est estimé immédiatement sur le terrain alors que le poids est évalué au laboratoire après séchage et pesée. La connaissance de ces deux variables permet de calculer la densité apparente selon la relation :

$$D_a = P/V$$

Où :

P = poids sec de l'échantillon,

V = volume de l'échantillon prélevé et séché.

2. Analyses chimiques du sol

2.1. pH

Pour la mesure du pH eau, nous avons utilisé la méthode à l'eau distillée (1/2.5), c'est 20 g de sol pour 50 ml d'eau distillée. Dans la même solution nous avons ajouté 3,7 g de KCl afin de mesurer le pH kcl.

2.2. Détermination de la teneur en matière organique par calcination

Pour doser l'ensemble de la matière organique, on soumet l'échantillon de terre tamisé à 2 mm à une calcination au four à moufles.

La méthode consiste à une capsule en silice d'une contenance de 30 ml, et la peser. Soit « P1 » le poids de la capsule vide.

Peser avec précision dans cette capsule 10g de terre fine séchée à l'air. Soit « P2 » le poids de la capsule vide + 10g de terre.

Placer la capsule dans l'étuve à dessiccation dont la température doit être constamment maintenue à 105°C. le séjour dans l'étuve doit être au moins de 15 h (une nuit)

Retirer ensuite la capsule de l'étuve et laisser refroidir dans un dessiccateur.

Peser la capsule après refroidissement. Soit « P3 » le poids obtenu (capsule vide + terre séchée à l'étuve à dessiccation).

La capsule et son contenu peuvent être portés au four à moufles pendant 1 heure :

A 600°C si la terre contient du calcaire.

A 850°C si elle n'en a pas.

Remarque :

La durée de calcination est de :

1 heure pour les sols humifères non calcaire.

15 heures pour les sols humifères et calcaires. Ici on calcine plus longtemps pour compenser la température plus basse, ceci afin de ne pas décomposer les carbonates.

Ouvrir la porte du four et la placer dans un dessiccateur pour qu'elle puisse se refroidir assez rapidement sans se réhydrater.

Peser la capsule avec son contenu dès que sa température est proche de celle du laboratoire.

Soit « P4 » le poids obtenu (capsule vide + terre calciné)

Calcul de la perte au feu :

La différence $F = P3 - P4$ correspond à la perte au feu de la prise d'essai. Elle peut être exprimée en % par rapport à 100 g de terre séchée à 105°C.

$$F \% = [(P3 - P4) / (P3 - P1)] \times 100$$

La MO perdue par calcination est égale à :

Perte au feu - Eau combinée à l'argile

On considère que le pourcentage d'eau combinée (E%) à l'argile peut être obtenu à partir de la formule :

$$E\% = (10.5 \times A) / 100$$

A = % d'argile de la terre séchée à 105°C.

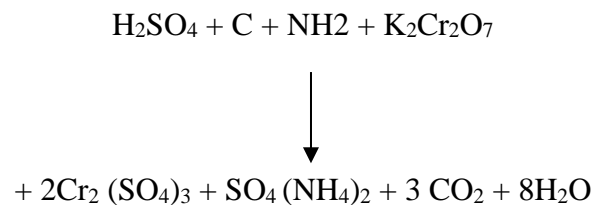
Ma teneur de la MO exprimée en % par rapport à la terre séchée à 105°C est égale à :

$$MO\% = F - E$$

2.3. Dosage de la matière organique, du carbone organique et de l'azote total

La méthode utilisée est la méthode d'Anne modifiée par l'ORSTOM (Anne et al, 2002) qui combine la minéralisation du carbone organique et de l'azote total par. Elle est basée sur le principe suivant :

Tout d'abord, on procède à l'attaque à chaud des échantillons de sol au moyen d'une solution sulfochromique.



Puis on dose, pour le carbone organique, par une solution réductrice (sel de Mohr) la fraction de solution de sulfochromique non réduite et on en déduit par rapport à un témoin la fraction réduite proportionnelle à la teneur en carbone de l'échantillon.



Calculs :

Avec

P = Poids de la prise d'essai en g.

V = Volume de sel de Mohr versé pour tirer 25 ml de solution B.

V' = Volume de sel de Mohr versé pour tirer 25 ml de solution A.

V - V' = Représente la fraction réduite par la matière organique.

T = Titre exact du sel de Mohr.

Formule approximative :

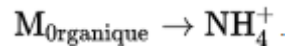
$$C\% = [0.75 * 10^{-3} * (V - V') * 250 * 1000] / P * 25 = [7.5 * (V - V')] / P$$

1 ml de sel de Mohr 0.250N correspond à 0.75 mg de carbone

Formule exacte :

$$C\% = [150 * (v - v') / P * T$$

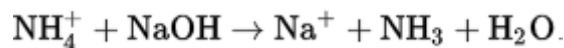
Pour l'azote total, la 1^{re} étape est la minéralisation, son but est de dégrader la matière organique azotée sous la forme de sel d'ammonium. Équation de minéralisation :



Le pH acide permet au sel d'ammonium d'apparaître sous sa forme acide de l'ammonium NH_4^+ . La dégradation de la matière organique azoté se fait à l'aide de l'acide sulfurique à haute température (421 °C).

