

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET

DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم

Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem

كلية العلوم الطبيعية و الحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم العلوم الزراعية

Département des Sciences Agronomiques

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

**Magister en Sciences Agronomiques**

**Option :**

« **Agroforesterie et développement rural durable en milieux semi-arides** »

Présenté par : Mlle HAMADI Amina

**Thème**

**Impacts du potentiel agroforestier sur les processus de l'érosion hydrique sur les terres agricoles des piémonts du Dahra de la zone Sud de Sidi Lakhdar (W. Mostaganem)**

**La composition du jury de soutenance :**

Nom et prénom	Grade	Qualité	Appartenance administrative
Mr. BENABDELI Kheloufi	Prof.	Président	Université de Mascara
Mr. BENKHELIFA Mohamed	Prof.	Examineur	Université de Mostaganem
Mr. BELHADI Abdelkader	Prof.	Examineur	Université de Mascara
Mr. LARID Mohamed	MCA	Encadreur	Université de Mostaganem

« Laboratoire de Biodiversité et Conservation des Eaux et des Sols, Université de Mostaganem »

**Année universitaire : 2015/2016**

## *REMERCIEMENTS*

Tout d'abord, louange à « ALLAH » qui nous a guidé sur le droit chemin tout au long de notre travail et nous a inspiré les bons pas et les justes réflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait pas abouti.

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer toutes nos reconnaissance et remerciements à notre Directeur de mémoire *Dr Larid Mohamed*, qui a fait preuve d'une grande patience et a été d'un grand apport pour la réalisation de ce travail. Ses conseils, ses orientations ainsi que son soutien moral et scientifique nous ont permis de mener à terme ce travail. Son encadrement était des plus exemplaires, qu'il trouve ici, le témoignage d'une profonde gratitude. Nous espérons que ces mots réussiront à retranscrire fidèlement au moins une part de nos sentiments à son égard.

Nous tenons aussi à remercier sincèrement les membres de jury :

- *Pr Benabdeli Kheloufi* d'avoir bien accepter de présider notre jury.

- *Pr Benkhelifa Mohamed et Pr Belhadi AEK* qui nous ont fait l'honneur d'avoir bien voulu examiner notre travail.

Nous exprimons aussi nos vifs remerciements aux enseignants du département d'agronomie de l'université *Abdelhamid Ibn Badis* de Mostaganem pour leur aide et conseils scientifiques.

C'est aussi un grand plaisir d'exprimer nos remerciements au personnel du l'institut national des sols, de l'irrigation et du drainage (INSID) de l'Ouest (wilaya de Relizane) et surtout son directeur *M. Gacem Farid* de nous avoir accueilli dans ses laboratoires.

L'occasion nous est offerte de témoigner chaleureusement notre incère gratitude à nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Enfin toutes nos reconnaissances sont adressées à tous ceux et celles qui nous ont aidé dans la réalisation de ce travail et soutenu dans les moments difficiles.

Que chacun(e) se retrouve à travers ces quelques lignes.

*Thank for all...*

*A. Hamadi*

<b>Sommaire</b>		<b>Page</b>
<b>Liste des planches et figures</b>		<b>5</b>
<b>Liste des tableaux</b>		<b>6</b>
<b>Introduction générale</b>		<b>8</b>
<b>Synthèse bibliographique</b>		
1. Agroforesterie		<b>11</b>
2. Facteurs et processus de l'érosion		<b>13</b>
3. Impacts de l'agroforesterie sur le phénomène de l'érosion hydrique		<b>15</b>
<b>Matériels et méthodes</b>		
<b>Présentation de la zone d'étude</b>		
Introduction		<b>18</b>
1. Présentation de la zone d'étude		<b>18</b>
1.1. Cadre général		<b>18</b>
1.2. Situation de la zone d'étude		<b>18</b>
2. Caractéristiques physiques		<b>20</b>
2.1. Géomorphologie		<b>20</b>
2.2. Litho-géologie		<b>21</b>
2.3. Pédologie		<b>23</b>
3. Aperçu climatique		<b>23</b>
3.1. Climat		<b>23</b>
3.2. Pluviométrie		<b>24</b>
3.3. Températures		<b>25</b>
<b>3.4. Vents</b>		<b>26</b>
<b>3.5. Humidité</b>		<b>27</b>
3.6. Insolation		<b>28</b>
3.7. Evapotranspiration		<b>28</b>
3.8. Synthèse climatique		<b>29</b>
3.8.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson		<b>29</b>
3.8.2. Synthèse des principaux paramètres climatiques		<b>30</b>
3.8.3. Quotient pluviométrique et climagramme d'Emberger		<b>30</b>
4. Approche sociologique		<b>31</b>
5. Occupation de sol		<b>33</b>
6. Erosion hydrique		<b>36</b>
Conclusion partielle		<b>38</b>
<b>Approche expérimentale</b>		
1. Stations expérimentales		<b>40</b>
1.1. Caractérisation des stations expérimentales		<b>40</b>
1.2. Délimitation des stations expérimentales		<b>41</b>
2. Profil cultural		<b>44</b>
2.1. Observation du profil cultural		<b>44</b>
2.2. Description morphologique des horizons		<b>47</b>
3. Analyses physico-chimiques du sol		<b>47</b>
3.1. Granulométrie et texture		<b>47</b>
3.2. Indice de battance		<b>48</b>
3.3. Stabilité de la structure		<b>49</b>
3.4. Perméabilité		<b>50</b>
3.5. Indice d'érodibilité		<b>51</b>
3.6. pH		<b>52</b>
3.7. Conductivité électrique		<b>53</b>
3.8. Matière organique		<b>53</b>

3.9. Carbone organique	54
3.10. Azote	54
3.11. Rapport C/N	55
3.12. Calcaire total	55
3.13. Calcaire actif	56
4. Analyse statistique	56
<b>Résultats et Discussions</b>	
1. Interprétation des résultats de l'enquête	58
2. Interprétation des observations des profils culturaux	59
3. Interprétation des analyses statistiques	60
3.1. Analyse en composante principales	60
3.1.1. Analyse des données physico-chimiques	60
3.1.2. Analyse et interprétation de la matrice de corrélation	61
3.1.3. Valeurs propres	62
3.1.4. Analyse graphique	63
3.2. Analyse de la variance	66
3.2.1. Comparaison entre systèmes	66
3.2.2. Comparaison entre profils	68
3.2.3. Comparaison entre horizons	68
<b>Conclusion générale et perspectives</b>	72
<b>Références bibliographiques</b>	76
<b>Annexes</b>	88

<b>Liste des photos</b>		
<b>N°</b>	<b>Intitulés</b>	<b>Page</b>
<b>01</b>	Absence d'érosion hydrique en présence de l'agroforesterie (Photo - A. Hamadi, 2015)	<b>15</b>

<b>Liste des planches</b>		
<b>N°</b>	<b>Intitulés</b>	<b>Page</b>
<b>01</b>	Espèces utilisées pour freiner l'érosion hydrique sur les terres agricoles (Photos - A. Hamadi, 2015 & 2016)	<b>35</b>
<b>02</b>	Les traces d'érosion au niveau des terres agricoles de la zone d'étude (Photos - A. Hamadi, 2015 & 2016)	<b>37</b>
<b>03</b>	Systèmes agroforestiers (SAF) (Photos - A. Hamadi, 2015 & 2016)	<b>42</b>
<b>04</b>	Systèmes de culture (arboricoles & cultures annuelles) (Photos - A. Hamadi, 2015 & 2016)	<b>43</b>