La 2^e étape est la distillation de l'ammonium par l'ajout de soude à l'aide d'un distillateur automatique (fig. 23) : on cherche à transformer l'ammonium sous sa forme volatile, l'ammoniac.

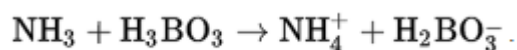
Équation de distillation :



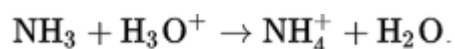
La soude est ajoutée en excès afin de changer le pH acide en un pH basique, ce qui a pour effet d'obtenir de l'ammoniac. L'ammoniac est entraîné par la vapeur d'eau par distillation.

Les vapeurs d'ammoniac sont condensées au contact d'un réfrigérant et recueillies dans une solution contenant deux indicateurs colorés (rouge de méthyle et bleu de bromothymol) et de l'acide borique.

L'acide borique va retenir l'ammoniac sous sa forme acide. Équation de rétention de l'acide :



La 3^e étape est le titrage de l'ammoniac par une solution titrée d'acide chlorhydrique ou d'acide sulfurique :



On titre la solution jusqu'à équivalence par le virage de l'indicateur coloré, le rouge de méthyle (couleur rose rouge). L'acide borique est un acide faible, il ne libère pas d'ions et n'interfère donc pas avec le pH.

La distillation permet d'ajouter la base (la soude) en excès au produit résultant de la digestion (solution de sulfate d'ammonium) afin de convertir le sel d'ammonium en ammoniac, qui sera titré par la suite pour nous permettre de calculer la teneur en azote dans l'échantillon testé.



Figure 25 : Matériels de minéralisation du carbone et de l'azote (à gauche), de distillation de l'azote (à droite).

Calculs

1 ml d'acide sulfurique 0.05 N correspond à 0.7 mg d'azote mais dans les conditions expérimentales précédemment décrites, 89.4% seulement de l'azote est minéralisé le coefficient est alors de :

$$[0.7 \text{ mg} * 100] / 89.4 = 0.783 \text{ mg}$$

V = volume d'acide sulfurique 0.05 N versé pour tirer le distillat correspondant à 100 ml de solution A.

V' = volume d'acide sulfurique 0.05 N versé pour tirer le distillat correspondant au blanc.

P = poids en g de la prise d'essai.

Alors, la proportion d'azote dans l'échantillon est de :

$$N\% = [0.783 * 10^{-3} * (V - V') * 250 * 1000] / P * 1000$$

$$N\% = [0.783 * (V - V')] / 4 * P$$

2.4. Dosage du calcaire total

Méthode du calcimètre de Bernard :

On décompose par un acide fort (acide chlorhydrique) le carbonate de calcium dans l'échantillon de terre et on mesure le volume de gaz carbonique dégagé par la réaction à la température et la pression atmosphérique :



V. Résultats et discussion

1. Résultats

Tableau 1 : Résultats des analyses physico-chimiques du site 1.									
S1		Résultats des analyses physiques							
		H%			Texture				Rés. (bars)
P(cm)	Pf	Ps	H%	S.	A.	L.	Tex.		
H.V	10	269	216	24,9	30	24	46	L	1,3
	20	310	279	11,2	44	22	34	L	2,2
	30	410	380	7,9	44	25	31	L	2,5
M.V	10	371	319	16,6	29	25	46	L	2,9
	20	342	314	9,2	35	22	43	L	2,9
B.V	10	367	314	16,7	40	25	35	L	1,44
	20	377	344	9,5	47	24	29	L	2,52
		Résultats des analyses chimiques							
		pH			M.O, C, N				
		pHeau	pHKcl	l'écart	M.O	C	N	C/N	
H.V	10	7,18	6,02	1,16	12,6	94,28	2,58	36,49	
	20	7,27	6,14	1,13	13	89,67	2,58	34,70	
	30	7,38	6,22	1,16	8,5	66,00	2,00	33,05	
M.V	10	7,2	5,63	1,57	13	96,19	2,11	45,50	
	20	7,12	6,31	0,81	11,34	66,20	1,53	43,36	
B.V	10	6,75	5,45	1,3	11,87	100,30	2,11	47,44	
	20	6,82	5,43	1,39	11,12	74,12	2,00	37,06	

Tableau 2 : Résultats des analyses physico-chimiques du site 2.

Résultats des analyses physiques									
S2		H%			Texture				Rés. (bars)
		P(cm)	Pf	Ps	H%	S.	A.	L.	
H.V	10	234	192	21,77	67	15	18	L-S	1,1
	20	322	279	15,40	53	8	39	L-S	1,3
	30	349	319	9,33	67	10	24	L-S	2
M.V	10	372	326	14,12	56	12	32	L-S	2
	20	312	283	10,11	68	10	22	L-S	2,3
	30	424	391	8,49	45	11	44	L	3
B.V	10	409	367	11,66	32	19	48	L	1,6
	20	352	311	12,90	18	28	53	L-A-S	1,65
	30	413	375	10,18	44	13	42	L	2
Résultats des analyses chimiques									
		pH			M.O, C, N				
		pHeau	pHKcl	l'écart	M.O	C	N	C/N	
		H.V	10	6,74	6,46	0,28	14,51	93,88	
	20	7,17	6,41	0,76	9,83	69,21	2,32	51,99	
	30	7,42	6,51	0,91	5,75	25,38	1,02	24,93	
	M.V	10	7,11	6,15	0,96	6,77	55,77	0,89	62,84
		20	7	5,72	1,28	4,39	66,20	0,86	76,86
		30	6,89	5,57	1,32	3,99	8,73	0,70	12,38
	B.V	10	6,76	5,78	0,98	4,7	27,08	1,94	13,97
		20	6,92	5,58	1,34	4,72	17,05	2,88	5,93
		30	6,66	5,64	1,02	3,9	15,05	2,06	7,32

Tableau3 : Résultats des analyses physico-chimiques du site 3.

Tableau3 : Résultats des analyses physico-chimiques du site 3.									
S3		Résultats des analyses physiques							
		H%			Texture				Rés. (bars)
	P(cm)	Pf	Ps	H%	S.	A.	L.	Tex.	
H.V	10	276	262	5,16					0,7
	20	460	448	2,75	51	11,93	37	L	1,5
	30	391	384	1,93	53	17	30	L-S	4,5
M.V	10	509	450	13,10	52	9	40	L	1
	20	357	341	4,74	62	9	29	L-S	2,5
	30	450	431	4,35	60	9	31	L-S	4,5
B.V	10	446	411	8,42	68	2	31	L-S	1,5
	20	476	444	7,08	70	1	30	L-S	3,5
	30	505	467	8,24	61	1	38	L-S	4
Résultats des analyses chimiques									
		pH			M.O, C, N				
		pHeau	pHKcl	l'écart	M.O	C	N	C/N	
H.V	10	7,35	6,9	0,45	5,9	38,11	4,52	8,43	
	20	6,46	5,98	0,48	5,53	29,09	2,41	12,08	
	30	7,26	6,95	0,31	4,91	22,07	2,29	9,63	
M.V	10	7,31	6,88	0,43	6,69	35,11	2,29	15,33	
	20	7,35	6,96	0,39	6,24	30,09	2,00	15,07	
	30	7,38	6,98	0,4	6,13	23,07	1,64	14,03	
B.V	10	7	6,56	0,44	4,98	29,09	1,64	17,69	
	20	6,86	6,52	0,34	4,81	14,04	1,64	8,54	
	30	7,1	6,83	0,27	4,56	27,38	0,88	31,09	

Tableau 4 : Résultats des analyses physico-chimiques du site 4.

Tableau 4 : Résultats des analyses physico-chimiques du site 4.									
S4		Résultats des analyses physiques							
		H%			Texture				Rés. (bars)
	P(cm)	Pf	Ps	H%	S.	A.	L.	Tex.	
H.V	10	624	586	6,57	28	21	51	L	1
	20	398	379	4,88	58	16	26	L-S	1,6
	30	449	431	4,05	57	16	26	L-S	1,8
M.V	10	320	273	17,41	45	9	47	L	1,5
	20	380	345	10,00	39	16	45	L	1,6
	30	416	386	7,87	39	18	43	L	2
B.V	10	306	269	13,41	49	17	34	L	1
	20	356	336	5,97	47	16	37	L	1,25
	30	330	318	3,64	49	17	35	L	2,5
Résultats des analyses chimiques									
		pH			M.O, C, N				
		pHeau	pHKcl	l'écart	M.O	C	N	C/N	
H.V	10	6,95	6,24	0,71	3,86	35,61	1,53	23,32	
	20	6,85	6,17	0,68	3,73	31,09	0,88	35,30	
	30	7,08	6	1,08	9,94	31,39	0,82	38,19	
M.V	10	7,16	6,23	0,93	4,76	70,91	2,64	26,83	
	20	6,96	6,12	0,84	4,04	16,05	1,76	9,11	
	30	7,04	6,34	0,7	9,05	34,10	1,17	29,04	
B.V	10	7,26	6,34	0,92	5,04	70,21	2,11	33,21	
	20	7,34	6,31	1,03	4,12	27,28	1,29	21,12	
	30	6,56	5,64	0,92	4,67	21,36	1,17	18,19	

Tableau 5 : Résultats des analyses physico-chimiques du site 5.