<b>Liste des figures</b>		
<b>N°</b>	<b>Intitulés</b>	<b>Page</b>
<b>01</b>	Situation de la zone d'étude (Extrait de l'image de Google Earth, 2015)	<b>19</b>
<b>02</b>	Délimitation de la zone d'étude (Extrait de l'image de Google Earth, 2015)	<b>19</b>
<b>03</b>	Géologie de la zone d'étude (Extrait de la carte géologique du bassin de Bas-Chélif d'après Perrondon, 1957)	<b>22</b>
<b>04</b>	Précipitations moyennes mensuelles (mm)	<b>25</b>
<b>05</b>	Températures moyennes maximales et minimales (°C)	<b>25</b>
<b>06</b>	Vitesse moyenne mensuelle des vents (m/s)	<b>26</b>
<b>07</b>	Humidité relative moyenne mensuelle de l'air (%)	<b>27</b>
<b>08</b>	Insolation moyenne mensuelle (h/mois)	<b>28</b>
<b>09</b>	Evapotranspiration moyenne mensuelle (mm)	<b>28</b>
<b>10</b>	Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen	<b>29</b>
<b>11</b>	Variations annuelles des principaux paramètres climatiques	<b>30</b>
<b>12</b>	La zone d'étude dans le climagramme d'Emberger	<b>31</b>
<b>13</b>	Population totale (Cne Sidi Lakhdar)	<b>32</b>
<b>14</b>	Détails démographiques (Cne Sidi Lakhdar)	<b>32</b>
<b>15</b>	Population par sexe (Cne Sidi Lakhdar)	<b>32</b>
<b>16</b>	Population active (Cne Sidi Lakhdar)	<b>32</b>
<b>17</b>	SAU de la Cne Sidi Lakhdar	<b>33</b>
<b>18</b>	Délimitation des parcelles expérimentales sur la zone d'étude (Extrait de l'image de Google Earth, 2016)	<b>41</b>
<b>19</b>	Comparaison des profils entre stations (amont et aval) (a)	<b>45</b>
	Comparaison des profils entre stations (amont et aval) (b)	<b>46</b>
<b>20</b>	Triangle de texture d'après Jamagne, 1967 ; in Baize, 2000	<b>48</b>
<b>21</b>	Effet Splash	<b>58</b>
<b>22</b>	Valeurs propres (Comparaison des valeurs propres à leur moyenne)	<b>62</b>
<b>23</b>	Tracé des combinaisons des différents axes factoriels	<b>63</b>
<b>24</b>	Graphes des variables quantitatives utilisées pour la réalisation de l'ACP (Axes 1 et 2 ; Axes 1 et 3)	<b>64</b>

<b>Liste des tableaux</b>		
<b>N°</b>	<b>Intitulés</b>	<b>Page</b>
<b>01</b>	Fonctions et potentialités de l'agroforesterie	<b>12</b>
<b>02</b>	L'influence de la gestion du couvert végétal sur le sol	<b>16</b>
<b>03</b>	Coordonnées géographiques de la zone d'étude	<b>18</b>
<b>04</b>	Classes de pente adaptées du modèle expert (Le Bissonnais et <i>al.</i> , 2002)	<b>20</b>
<b>05</b>	Coordonnées géographiques de la station climatique de l'ONM de Mostaganem	<b>24</b>
<b>06</b>	Classification des étages bioclimatiques	<b>31</b>
<b>07</b>	Caractérisation des stations expérimentales	<b>40</b>
<b>08</b>	Caractérisation des profils culturaux	<b>44</b>
<b>09</b>	Système de classification des classes texturales	<b>47</b>
<b>10</b>	Classification des sols selon l'indice de battance	<b>49</b>
<b>11</b>	Classes des stabilités structurales d'après Calvet, 2003	<b>50</b>
<b>12</b>	Classes de perméabilité	<b>51</b>
<b>13</b>	Code de structure des sols	<b>52</b>
<b>14</b>	Classification des sols en fonction de leur érodibilité d'après Bollinne et Rosseau, 1978	<b>52</b>
<b>15</b>	Echelle d'interprétation du pHeau d'après Ryser <i>et al.</i> , 2001	<b>53</b>
<b>16</b>	Echelle de salure en fonction de la CE de l'extrait aqueux au 1/5 d'après Aubert, 1978	<b>53</b>
<b>17</b>	Normes d'interprétation pour l'azote d'après Calvet et Vellemin, 1986	<b>55</b>
<b>18</b>	Normes d'interprétation du taux du calcaire du sol d'après Loz et Mathieu, 1990	<b>56</b>
<b>19</b>	Matrice de corrélation de toutes les variables explicatives retenues	<b>61</b>
<b>20</b>	Inertie expliquée par les quatre premiers axes de l'ACP	<b>63</b>
<b>21</b>	Caractérisation des facteurs (CP) à l'aide des variables	<b>64</b>
<b>22</b>	Impacts des systèmes sur les propriétés physico-chimiques des sols (Récapitulatif des résultats de l'analyses de la variance)	<b>70</b>

*Introduction  
générale*

## Introduction générale

L'agriculture est le support principal dans le développement des nations. Elle occupe une place cruciale dans la lutte pour la sécurité alimentaire, la génération des revenus et la diminution de la pauvreté. De ce fait, l'agriculture reste l'outil le plus puissant dans la politique internationale.

Depuis le développement de notre civilisation, il y a moins de 10 000 ans Av-JC, la production agricole pour la fourniture alimentaire de l'humanité est la fonction principale des sols (Robert, 2005) qui sont sous la menace croissante d'une vaste gamme d'activités humaines réduisant sa disponibilité et sa viabilité à long terme. La phase finale du processus de dégradation des terres est atteinte quand le sol perd sa capacité à assurer cette fonction. Les causes de cette dégradation sont multiples et connues depuis plusieurs décennies comme l'imperméabilisation, la dégradation physique (érosion, tassement), chimique (acidification), biologique (perte de biodiversité), etc.

Si la formation du sol est un processus lent, la dégradation des terres cultivables est en revanche un processus rapide. Il est rare que le problème à régler soit simple lorsqu'il y a dégradation d'un sol. Au contraire, il y a en général des interactions entre un ensemble de phénomènes complexes (baisse du taux des matières organiques, dégradation de la structure, perte de fertilité, érosion mécanique sèche, érosion en nappe, en ravines, glissements de terrain) eux-mêmes dus aux interactions complexes de processus physiques, sociaux et économiques dont certains ont lieu en amont.

Depuis son indépendance en 1962, la sécurité alimentaire représente un enjeu sacré pour l'Algérie qui compte une population en forte croissance et des ressources en sol limitées et dégradées par l'érosion hydrique (Arabi et Roose, 2012). Elle se classe parmi les pays les plus érodables du monde, avec une érosion spécifique moyenne annuelle variant entre 2 000 à 4 000 t/km<sup>2</sup> /an (Demmak, 1982), où les zones de montagne sont les plus touchées par ce phénomène. Malgré les lourds investissements que l'état algérien a consenti pour lutter contre l'érosion hydrique, les sols continuent de se dégrader et les barrages à s'ensabler à des rythmes accélérés. Le coût global d'un seul projet d'aménagement antiérosif atteint des millions d'Euros mais son efficacité reste souvent insuffisante (Zekri-Bellahcene et *al.*, 2012).

Jadis, l'agriculture intensive qui a débuté au 19<sup>ème</sup> siècle a déstabilisé l'équilibre naturel des écosystèmes. Les pratiques culturales agricoles et la déforestation des grandes surfaces ont enlevé la végétation protectrice et ont entraîné le phénomène d'érosion accélérée (M'seffar, 2009).

Dans ce contexte, la recherche de nouveaux modes de gestion agricole qui permettent d'accroître durablement la productivité des terres sans dégrader l'environnement apparaît incontestablement comme l'une des principales priorités pour trouver les solutions à ce problème complexe. Il s'agit de systèmes de production qui auraient pour effet d'accroître le revenu des ménages, d'atténuer les risques érosifs et qui reposeraient principalement sur une végétation pérenne, l'intégration de l'élevage et des cultures associées dans le système d'exploitation sur de faibles superficies (Arabi et Roose, 2012). Ces systèmes appelés agroforestiers, ne sont pas nouveaux. Cependant, la place de l'arbre au sein des systèmes agricoles n'a pas cessé de diminuer et l'agroforesterie a fini par se marginaliser au cours du temps (Vaneekhoutte, 2014). Aujourd'hui, de nouvelles formes d'agroforesterie voient le jour, répondant aux contraintes liées aux systèmes agricoles actuels (AGROOF, 2010).

En effet, cette pratique offre des possibilités de lutte contre l'érosion par la protection du sol fournie par le couvert des arbres et la litière (Young, 1995). D'un point de vue général, le problème de l'érosion du sol est d'ordre socioéconomique autant que d'ordre environnemental et technique. Ceux qui en souffrent le plus, c'est-à-dire les agriculteurs les plus pauvres, sont le moins à même de mettre en œuvre les mesures classiques de contrôle (Blaikie, 1985; Roose, 1988). Le faible coût d'intrants de beaucoup de systèmes agroforestiers rend ceux-ci accessibles aux agriculteurs les plus pauvres (Young, 1995).

Dans un tel contexte, il nous a paru utile d'analyser le potentiel agroforestier et évaluer ses impacts sur le ruissellement et les pertes en terres par le processus d'érosion hydrique sur des terrains agricoles où les paysans utilisent des techniques antiérosives traditionnelles dont l'efficacité est limitée. Mais, elles ont toutefois l'avantage d'être bien intégrées aux systèmes de culture et pourraient donc être améliorées. Désormais, il faut savoir quelles améliorations faut-il apporter dans la gestion paysanne de la protection de ces terres agricoles et quelles solutions appropriées aux systèmes de cultures pratiqués afin de contrôler efficacement ce phénomène dans le cadre d'une gestion conservatoire durable des sols dans notre zone d'étude.

Pour ce faire, notre étude comporte trois grandes parties :

- Une première consacrée à une synthèse bibliographique portant sur ce qui a été réalisé sur l'agroforesterie, l'érosion hydrique et l'impact des systèmes agroforestiers sur ce phénomène de dégradation des sols en terres agricoles.
- La deuxième porte sur la description des matériels et méthodes utilisés lors de notre expérimentation dont la caractérisation de la zone d'étude sous tous ses aspects relatifs à notre thématique complétée par une enquête auprès d'un échantillon des exploitations agricoles de la zone d'étude, ainsi qu'un travail de laboratoire (analyses physico-chimiques) mené pour la détermination de l'impact des systèmes agroforestiers pratiqués sur la protection des sols.
- La troisième concerne l'exploitation et l'interprétation des résultats de l'enquête, de l'observation et la description des profils culturaux ainsi que le traitement statistique (ACP et ANOVA) des résultats des analyses physico-chimiques des sols.
- Et, enfin une conclusion générale où quelques suggestions ont été soulevées.

*Synthèse  
bibliographique*

## 1. Agroforesterie

Les parcelles qui sont cultivées selon les méthodes de l'agriculture écologique agroforestière (König, 2012), peut jouer un rôle important, car l'intégration des ligneux dans les systèmes agricoles permet de conserver la structure et la fertilité du sol (Mulamba, 2012). A partir des échecs de l'intensification des monocultures et aussi des techniques physiques de lutte contre l'érosion, l'agroforesterie permet une haute production en biomasse, même sur des sites dégradés, par l'intégration des arbres et des arbustes dans le système de production agricole (König, 2008).

De ce fait, l'amélioration de l'agroforesterie, par une approche intégrale du problème, contre l'érosion des sols et contre la dégradation de sa fertilité a pour but la régénération et la stabilisation de la fertilité du sol dans un système de production bien adapté aux conditions écologiques et humaines de la région (König, 2012).

L'agriculture écologique agroforestière permet une production durable : elle garantit la sauvegarde de la fertilité du sol à long terme. Les arbres et les haies de légumineuses contribuent au recyclage des éléments nutritifs et à l'approvisionnement du système en C et N. Par le compostage, la haute production en biomasse du système agroforestier peut être valorisée pour améliorer la production végétale (König, 2008). Elle désigne le système d'utilisation rationnelle des terres qui accroît le rendement total en combinant les cultures agricoles (vivrières et annuelles) avec les arbres (cultures pérennes) et/ou l'élevage, sur une même parcelle en synergie. La combinaison peut s'étaler dans le temps, dans le respect des conditions écologiques et socio-économiques des populations locales. C'est un moyen pour recréer et maintenir la fertilité des sols (Pineau, 2008).

On outre, l'agroforesterie n'est pas une nouvelle activité. Dans l'Antiquité grecque et romaine, les oliviers contribuaient à la culture du vin, des céréales et des légumineuses.

Néanmoins, l'agroforesterie traditionnelle a progressivement laissé la place à des systèmes de production simplifiés et à plus haut rendement. L'agroforesterie s'est modernisée au cours des dernières années. Elle ne se concentre plus sur des plantations mono-spécifiques (Franco, 2012). Au cours du XX<sup>ème</sup> siècle, l'intensification de la production agricole et sa mécanisation ont causé un retrait de l'arbre des systèmes cultivés.

On estime ainsi que 600 000 kilomètres de haies ont été arrachés en France entre la fin des années 1960 et 1980 (Baudry et Jouin, 2003). Dans les pays tropicaux, en revanche, différentes formes d'agroforesteries traditionnelles ont perduré au cours du XX<sup>ème</sup> siècle. La recherche agronomique a commencé à s'intéresser à ces systèmes cultureux complexes à partir des années 80 et plusieurs expérimentations ont alors vu le jour dans les pays tempérés afin de développer de nouveaux modèles d'agroforesterie adaptés à l'agriculture moderne (Louis, 2014). L'agroforesterie tropicale est reconnue pour son action sur les composantes physiques (structure du sol, capacité d'infiltration et de rétention), chimiques (cycle des nutriments et en particulier celui de l'azote en lien avec l'intégration d'arbres légumineux) (Nair *et al.*, 1999 ; Dommergues *et al.*, 1999) et biologiques des sols dans la production et transformation de la matière organique (Buck *et al.*, 1998 ; Schroth et Sinclair 2003). Dans de nombreux agroécosystèmes traditionnels, que ce soit en milieu tropical, méditerranéen ou tempéré, la composante arborée, qu'elle soit sous forme de haie, d'alignements, de haie brise vent, d'arbres isolés, et même de forêt cultivée ; fait partie intégrante du système de production

(fourniture de bois, de fruits et d'autres produits ou services) mais participe aussi à sa stabilité. A travers de nombreuses interactions biophysiques, l'arbre agit sur le sol, directement à travers son enracinement, mais aussi indirectement à travers la litière et l'ombrage que procurent sa canopée, les habitats et les cortèges d'insectes qui lui sont spécifiques. La combinaison des arbres et des cultures fournit à la fois une plus grande richesse et une plus grande complexité de niches écologiques, dans le temps et l'espace, que les cultures annuelles (Stamps et Linit 1998 ; Jose *et al.*, 2004).

Toutefois, les principaux éléments pour la création des systèmes agroforestiers sont :

- l'intégration des arbres et des haies dans les parcelles de cultures,
- la mise en place de cultures associées,
- la substitution de la jachère par l'emploi d'engrais verts,
- l'intégration de l'élevage dans le système de culture,
- le recyclage de la biomasse dans un cycle fermé,
- l'intégration de la lutte antiérosive (König, 1992).

On peut voir dans le tableau 01 quelques potentialités de l'agroforesterie, susceptibles de résoudre certains problèmes écologiques.

<b>Tableau 01. Fonctions et potentialités de l'agroforesterie</b>	
<b>Problèmes écologiques</b>	<b>Fonctions et potentialités</b>
Erosion du sol par l'eau	Effets combinés de couverture de barrière par les essences arborées. Fixation du sol par les racines.
Erosion du sol par le vent	Protection par des haies brise-vent
Faible fertilité du sol ou déclin de la fertilité (dégradation physique, chimique, biologique)	Plantation d'espèces arborées permettant : - le maintien de la capacité de rétention en eau et de la fertilité du sol, - la fixation d'azote, - la fixation de CO <sub>2</sub> et son transfert vers le sol via la litière et les racines, - la création d'ombrage, - le recyclage des éléments minéraux et leur utilisation par les différentes strates de végétation
Dégradation de la forêt	Plantation d'essences appropriées dans les exploitations agricoles
Dégradation des pâturages	Arbres fourragers : pâturage sous couvert arboré
Risque d'inondation	Arbres à racines profondes Pratiques agroforestières visant à modifier le micro-climat et à conserver les micro-organismes.
Modification du débit des fleuves	Agroforesterie comme élément de protection des bassins versants.
Invasion d'agents pathogènes	Combinaison d'arbres destinés à inhiber l'action des agents pathogènes.

Source : mémento de l'agronome, CIRAD, 2009

## 2. Facteurs et processus de l'érosion

Depuis la formation des massifs montagneux, divers processus d'érosion ont dégradé les pentes des montagnes et déposé des alluvions fertiles le long des fleuves et des sédiments dans les mers : il s'agit de l'érosion naturelle qui a modelé les passages du monde. Les phénomènes d'érosion sont donc actifs tout au long de l'histoire de la terre.

Mais dès que l'homme s'est attaché à cultiver la terre, il a défriché la couverture végétale, exposé le sol nu à l'agressivité des pluies et provoqué la dégradation de l'horizon humifère du sol ainsi que l'accélération de l'érosion et du ruissellement (Roose *et al.*, 2010).

Ce phénomène est largement répandu en zone méditerranéenne et continue de s'amplifier particulièrement en zones de pentes (Boukheir *et al.*, 2001). C'est la menace la plus grave pesant sur les sols méditerranéens. En Albanie (Zdruli et Lushaj, 2001), au Maroc (Badraoui et Stitou, 2001) et en Sardaigne (Vacca *et al.*, 2002), etc. Elle semble avoir atteint des niveaux critiques. Les recherches actuelles s'orientent de plus en plus vers la recherche de solutions aux problèmes du développement rural durable : l'alimentation en eau de qualité, l'érosion des sols et la pollution des eaux avec la prise en compte du milieu humain. Ainsi, l'érosion hydrique est une conséquence de la réduction du recouvrement végétal. Elle entraîne des pertes plus ou moins importantes de sol et d'éléments nutritifs qui se concentrent dans les bas-fonds.