S5	Résultats des analyses physiques							
	H%			Texture				Rés. (bars)
P(cm)	Pf	Ps	H%	S.	A.	L.	Tex.	
10	358	340	5	51	11	38	L	1,25
20	440	418	5	42	13	45	L	1,6
30	447	429	4	41	15	44	L	1,7
Résultats des analyses chimiques								
pH				M.O, C, N				
	pHeau	pHKCl	l'écart	M.O	C	N	C/N	
10	7,14	6,69	0,45	4,86	44,13	1,59	27,83	
20	7,24	6,84	0,40	4,97	20,06	1,41	14,23	
30	7,15	6,94	0,21	4,60	98,29	1,35	72,77	

▪ **Texture**

L'analyse granulométrique des échantillons met en évidence le caractère essentiellement limoneux ou sablo-limoneux des terres du bassin versant de l'Ourika.

Pour le premier site on constate que les sols des différentes stations ont la même texture limoneuse. Alors qu'on note une variation de la texture pour les sols du S2 : une texture limono-sableuse pour les sols du Haut versant et ceux du Mi versant, tandis que le reste est de nature limoneuse.

Or pour le S3 et le S4 on constate que la texture est la même pour l'ensemble des tranches d'altitude ; dont elles ont généralement et respectivement une texture limono-sableuse et limoneuse.

▪ **Restriction des racines**

D'après les profils creusés jusqu'aux limites des racines végétales (strate herbacée), nous avons constaté que les sols de la région de l'Ourika sont à la fois jeunes et en pente ce qui leur donne un caractère minéral ; dont les niveaux organiques n'excèdent souvent pas les premières dizaines cm, ce qui permet aux racines d'évoluer dans l'ambiance minérale de la roche mère.

Nous avons pu également mesurer la résistance des sols, cela a révélé que ce paramètre augmente souvent en profondeur. A titre d'exemple en prenant le cas des sols de la Junpéraie qui varie d'une façon significative : 0,7 bars pour la première couche (0-10 cm), 1,5 bars à 4,5 bars pour la couche la plus profonde (20-30).





Figure 23 : Photos qui illustre le développement des racines des arbres sur la roche mère.

▪ pH

Le pH eau (potentiel Hydrogène) correspond à la concentration en hydrogène $[H^+]$ de la solution du sol. Il est appelé ainsi car il est mesuré dans un mélange terre / eau.

En milieu acide, les H^+ dominant, ils sont donc présents en solution du sol et concurrencent les autres cations sur le complexe argilo-humique (CAH). Tandis qu'en milieu basique : les OH^- dominant, ils ne sont présents qu'en solution du sol et sont repoussés par le CAH.

En se basant sur ce principe, la méthode du pH KCl est utilisée pour déterminer l'acidité de réserve du sol ; dont Le pH KCl correspond à la concentration en hydrogène $[H^+]$ du sol obtenu après ajout de KCl.

Le KCl a pour effet de chasser les H^+ fixés sur le Complexe Argilo-Humique, ce qui permet de déterminer l'acidité totale ou acidité de réserve ou l'acidité potentielle du sol.

Les mesures du pH eau dans les différentes stations ont montrés que nous sommes en présence des sols neutres qui se situent entre 6.5 et 7,5.

L'acidité d'échange ou pH KCl s'est révélée inférieure à l'acidité actuelle (pH eau) dans l'ensemble des sols des différentes sites, alors que l'écart entre le pH eau et pH kcl montre que ces sols ont une acidité potentielle qui se diffère en variant le couvert végétal.

En prenant l'exemples des sols du Genévrier rouge de la région Ouelmes avec ceux de la chênaie de Toug Elkhir, nous constatons que l'acidité de réserve est faible pour le premier ($<0,5$), alors qu'elle est élevée pour le second (>1).

▪ Matière organique

D'après **Duchaufour (1977)**, les sols sont considérés riches en matière organique lorsque le pourcentage de présence de cette dernière est supérieur à 2%. A cet effet et en se basant sur les teneurs en matière organique de nos sols qui varie des 4% jusqu'à 9% pour la majorité des sols

sauf la première profondeur du sol du haut versant de Ouelmes qui dépasse les 14% ; on peut déduire que les sols des différentes stations étudiées sont des sols riches en matière organique.

▪ **Carbone**

Les résultats du dosage du carbone organique montrent que sa teneur varie d'un site à l'autre : Pour le cas des sites de l'Amassine et de Toug Elkhir on note une légère augmentation en allant du haut versant au bas versant, en prenant l'exemple de la première profondeur (0-10 cm) on trouve que les teneurs varient respectivement de 35,61 ‰ (H.V), 70,91 ‰ (M.V) à 70,21 ‰ (B.V), et de 94,28‰ (H.V), 96,133 ‰ (M.V) à 100,3 ‰ (B.V).

Mais grosse au modo cette teneur diminue avec la profondeur dans la majorité des cas ce qui semblerait logique vu que les premières profondeurs bénéficient de l'apport de la matière oxydable émanant de la litière.

Concernant la teneur en carbone organique dans le sol qui est hors couvert végétale, elle demeure faible dans les deux premières profondeurs ; dont elle est respectivement de l'ordre de 44 ‰ et 20 ‰, tandis qu'elle est très importante dans la dernière profondeur où elle atteint les 98‰.