Selon Girard *et al.* (2005), l'érosion peut être définie comme un phénomène de déplacement des matériaux à la surface du sol sous l'action de l'eau, du vent, de l'homme ou simplement de la gravité. L'érosion du sol est une forme de dégradation que peut être accélérée avec la présence d'autres types de dégradation du sol comme la compaction, la réduction des taux en matière organique, la détérioration de la structure du sol, le drainage souterrain insuffisant, la salinisation et l'acidification du sol.

L'érosion des sols est un processus naturel et se distingue habituellement selon la nature de l'agent en cause : érosion hydrique, éolienne, glacière, fluviale, marine (ou littorale), anthropique, etc. (Soutter *et al.*, 2007). Ce processus peut être lent et inaperçu, ou il peut prendre des proportions alarmantes, entraînant une grande perte de sol arable. Le lessivage de la terre arable peut entraîner une réduction du potentiel de production, la qualité de l'eau de surface et l'encrassement des réseaux de drainage (Arnold *et al.*, 1989). Cependant, certaines activités humaines peuvent considérablement augmenter les taux d'érosion. L'érosion grave est généralement irréversible. Les processus érosifs dépendent d'une multiplicité de facteurs interagissant entre eux. Les facteurs de l'érosion pris en compte pour étudier les phénomènes érosifs font l'objet d'un consensus et regroupent : le sol (texture, teneur en matières organiques), l'occupation du sol (type de couverture végétale), la topographie et le climat (fortes dénivellations, période de sécheresse) (Le Bissonais *et al.*, 2002a).

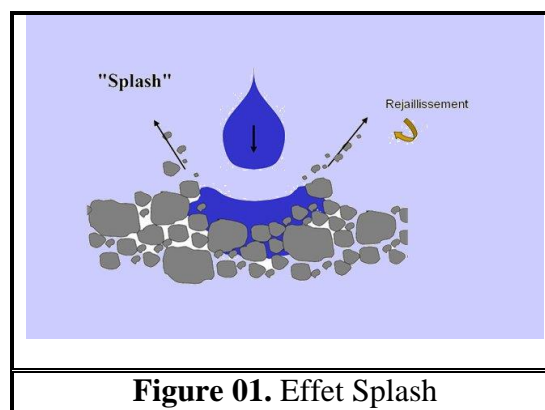
La pluie est reconnue depuis longtemps comme un agent essentiel de l'érosion de sols (Ellisson, 1944 ; Ekern, 1950). Cette dernière se développe lorsque les eaux de pluie, ne pouvant pas s'infiltrer dans le sol, ruissellent sur les versants en entraînant les particules de terre. Ceci apparaît soit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à la capacité d'infiltration de la surface du sol, soit lorsque la pluie touche une surface partiellement ou totalement saturée par une nappe. Ces deux types de ruissellement peuvent donner, d'une part, une

érosion aréolaire par ruissellement diffus et/ou en rigoles et, d'autre part, une érosion linéaire par ruissellement concentré avec des conséquences locales : ravinements, recouvrement des cultures, coulées de boue, entraînement des particules fines et impact sur la qualité de l'eau, etc. (Léonard et *al.*, 2009). De façon moins visible, et sur le plus long terme, l'érosion entraîne une perte durable de la fertilité et un déclin de la biodiversité des sols (Ifen, 2005a). Les réductions de la biodiversité du sol rendent les sols plus vulnérables à d'autres processus de dégradation. Par conséquent, la biodiversité du sol est souvent utilisée comme indicateur global de l'état de santé du sol (CCE, 2002). La problématique de l'érosion entraîne une multitude d'impacts non seulement environnementaux, mais également socio-économiques (Rouet, 2009).

L'érosivité du climat dépend essentiellement des caractéristiques des précipitations, car elles conditionnent les modalités de l'érosion : saisonnalité des pluies, fréquence et intensité des orages. En effet, l'impact des précipitations sur l'érosion se manifeste soit par l'effet direct des gouttes de pluie sur les particules du sol, soit sous l'effet de la lame d'eau ruisselée.

Déjà en 1877, Wollny (Cité par Ellison, 1944), décrivait l'effet de la pluie sur la désagrégation et la fermeture de la surface des sols. Ellison (1944) a montré que l'érosion par splash est positivement corrélée à la taille et à la vitesse des gouttes de pluie, en relation avec l'intensité de la pluie, la direction et la vitesse du vent.

L'énergie de l'eau apportée par les gouttes de pluie est à l'origine de la déstructuration des agrégats présents à la surface du sol (Boiffin, 1976 ; Le Bissonnais, 1988 *In* Leguédois, 2003), du détachement de fragments de sol et de leur transfert par rejaillissement à faible distance des points d'impact (Free, 1952 ; Bradford et Huang, 1996). Le potentiel érosif de la pluie est désigné par le terme général d'érosivité (Bergsma et *al.*, 1996). L'érosivité dépend surtout de l'intensité de la pluie et de l'énergie cinétique qui en résulte directement (Stengel et Gelin, 1998). Cette énergie découle du diamètre des gouttes et de leur vitesse de chute (cf. fig. 01).



L'effet de la pluie sur la surface du sol est fortement réduit par le couvert végétal et ses résidus qui, en interceptant la pluie, diminuent le pouvoir érosif des pluies. En conteste cultivé, les gouttes reformées sur les feuilles ont un rôle limité et peu d'impact sur la surface du sol (Leguédois, 2003). Dans ce contexte, la relation entre végétation et érosion n'est pas simple, il est actuellement bien établi que la végétation joue un rôle important vis-à-vis de l'érosion. Bien qu'elle puisse accentuer l'action érosive de certains processus géomorphologiques (lorsqu'une forêt entraîne une surcharge sur un glissement de terrain par

exemple), la couverture végétale a généralement tendance à limiter l'érosion (Veyrat-Charvillon, 2005). L'érosion diminue quand la couverture végétale augmente (Battany et Grismer, 2000 ; Kostadinov et *al.*, 1996 ; Olyphant et Harper, 1995 ; Stott, 1997). Il en va de même sur des surfaces réduites (Carroll et *al.*, 2000). Aussi le type de végétation contient un rôle dans cette relation, où les plantes à feuillage haut sont moins efficaces parce que les gouttes d'eau qui tombent des feuilles ont le temps d'atteindre une vitesse presque égale à celle de la pluie, donc la forme de la feuille peut jouer en altérant la taille de la goutte qui tombe au sol. Des feuilles qui concentrent l'eau à leur surface pour agrandir la taille des gouttes peuvent en effet provoquer une érosion sous la couronne si le sol est nu.

La densité de la couverture végétale permet en général de déterminer s'il y a ruissellement ou pas : jusqu'à 70% de couverture végétale, l'eau ruisselle en grande partie ; au-delà, l'eau percole et ne ruisselle plus, sauf s'il y a saturation des sols (Rey et *al.*, 2004), en dessous de 70%, la répartition de la végétation joue un rôle important et l'intensité érosive peut-être très variable.

### 3. Impacts de l'agroforesterie sur le phénomène de l'érosion hydrique

L'agroforesterie offre un moyen pour couvrir le terrain avec des arbres et des cultures intercalaires, donc de protéger l'environnement contre les risques d'érosion et en particulier l'érosion en masse (Roose et *al.*, 2010). Même si l'érosion subsiste sur la parcelle entre deux haies, le risque de glissement de terrains est nettement réduit (Ndayizigiye, 2012) (cf. photo 01). D'autre part, l'agroforesterie est un bon moyen d'intensifier et de diversifier la production annuelle sans augmenter les surfaces cultivées (Roose et *al.*, 2010) par la couverture des sols en hiver et la généralisation des bandes enherbées dans les parcelles agricoles en permettant de réduire l'érosion des couches superficielles par ruissellement des eaux de pluies .

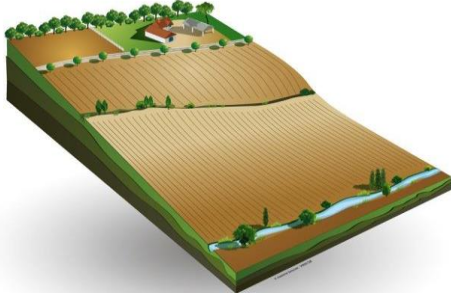
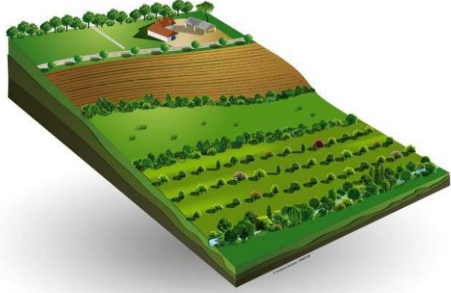


**Photo 01.** Absence d'érosion hydrique en présence de l'agroforesterie  
(Photo - A. Hamadi, 2015)

De ce fait, l'agroforesterie assure la stabilité sociale et de prendre conscience que l'érosion est devenue un problème national de gestion des ressources en eau et en sols dans les zones de montagne. Ce système pourra offrir des solutions aux problèmes que connaît l'agriculture, surtout dans les zones marquées par la présence de sols dégradés et sous l'influence des changements climatiques (Moussadek, 2012). Par l'intégration des arbres et des arbustes dans le système de production agricole, l'agroforesterie permet une haute production en biomasse, même sur des sites dégradés (König, 2008). Pendant toute l'année, le sol est couvert à cent pour cent de feuilles soit vives ou mortes, ce qui garantit une infiltration des eaux de pluies, même pendant les fortes averses. Par conséquent, il n'y a pas la moindre trace d'érosion même sur des pentes fortes.