▪ **L'azote**

Pour la teneur des sols en azote elle varie de la même façon que celle du carbone en passant de la couche supérieure aux couches profondes, alors qu'elle n'a pas de tendance en passant d'une tranche altitudinale à une autre.

▪ Réserve utile :

Tableau 6 : Tableau des paramètres utilisés dans le calcul de la réserve utile du site 1.

S1	P(cm)	Da (g/cm ²)	Da. moy	HCC H%	HCC moy	C.R H%	Pf H%	R.U H%	R.U moy	Cumul	Cumul moy.
Q1	10	1,5	1,5	11,9	13,99	17,20	7,3	7,0	10,3	31,0	37,7
	20	1,6		12,0			7,3	7,3			
	30	1,6		18,0			7,3	16,7			
Q2	10	1,5	1,5	12,7	14,45		7,3	8,0	10,9	32,8	
	20	1,5		12,8			7,3	8,3			
	30	1,6		17,9			7,3	16,6			
Q3	10	1,4	1,5	20,9	18,33		7,3	19,6	16,5	49,3	
	20	1,5		15,9			7,3	12,8			
	30	1,5		18,2			7,3	16,8			

Tableau 7 : Tableau des paramètres utilisés dans le calcul de la réserve utile du site 2.

S2	P(cm)	Da (g/cm ²)	Da. moy	HCC H%	HCC moy	C.R H%	Pf H%	R.U H%	R.U moy	Cumul	Cumul moy.
Q1	10	1,2	1,3	6,4	7,2	16,4	7,1	-0,9	0,1	0,3	25,5
	20	1,3		8,0			7,1	1,1			
	30	1,3		0,0			7,1	/			
Q2	10	1,4	1,4	7,6	13,7		7,1	0,8	9,3	28,1	
	20	1,4		10,4			7,1	4,7			
	30	1,4		22,9			7,1	22,6			
Q3	10	1,2	1,3	9,4	19,6		7,1	2,7	15,8	48,2	
	20	1,3		24,7			7,1	22,2			
	30	1,3		24,7			7,1	23,3			

Tableau 8 : Tableau des paramètres utilisés dans le calcul de la réserve utile du site 3.

S3	P(cm)	Da (g/cm ²)	Da. moy	HCC H%	HCC moy	C.R H%	Pf H%	R.U H%	R.U moy	Cumul	Cumul moy.
Q1	10	1,4	1,5	11,7	13,4	16,9	7,3	6,3	9,0	27,2	32,5
	20	1,5		12,0			7,3	6,9			
	30	1,5		16,6			7,3	14,1			
Q2	10	1,3	1,4	12,5	15,2		7,3	7,0	11,1	33,7	
	20	1,4		16,0			7,3	12,7			
	30	1,5		16,9			7,3	14,0			
Q3	10	1,4	1,5	14,3	15,2		7,3	9,9	12,1	36,5	
	20	1,5		14,2			7,3	10,5			
	30	1,7		17,1			7,3	16,2			

Tableau 9 : Tableau des paramètres utilisés dans le calcul de la réserve utile du site 1.

S4	P(cm)	Da (g/cm ²)	Da. moy	HCC H%	HCC moy	C.R H%	Pf H%	R.U H%	R.U moy	Cumul	Cumul moy.
Q1	10	1,0	1,1	13,5	14,8	19,7	9,5	4,0	6,0	18,3	20,6
	20	1,2		13,2			9,5	4,4			
	30	1,2		17,8			9,5	9,9			
Q2	10	1,1	1,2	13,5	15,6		9,5	4,2	7,4	22,6	
	20	1,3		13,6			9,5	5,1			
	30	1,3		19,9			9,5	13,2			
Q3	10	1,0	1,1	13,5	15,5		9,5	3,9	6,8	21,0	
	20	1,2		13,6			9,5	5,0			
	30	1,2		19,4			9,5	12,1			

Tableau 10 : Tableau des paramètres utilisés dans le calcul de la réserve utile du site Th.M.D.

Th.M.D	P(cm)	Da (g/cm ²)	Da. moy	HCC H%	HCC moy	C.R H%	Pf H%	R.U H%	R.U moy	Cumul	Cumul moy.
Q1	10	1,3	1,5	13,5	14,8	18,6	8,6	6,2	9,2	28,0	29,5
	20	1,6		13,2			8,6	7,3			
	30	1,6		17,8			8,6	14,6			
Q2	10	1,3	1,5	13,5	15,6		8,6	6,4	10,4	31,7	
	20	1,5		13,6			8,6	7,7			
	30	1,6		19,9			8,6	17,6			
Q3	10	1,3	1,4	13,5	15,5		8,6	6,2	9,4	28,7	
	20	1,4		13,6			8,6	7,0			
	30	1,4		19,4			8,6	15,5			

Tableau 11 : Tableau des paramètres utilisés dans le calcul de la réserve utile du site TAI.