Les arbres d'ombrage apportent des avantages déterminants par rapport à la monoculture (Dupraz et Liagre, 2008) : ils favorisent l'infiltration des eaux pluviales (Cannavo *et al.*, 2010), réduisent l'érosion (Ataroff et Monasterio 1997 ; Vaast *et al.*, 2005) et/ou permettent la conservation de la biodiversité (Perfecto *et al.*, 1996 ; Somarriba *et al.*, 2004 ; Mendez *al.*, 2007 ; Mendez *al.*, 2009). Ils contribuent aussi à l'augmentation de la séquestration du carbone (Vaast *et al.*, 2005).

Ces bonifications réduisent la dégradation du sol et améliorent la productivité des cultures (Chennafi, 2012).

<b>Tableau 02. L'influence de la gestion du couvert végétal sur le sol</b>	
Un terrain nu, sans couverture végétale ni éléments fixes...	Des sols protégés, une fertilité et une biodiversité retrouvée
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Baisse des rendements</li> <li>➤ Erosion des sols</li> <li>➤ Disparition de la biodiversité</li> <li>➤ Pollution de l'eau</li> <li>➤ Développement des maladies et ravageurs</li> <li>➤ Dysfonctionnement micro-climatique...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Porosité et structure du sol améliorées</li> <li>➤ Réduction du travail du sol</li> <li>➤ Réservoir de la biodiversité</li> <li>➤ Moins d'intrants</li> <li>➤ Stimulation de la vie du sol</li> <li>➤ Amélioration de la ressource en eau</li> <li>➤ Restauration du micro-climat...</li> </ul>

Source : Canet A., 2013

Du fait des manifestations d'érosion de plus en plus préoccupantes, liées pour partie à la nature des sols et à l'intensification agricole (remembrement, régression des prairies, mécanisation), le choix d'occupation de sols est à long terme la solution la plus intégrative. Il s'agit de recréer ou d'entretenir une mosaïque paysagère et de végétation : distribution spatiale des cultures, organisation du parcellaire, configuration des zones intermédiaires (bocage, zones boisées, dispositifs enherbés, etc.) (Le Bissonnais *et al.*, 2005).

La place de l'arbre au sein de ces dispositifs est donc légitime et l'on pourrait compléter ces recommandations en termes d'aménagements par les structures arborées telles que les haies ou les alignements agroforestiers, etc.

Cette hétérogénéité spatiale entre la composition, structure des aménagements et occupation de sols contribuerait également à diminuer une autre forme d'érosion celle de la biodiversité des sols.

C'est ce que nous comptant élaborer dans notre zone d'étude touchée par le phénomène de l'érosion hydrique et, où l'agroforesterie est déjà pratiquée mais à des fins beaucoup plus de subsistance basée sur une gestion des espaces héritée de l'agriculture conventionnelle.

# *Matériels et méthodes*

## Présentation de la zone d'étude

## Introduction

Les piémonts du Dahra mostaganémois ont été choisis comme région d'application pour notre travail de recherche compte tenu de la présence de systèmes agroforestiers et des différentes formes de l'érosion hydrique et cela malgré l'absence quasi-totale d'études sur cette région.

Cette partie est consacrée à une description générale de notre zone d'étude afin de donner les indications géographiques et biophysiques, bases indispensables à la compréhension des mécanismes de l'érosion hydrique sur les terres agricoles et l'impact de l'agroforesterie.

En effet, l'occupation du sol, la pente, les techniques culturales inappropriées et l'agressivité des pluies sont les facteurs majeurs qui régissent l'érosion accélérée des sols cultivés (Roose, 1980).

## 2. Présentation de la zone d'étude

### 2.2. Cadre général

Constitué en grande majorité de terres agricoles, les piémonts de la chaîne montagneuse nommée « Dahra » se trouvent face à la zone côtière dans la partie nord et dont la partie ouest correspond à notre zone d'étude qui est située au sud de la localité de Sidi Lakhdar (cf. fig. 02). Marqués par un relief accidenté, ces piémonts se subdivisent en deux grandes unités :

- piémonts à faible pente (<12%) occupant 60% de la superficie totale,
- piémonts à forte pente (>12%) occupent 40% de la superficie totale.

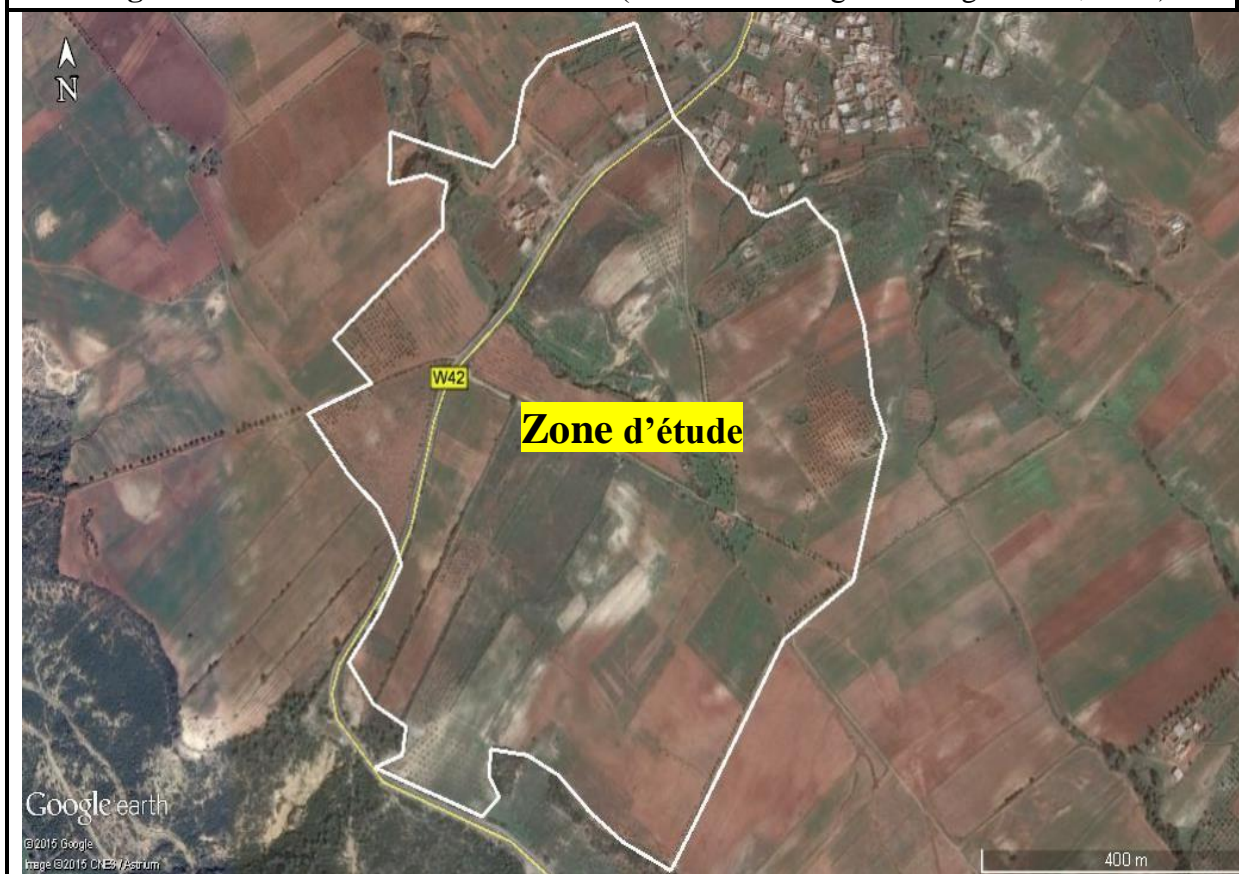
### 1.2. Situation de la zone d'étude

Située au Nord-Ouest de l'Algérie, la zone d'étude fait partie des piémonts du Dahra mostaganémois qui s'étend sur une bonne partie de la superficie totale de la wilaya de Mostaganem. Insérée entre 100 et 300m d'altitude, elle occupe la partie sud de la zone de Sidi Lakhdar à environ 2Km du chef-lieu de la commune avec une surface de 62ha environ, limitée au Nord, Sud, Est et Ouest par des terres agricoles (cf. fig. 02 & 03). Le tableau suivant nous renseigne sur les coordonnées géographiques des quatre points extrêmes.

<b>Tableau 03. Coordonnées géographiques de la zone d'étude</b>				
	<b>N</b>	<b>O</b>	<b>E</b>	<b>S</b>
<b>Latitude</b>	36°09'06.34''	36°08'49.36''	36°08'46.70''	36°08'29.47''
<b>Longitud</b>	0°25'49.20''E	0°25'27.70''E	0°26'03.00''E	0°25'48.94''E
<b>Altitude</b>	192 m	201 m	254 m	258 m



**Figure 02.** Situation de la zone d'étude (Extrait de l'image de Google Earth, 2015)



**Figure 03.** Délimitation de la zone d'étude (Extrait de l'image de Google Earth, 2015)

### 3. Caractéristiques physiques

#### 3.1. Géomorphologie

L'importance des reliefs et leur articulation dans l'espace jouent un rôle essentiel dans le bilan hydrique et par conséquent dans l'aptitude aux écoulements. Notre zone est constituée de collines dénudées, au relief assez vallonné caractérisé par un important phénomène intensif d'érosion, accentué par le travail du sol réalisé dans le sens de la pente, sur les versants dominants, etc. Le relief qui en résulte, exerce une action sur la pédogenèse par la modification du régime des eaux qu'il impose. Les sols varient de façon continue le long des pentes, alors qu'ils restent identiques le long des courbes de niveau. Les pentes sont liées à la dynamique du milieu car elles jouent un rôle fondamental dans l'explication de certaines formes de l'érosion. Leurs inclinaisons et longueurs ont un impact cumulé en lien avec l'ampleur de l'érosion. Elles contribuent à une érosion de plus en plus accélérée de l'amont vers l'aval de la pente.

Les différentes classes de pente utilisées pour les études de l'érosion hydrique, adaptées au modèle expert « Le Bissonnais et *al.*, 2002a » sont regroupées dans le tableau suivant :

Classes de pente	Valeur de chaque classe utilisée dans le modèle expert	Valeur de chaque classe adoptée pour l'étude
1	0 – 1%	<b>0 – 1%</b>
2	1 – 2%	<b>1 – 2%</b>
3	2 – 5%	<b>2 – 5%</b>
4	5 – 10%	<b>5 – 10%</b>
5	10 – 15%	<b>10 – 15%</b>
6	15 – 30%	<b>15 – 30%</b>
7	30 – 75%	<b>&gt; 30%</b>
8	> 75%	-

Basé sur la méthodologie internationale de classification des pentes (Le Bissonnais et *al.*, 2002a), on a pu regrouper les pentes de notre zone d'étude en trois catégories : Les pentes faibles (0 à 5%) ainsi que les pentes moyennes (5 à 30%) sont regroupées en plusieurs classes, tant que les pentes fortes sont rassemblées dans une seule classe (> 30%). Cette distinction a été faite pour pouvoir faire ressortir les terrains à faible pente.

La topographie, représentée par les pentes, constitue un des facteurs essentiels de la dégradation du milieu physique et un élément important influant sur l'écoulement des eaux et l'occupation des sols.

La plupart des phénomènes hydrologiques et climatologiques sont directement liés à l'altitude, car c'est de la pente et du relief dont dépend le gradient pluviométrique et thermique, ainsi que la vitesse d'écoulement qui sera en principe plus importante en montagne qu'en plaine. Donc, la connaissance de la répartition des altitudes est importante, où les altitudes se révèlent progressivement croissantes du Nord vers le Sud de la zone d'étude. Pas trop élevées, les altitudes sont inférieures à 300m avec une prédominance d'altitudes supérieures à 150m.

L'exposition est considérée comme étant un facteur important dans l'étude d'érosion car elle peut être un obstacle pour la poussée de certaines espèces protectrices du sol due à des effets d'ensoleillement et d'humidité. Ces dernières peuvent provoquer l'érosion hydrique. De ce fait les versants en expositions Nord et Ouest, généralement bien arrosés, sont plus humides que les versants Sud et Sud-Est. Ces derniers sont moins arrosés et reçoivent plus d'ensoleillement ce qui augmente l'évapotranspiration. Sans prendre en considération les différents facteurs écologiques (climat, relief) qui favorisent l'érosion hydrique, on trouve que l'intensité de cette dernière est très marquée au niveau des endroits dépourvus de végétation. Dans l'ensemble de la zone étudiée, les expositions sont variables et sont fonction de la configuration topographique du terrain. Néanmoins quatre expositions prédominent : Nord-Est, Nord-Ouest, Sud-Ouest et Sud-Est.

La zone d'étude est dépourvue de sources d'eau superficielle. Ceci explique l'irrigation de leurs cultures arboricoles à l'aide de citernes.

De point de vue hydrogéologique, la région est caractérisée par des formations imperméables ou peu perméables, notamment les marnes et les argiles. Seuls quelques affleurements grésocalcaires et les terrasses alluviales peuvent présenter un intérêt hydrogéologique localisé (El Garouani *et al.*, 2003).

## **2.2. Litho-géologie**

La géologie et la lithologie constituent une donnée importante pour la connaissance et l'étude du milieu. La nature des terrains est un des principaux critères qui conditionne le choix des travaux de mise en valeur (Berrayah, 2004).

Le monde méditerranéen représente un véritable « puzzle », tant par son modèle fragmenté et hétérogène à l'extrême que par sa géologie, qui est certainement l'une des plus complexes au monde (Quézel et Médail, 2003).

Les terrains constitués par le substratum crétacé, argilo-marneux en général, y sont très développés en surface, répartis inégalement, recouverts d'une double couverture discordante miocène et pliocène (Tinthin, 1948).

L'absence d'une couverture végétale dans une grande proportion expose cette région aux phénomènes d'érosion.

Un large dôme anticlinal de ce substratum divise le Dahra en deux versants : septentrional et méridional. C'est le cas des noyaux de Tazgaït et de Djebel Dar Chouachi.

Le versant méridional apparaît comme une mosaïque multicolore. Aux blancs correspondent : les marnes et Kieselguhr sahéliens, aux rouges : poudingues et argiles oligocènes, aux verts : argiles et quartzites crétacés.

Le ravinement, très intense, particulièrement actif à la tête des ravins, démolit les formes structurales du sous-sol hétérogène, mettant en relief bancs de grés et calcaire crayeux, tandis que les argiles glissent sur les pentes raides en donnant des « mauvaises terres » très caractéristiques (Cas d'Ouled Braïthia au Sud de Sidi Ali).

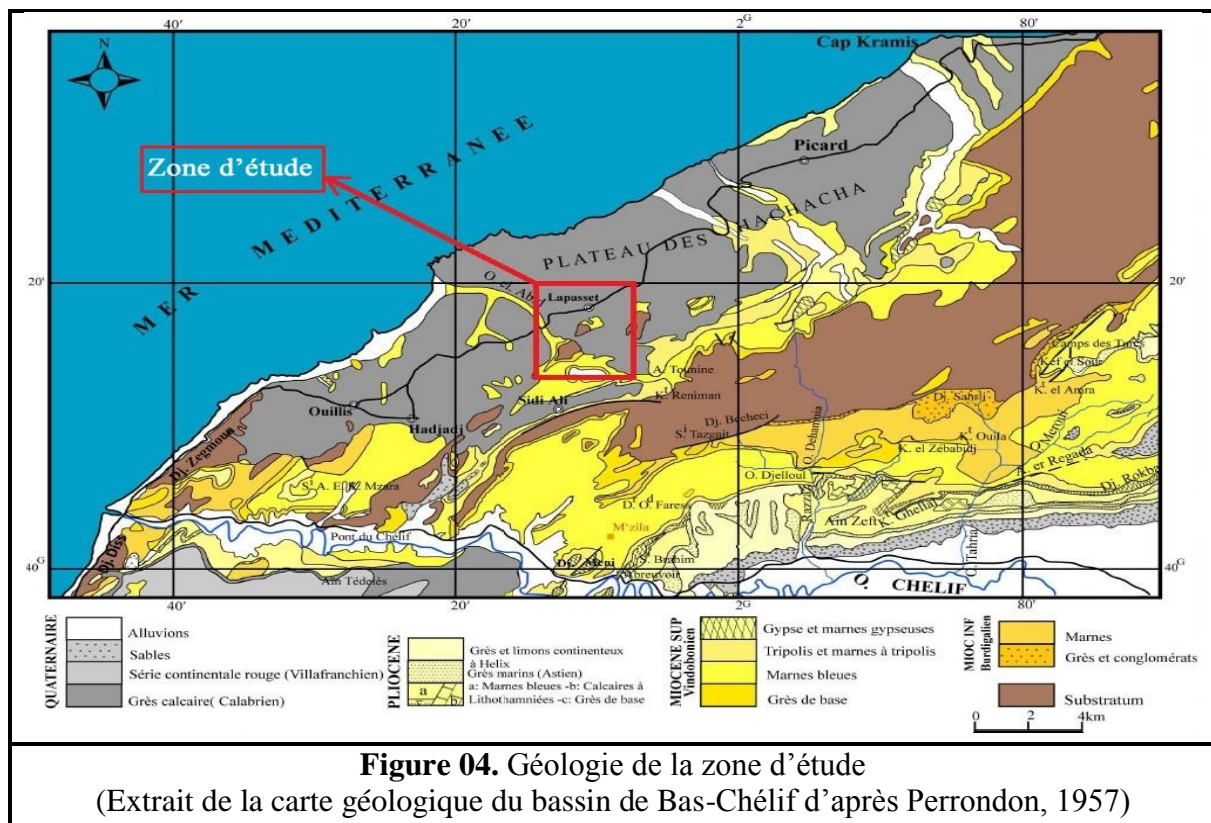
Sur la frange septentrionale, s'étale un double glacis étagé de sable pliocènes continentaux et d'alluvions sableuses quaternaires récentes repris par les vents. Un talus des sables alluvionnaires du pliocène continental s'étale entre les oueds El Abid et Kramis.