TAI	P(cm)	Da (g/cm ²)	Da. moy	HCC H%	HCC moy	C.R H%	Pf H%	R.U H%	R.U moy	Cumul	Cumul moy.
Q1	10	1,6	1,6	14,5	16,0	23,2	12,2	3,6	6,0	8,2	15,9
	20	1,6		12,7			12,2	0,9			
	30	1,6		20,7			12,2	13,7			
Q2	10	1,3	1,4	12,3	15,4		12,2	0,2	4,6	14,5	
	20	1,5		12,5			12,2	0,4			
	30	1,5		21,5			12,2	13,9			
Q3	10	1,5	1,5	12,4	15,4		12,2	0,3	4,9	14,9	
	20	1,6		12,4			12,2	0,3			
	30	1,6		21,3			12,2	14,3			

Tableau 12 : Tableau des paramètres utilisés dans le calcul de la réserve utile du site T.A.B.

T.A.B	P(cm)	Da (g/cm ²)	Da. moy	HCC H%	HCC moy	C.R H%	Pf H%	R.U H%	R.U moy	Cumul	Cumul moy.
Q	10	1,29	1,40	10,6	14,31	23,20	9,1	1,91	7,27	22,53	22,53
	20	1,43		12,1			9,1	4,36			
	30	1,46		20,2			9,1	16,27			

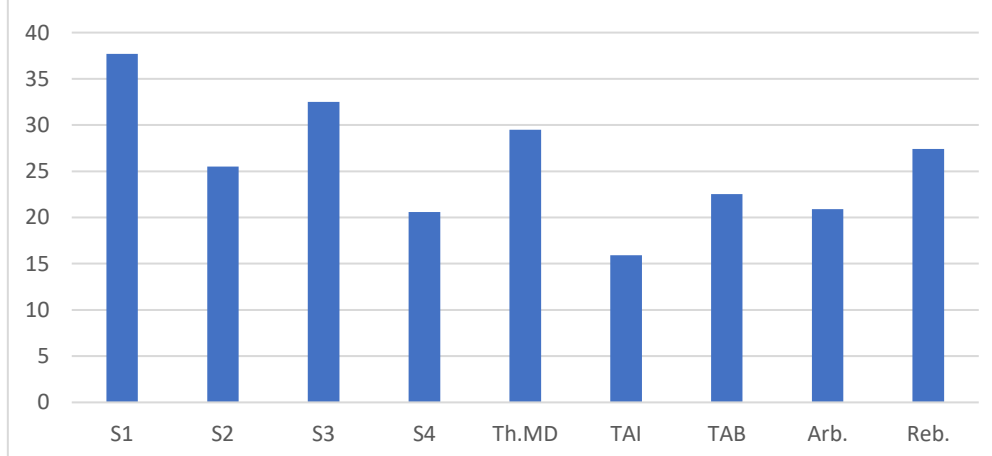
Tableau 13 : Tableau des paramètres utilisés dans le calcul de la réserve utile du site Arb.

Arb.	P(cm)	Densité g/cm ²	DA. moy	HCC H%	HCC moy	CR H%	pF	R.U	R.U moy	cumul	Cumul moy.
Q	10	1,4	1	12,5	14,9	20,3	10,2	3,2	6,8	30	20,9
	20	1,5		11,7			10,2	2,2			
	30	1,5		20,4			10,2	15,6			

Tableau 14 : Tableau des paramètres utilisés dans le calcul de la réserve utile du site Reb.

Reb.	P(cm)	Densité g/cm ²	DA.moy	HCC H%	HCC.moy	CR H%	pf H%	RU (mm)	R.U.moy	Cumul	Cumul moy.
Q1	10	1,2	1,3	11,9	14,0	17,2	7,3	5,4	8,7	26,8	27,4
	20	1,3		12,0			7,3	6,0			
	30	1,4		18,0			7,3	15,4			
Q2	10	1,0	1,1	12,7	14,5	17,2	7,3	5,5	7,6	23,2	27,4
	20	1,0		12,8			7,3	5,6			
	30	1,1		17,9			7,3	12,1			
Q3	10	0,8	1,0	20,9	18,3	17,2	7,3	11,0	11,0	32,3	27,4
	20	1,0		15,9			7,3	8,8			
	30	1,1		18,2			7,3	12,5			

Moyenne de la réserve utile en eau cumulé par site en mm.



La caractérisation de la réserve utile en eau des différents sites a montré qu'il y a une différence plus au moins légère entre un quadrat et l'autre, ce qui reflète un petit peu l'hétérogénéité au sein du même site étudié ; où le cumul de la réserve utile du 1^{er} quadrat du S4 est de l'ordre de 18,3% tandis qu'elle est égale à 22,6% pour l'autre. La même chose pour le cas du site du reboisement ; dont la réserve utile est égale à 32,3% pour l'un des quadrat alors qu'elle est uniquement 26,8% pour un autre.

La comparaison des différents sites entre eux a soulevé également une différence plus ou moins élevé en termes de rétention d'eau. En comparant par exemple la terrasse agricole irrigué (TAI) avec le Bour (TAB) on constate que la différence est de l'ordre de 7% alors qu'elle dépasse les 17% en comparant le S1 (37,7%) avec le S4 (20,6%).