D'après (GTZ, 1996), le transport des sédiments s'explique par la lithologie de la région étudiée qui joue un rôle important sur le ruissellement, l'infiltration, l'érosion et le

transport des solides. Les matériaux géologiques se distinguent en formations meubles (sables, argiles, marnes) ou en formations consolidées (grès, calcaires, dolomies,...).

Sur le plan géologique, le Dahra mostaganémois étant la région dans laquelle notre zone d'étude est située, caractérisé par un relief montagneux présentant une individualité bien marquée. Les formations géologiques qui le constituent sont de natures et d'âges variés (Fenet, 1975 et Guardia, 1975), où les couvertures sédimentaires les plus anciennes dans le Dahra ne sont connues que depuis la limite du jurassique supérieur et du crétacé inférieur.

La grande transgression cénomaniennne (début du crétacé supérieur moins de 91-95 millions d'années) qui réside dans l'existence des faciès gréseux et marneux-calcaires sur les piémonts de la région formant le plus souvent des reliefs assez escarpés.



En s'aidant de la carte géologique (cf. fig. 04) pour mettre en vedette les substrats géologiques de surface ayant un lien direct avec la nature physico-chimique des sols en plus de la vérification sur terrain, nous a permis d'une part, d'avoir une idée et de déterminer les unités lithologiques, limitées en nombre, occupant des surfaces très variables (Larid, 1993) et, d'autre part de présenter notre zone d'étude. La majeure partie est caractérisée par une formation lithologique assez érodable constituée d'alluvions récentes d'âge Mio-Plio-Quaternaire appartenant au crétacé inférieur, moyen et supérieur d'une épaisseur moyenne environ 150m proprement dit correspondant dans la plupart des cas à un mélange entre le sable et le calcaire. Le remaniement des différentes argilites et marnes constituent une partie importante de la série.

Les marnes, par suite d'érosions récentes, ont commencé à disparaître sur presque toute l'étendue où affleurent les couches inférieures. La gravité de l'érosion hydrique est très

marquée au niveau des endroits reposants sur des pentes fortes et à couvert végétal très dégradé.

### **2.3. Pédologie**

Le Dahra mostaganémois se distingue par plusieurs types de sols suivant leur nature lithologique : grès, calcaire, marne et argiles, caractérisé par des zones marneuses du miocène au Nord qui sont les plus exposées aux différents processus d'érosion (Mazour, 2004).

Au niveau de la zone d'étude, la répartition des sols dépend essentiellement de la nature des roches mères et de la topographie, et dans une moindre mesure, de l'exposition des versants.

La quasi-totalité des matériaux servant de roches-mères pour les sols est constituée par des marnes et des calcaires marneux, ou par des alluvions dérivant de l'altération et de l'érosion de ces roches (El Garouani et *al.*, 2003).

Du point de vue superficie, les sols à pédogenèse calcimagnésique sont les plus importants dans notre zone d'étude. Il en résulte de cette pédogenèse des sols bruns calcaires sur pente faible et des sols peu évolués d'érosion sur pente forte à très forte (El Garouani et *al.*, 2003).

Les matériaux des terrasses quaternaires provenant de l'érosion des formations marneuses présentent une texture limoneuse sur les plus basses terrasses et donnent lieu à des sols peu évolués d'apport alluvial (El Garouani et *al.*, 2003).

## **3. Aperçu climatique**

### **3.1. Climat**

Le climat joue un rôle fondamental dans les différents processus de dégradation des terres et de l'érosion. Jarraud (2005) signale qu'il est important de connaître les ressources climatiques d'une région ainsi que le risque des perturbations naturelles liées au climat ou induite par celui-ci.

L'Algérie est caractérisée par un climat qui relève du régime méditerranéen qui a fait l'objet de nombreuses études analytiques et synthétiques par : Seltzer (1946), Quezel (1957), Ozenda (1964), Chaumont et Paquin (1971), Alcaraz (1982), Quézel et Barbero (1993), Bouazza et Benabadji (2000), Bestaoui (2001), Hirche et *al* (2007).

C'est le climat de transition entre la zone tempérée et la zone tropicale, caractérisé par un semestre hivernal pluvieux et froid et par une saison de sèche et chaude, de six mois environ (Bouazza et Benabadji, 2000).

D'une manière générale et malgré l'influence conjuguée de la mer, du relief et de l'altitude, la région de Sidi Lakhdar qui présente une vocation agricole où l'on envisage mener notre étude, possède un climat particulier appartenant à l'étage bioclimatique semi-aride type méditerranéen. Contrasté avec une saison estivale sèche et chaude alternant avec une saison hivernale pluvieuse fraîche sinon froide et un déficit pluviométrique, il est très marqué par rapport à l'évapotranspiration. Durant les trois mois de la période estivale, cette particularité doit être considérée comme un paramètre déterminant sur les processus généraux de la dégradation des ressources naturelles.

Parmi les différentes composantes du climat, deux d'entre elles ont été toujours pris en considération, il s'agit de la pluviométrie et de la température.

Afin de caractériser le climat de notre zone d'étude et leur influence sur l'érosion hydrique, nous essayerons de nous pencher sur les paramètres essentiels, dans la mesure où ceux-ci sont disponibles, en nous basant sur les données météorologiques de la région de Sidi Lakhdar recueillies par l'office national de météorologie de Mostaganem (ONM-Mostaganem) (cf. tab. 05) : températures et précipitations moyennes mensuelles sur une période de 15 ans allant de 2000 à mai 2015. En raison de la rareté des données de plusieurs phénomènes météorologiques dans notre région d'étude, comme l'insolation, l'humidité relative et le vent, par voie de conséquence des données relatives à ces paramètres, nous avons utilisés les données climatiques de la période allant de 1990 à 2012 déterminée de 22 ans.

<b>Tableau 05. Coordonnées géographiques de la station climatique de l'ONM de Mostaganem</b>			
<b>Coordonnées de la station</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Altitude</b>
<b>Mostaganem</b>	00°07E	35°53N	137m

### **3.2. Pluviométrie**

La pluviosité est considérée comme un facteur primordial par son impact direct sur l'hydrologie de surface dont elle représente la seule source hydrique pour la végétation des milieux terrestres (Marzouk, 2010).

Depuis de nombreuses décennies, la corrélation entre les pluies torrentielles et l'intensité de l'érosion est observée (Paul-Hus, 2011).