Mais ce qui est commun entre les différents sites c'est la tendance, souvent, croissante de la réserve utile en profondeur aussi bien que l'évolution de leur humidité au cours du temps suivie (48h). (ANNEX 2).

2. Discussion

La texture influence le comportement d'un sol. En effet, les propriétés d'un horizon sont conditionnées pour partie par sa texture. D'après nos résultats de la granulométrie nous avons constaté que la majorité des sols ont une texture limoneuse à limono-sableuse.

Par définition les sols limoneux sont surtout formés de sables fins et de limons. On dit de ces sols qu'ils sont « battants », ce qui les rend imperméables à l'eau et à l'air. Ils se colmatent aussi très facilement, ce qui a pour effet d'augmenter la compacité des sols et alors leur résistance à la pénétration. Ces constats rejoignent également nos résultats de la mesure de la résistance à la pénétration qui ont montré le degré de compacité des sols de l'Ourika qui a atteint les 4,5 bars pour certains cas extrêmes.

En effet, cette compacité pourrait avoir des conséquences sur la circulation de l'eau dans le sol ce qui va influencer sa réserve utile en eau.

En outre, un autre constat pourrait être soulevé pour ces deux types de texture qui contiennent assez de limon, c'est le fait qu'ils sont les plus menacés par l'érosion et qu'ils soient sujets surtout à une éventuelle érosion surtout par l'eau. Cela va s'intensifier pour le cas du bassin versant de l'Ourika vue sa morphologie accentuée surtout en termes de pentes longues ou abruptes qui dépassent les 35% comme moyenne.

En ce qui concerne le caractère chimique de nos sols, les résultats ont montré que la valeur du pH de tous les sols se situe dans l'intervalle des pH neutre (entre 6,5 et 7,5).

Ce paramètre influençant le plus souvent le type d'humus produit au final. En effet, la dégradation de la matière organique, et l'humification qui se poursuivra, sont de bien meilleure qualité si ce sont des bactéries qui s'en chargent, plutôt que des champignons. Or les bactéries aiment mieux les sols neutres plus que les sols alcalins et acides. Cela pourrait expliquer nos résultats de la détermination de la matière organique qui ont montré que les sols de l'Ourika sont très riches ; dont leur teneur est supérieur à 2% qui est définie selon **Duchaufour** comme seuil à dépasser pour dire qu'un sol est riche en matière organique.

Les caractéristiques citées ainsi que leur interaction synergétique entre les uns et antagoniste entre autres, font que la réserve en eau utile diffère d'un sol à l'autre ; dont elle passe d'un pourcentage de 37,7 dans le S1 à 15,9% pour le TAI, en réponse aux propriétés physiques aussi bien que chimiques de chacun.

Pour la teneur en eau utilisable élevé dans le S1 par rapport aux autres ça pourrait être due principalement d'une part à sa texture surtout en termes de sa teneur en argile qui varie de 22%

à 25% et d'autre part à sa richesse en matière organique (jusqu'à 13%) ce qui va absolument enrichir ces sols en complexe argilo-humique qui participe à une bonne rétention de l'eau.

Conclusion

Les résultats obtenus montrent que les sols de l'Ourika sont peu profonds, généralement de texture limoneuse à sablo-limoneuse et ayant une résistance qui varie de 0,7 bars à 4,5 bars mais qui a globalement une variation croissante en profondeur.

Les analyses du pH ont révélé que nous sommes en présence d'un sol neutre qui est un milieu favorable pour les bactéries décomposeurs de la matière organique, ce qui pourrait expliquer la teneur élevée de nos échantillons en matière organique et alors en carbone et azote.

Ces résultats ont plus ou moins une influence sur la variation de la réserve utile en eau, qui est conditionnée par la compacité qui boque l'infiltration de l'eau, par la matière organique et la teneur en argile qui participe à la formation du complexe argilo-humique qui contribue à une bonne structuration du sol et par conséquent une bonne rétention d'eau

Même si la variation entre les paramètres physico-chimiques des sols des sites étudiés est plus ou moins significative, elle n'a pas de tendance claire en passant d'une essence végétale à une autre voir même au sein d'un même site.

Cela pourrait être due à la complexité du terrain qui s'ajoute aux interactions des variables étudiées voir même d'autres facteurs non étudiés dans notre présent travail vu la limite du temps comme ça pourrait être due au manque du nombre de points d'échantillonnage suffisant.

Référence bibliographique :

ACHHAI A., 1986 : Etude phytosociologique et dendrométrique des écosystèmes forestiers du bassin versant du N'Fiss (Haut Atlas central). Thèse Doct. Es-Sc. Fac. Sci. et Techn. St Jérôme, Aix Marseille III, 204 p.+ Annexes.

Aresmouk M. E. H., Gestion de situations de crise en période de crues exceptionnelles au niveau de la Région Hydraulique du Tensift.

BITTELLI, M., G. S. CAMPBELL, AND M. FLURY (1999), Characterization of particle-size distribution in soils with a fragmentation model, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63, 782–788, doi:10.2136/sssaj1999.634782x

CHAUVEL A., 1977 - Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Evolution et réorganisation des sols rouges de Moyenne Casamance (Sénégal). *Trav. et Doc. ORSTOM*, 62, 532 p.

CHESWORTH, 2008 W. Chesworth **Encyclopedia of Soil Science** Springer Science & Business Media (2008)

DREF ; Projet de développement du bassin versant de l'Ourika élaboré par la Direction Régionale aux Eaux et Forêts. Rapport interne, 2010. 40p

EI GHARBAOUI A, ELFELLAH B. L'orage du 17 août 1995 : une catastrophe majeure dans les vallées du Haut Atlas de Marrakech (Maroc). *Espace géographique et société marocaine* (Rabat) 1997 ; 149-59.

EMBERGER L., 1939 : Aperçu général sur la végétation du Maroc. Commentaire de la carte phytogéographique du Maroc au 1/500 000. *Veröff. Geobot. Inst. Rübel in Zürich*, 14, 40-157. + carte hors texte.

GAUSMAN, H. W. 1985. Plant leaf optical properties in visible and near-infrared light. Texas Technical Press, Lubbock, Texas, 78 p.

HALOUI B., 1986., Contribution à l'étude du milieu et de la végétation du bassin versant de l'oued Rhighaia (Haut Atlas de Marrakech). Thèse 3e cycle. Université Cadi Ayyad, Faculté des sciences, Marrakech, 123 p. + Doc. cart.

J. D. JABRO Æ R. G. EVANS Æ Y. KIM Æ W. M. Iversen, Estimating in situ soil–water retention and field water capacity in two contrasting soil textures, Springer-Verlag 2008

JOLIVET C., BOULONNE L., RATIE C. (2006) – Manuel du Réseau de Mesure de la Qualité des Sols, INRA Unité Infosol Orléans, 187 p.

MAERTENS (C.) - 1964 - Influence des propriétés physiques des sols sur le développement racinaire et conséquences sur l'alimentation hydrique et azotée des cultures. *Sci. Sol*, 31-41.

MOHAMMED EL MEHDI SAIDI, LAHCEN DAOUDI (F.S.T-Guéliz, Marrakech), MOHAMMED ELHASSANE ARESMOUK (A.B.H.T-Marrakech) et ALI BLALI (D.R.E.F-Marrakech) 2003 ; Rôle du milieu physique dans l'amplification des crues en milieu montagnard : Exemple de la crue du 17 août 1995 dans la vallée de l'Ourika (Haut-Atlas, Maroc). Sécheresse. Paris.

OUHAMMOU AHMED, Aperçu sur l'étagement de la végétation du bassin de l'Ourika (Haut-Atlas de Marrakech, Maroc) **1986.**

Peyre C., 1983. Étagement de la végétation et gradients climatiques dans le système atlasique marocain : le bassin de l'Oued Rdat et le versant sud de l'Atlas au méridien du Tizi n'Tichka. Bull. Fac. Sci. Marrakech (Sect. Sciences de la vie) 2 : 87-139.

QUÉZEL, P. (1957). Peuplement végétal des hautes montagnes de l'Afrique du Nord. Lechevalier Ed., Paris.

RITTER 2012. L'érosion du sol : causes et effets. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario. URL : <http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/12-054.htm#2> Consultée en ligne le 26 avril 2013.

ROOSE É. (1994) - *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES).* FAO Soils Bulletin, vol. 70, Rome, 420 p.

ROUSE, J.W., R.H. HAAS, J.A. SCHELL, and D.W. DEERING, 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, In: S.C. Freden, E.P. Mercanti, and M. Becker (eds) Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Volume I: Technical Presentations, NASA SP-351, NASA, Washington, D.C., pp. 309-317.

SAIDI ME, DAOUDI L. *Risques naturels dans le Haouz de Marrakech, Exemples des crues de l'Ourika, de la Ghiraya et du N'Fis.* Colloque international des Chaires maghrébines Unesco-Gas Natural : le développement durable du Maghreb, l'ouverture sur la Méditerranée et la valorisation du patrimoine écologique, humain et culturel, faculté des lettres et sciences humaines de Rabat, **2000**, 9 p.

WISCHMEIER, W.H. et D.D. SMITH, 1958. Rainfall energy and its relation to soil loss. Trans. Am. Geophys. Union. Vol. 39:285--291.

YORO (G.), 1983. - Contribution à l'étude de caractérisation de la structure. Identification et évolution des paramètres structuraux de deux types de sols du nord-ouest de la Côte-d'Ivoire. Incidences agronomiques. Thèse, doct. Ingénieur, université d'Abidjan, 279 pp., multigr.

YORO (G.), ASSA (A.), 1986. - Modifications structurales de deux sols ferrallitiques du nord-ouest de la Côte-d'Ivoire sous l'effet du piétinement par l'homme. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXII, n° 1 : 31-41.