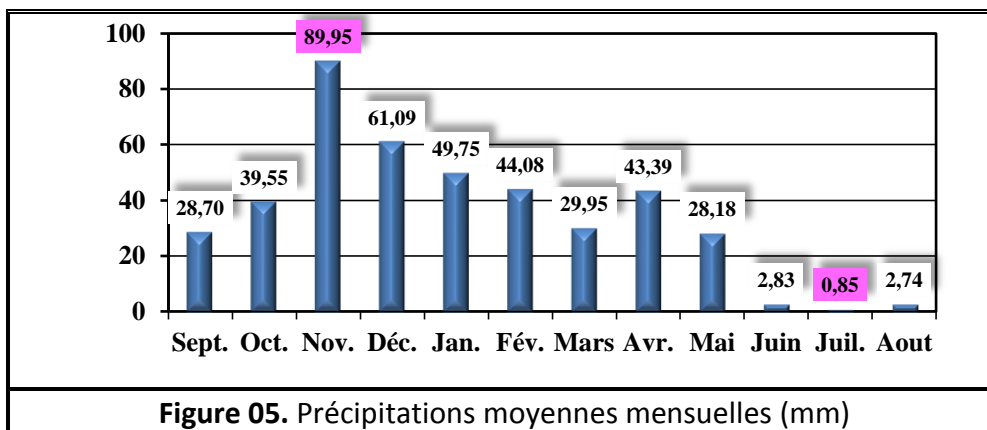
Dès 1955, Galevski (1955) avait remarqué sur un périmètre d'étude que l'intensité des pluies exerçait un effet primaire et un effet secondaire. L'effet primaire est défini comme étant l'action mécanique des gouttes pluviales produites sur le sol, et l'effet secondaire comme étant la puissance de ruissellement sur les versants.

Les pluies agressives exceptionnelles qui s'abattent sur la région, en déclenchant le ravinement et des glissements de terrain, charrient d'énormes quantités de sédiments vers les réservoirs d'eaux (Roose, 2004).

Pour Belgat (2001), l'intensité des pluies et leurs fréquences jouent un rôle prépondérant sur :

- La stabilité ou l'instabilité des sols, combinée à d'autres facteurs du sol peuvent la favoriser ou la défavoriser.
- Elles agissent sur la solubilité et la migration des nutriments dans le sol.
- En conséquence, elles participent à la répartition spatiale des espèces.
- Elles accélèrent ou elles bloquent l'évolution des matériaux organiques et minéraux, et elles interviennent dans la formation des sols.

La zone d'étude enregistre en moyenne 421mm par an (cf. annexe 01, tab. 01, p. 89). Les précipitations sont irrégulières, les premières pluies surviennent tôt en automne. Novembre est le mois le plus copieusement arrosé avec une moyenne mensuelle de 89,95mm (cf. fig. 05), alors que juillet correspond au mois le plus sec avec une pluviométrie sensiblement nulle de moyenne mensuelle 0,85mm (cf. fig. 05), ce qui est une des caractéristiques essentielles du climat méditerranéen (Emberger, 1930b et Daget, 1977).

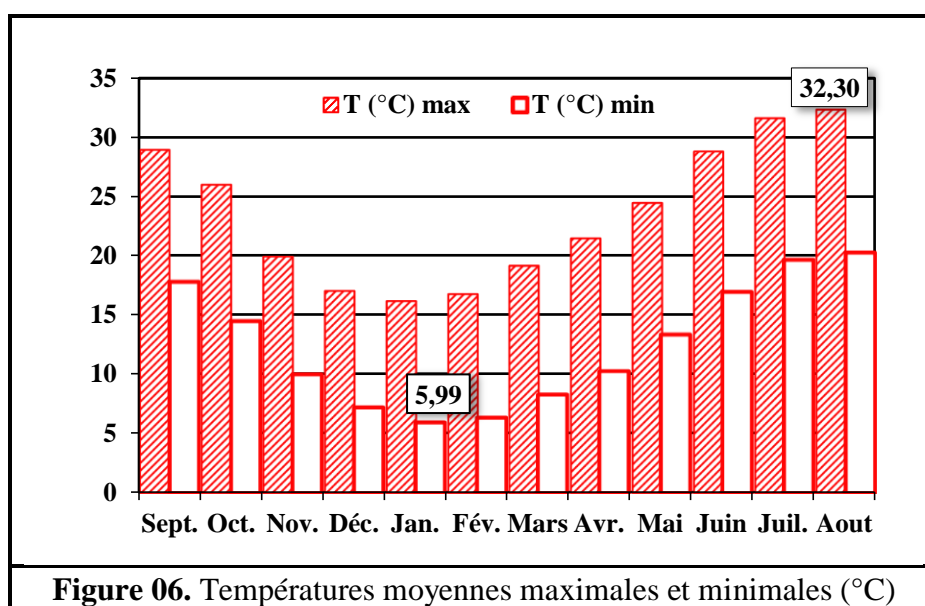


Les chutes torrentielles surviennent pendant les mois de forte pluviosité du début novembre à la fin février avec des maxima d'à peu près 74,36 % de la pluviométrie annuelle.

D'après le tableau 01 (cf. annexe 01, tab. 01 p. 89), les pluies mensuelles tombent généralement en automne, en hiver et au printemps. Mais celles d'automne sont plus érosives parce qu'elles tombent au moment où les sols sont peu couverts par la végétation et plus secs suite à la saison chaude de l'été. Les sols se retrouvent plus vulnérables à la battance des gouttes de pluies et au cisaillement du ruissellement.

### 3.3. Températures

La température est le second facteur caractéristique du climat. Il a été défini comme une qualité de l'atmosphère et non une grandeur physique mesurable (Peguy, 1970). Il régit directement le climat en interaction avec les autres facteurs météorologiques, permettant avec les précipitations le calcul du déficit d'écoulement et les indices climatiques. Au point de vue pédologique, les écarts thermiques provoquent la désagrégation des roches ayant pour conséquence le développement des sols. Elles interviennent aussi dans le déroulement de tous les processus, la croissance, la reproduction, la survie et par conséquent la répartition géographique de la végétation générant les paysages les plus divers (Soltner, 1992).



Emberger (1955) a utilisé des significations biologiques pour connaître les variations thermiques.

- M : la moyenne des maxima du mois le plus chaud (°C),
- m : la moyenne des minima du mois le plus froid (°C),
- M-m : Amplitude thermique exprimant la continentalité.

Les moyennes mensuelles des températures (cf. annexe 01, tab. 02, p. 89) confirment que le mois de janvier est le mois le plus froid avec une moyenne minimale de 5,99°C, ensuite les températures augmentent d'une allure régulière jusqu'au mois d'août qui représente le mois le plus chaud avec une moyenne maximale de 32,30°C (cf. fig. 06).

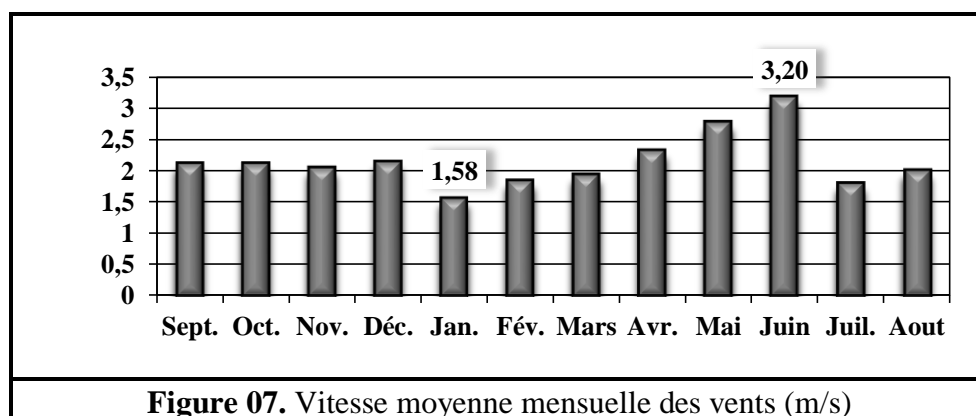
Ce qui entraîne généralement d'importantes pertes en eaux des sols par l'augmentation de l'évaporation qui agit négativement sur le développement des plantes par la forte transpiration. Ces pertes en eau se traduisent par une réduction de l'humidité au niveau des sols qui s'exprime par une régression du couvert végétal et par conséquent des risques plus élevés à l'érosion hydrique (Roose et *al.*, 2008). Dans ce cas-là, le couvert des arbres peut avoir une influence considérable en modérant la température de l'air et du sol et en accroissant l'humidité relative (Lal et Cummings, 1979). Ces deux dernières sont en général bénéfiques à la croissance des cultures et sont mis à profit dans de nombreux systèmes d'agroforesterie (Weber et Hoskins, 1983 ; Vergara et Briones, 1987).

### 3.6. Vents

Ils constituent un des facteurs reconnus dans la caractérisation du climat méditerranéen, son action est principalement néfaste pendant la saison sèche et lors des tempêtes qui précèdent la saison des pluies, lorsque le sol est nu. Il détermine la transformation des états de surface, particulièrement en zones arides et semi-arides (Thiombiano, 2000). L'action des vents s'observe surtout à différents niveaux, mécanique par l'arrachement et la chute des feuilles et des fleurs et physiologique par une augmentation de l'évapotranspiration (Balleux et Van Leberghe, 2001). Cette situation s'accompagne également par une réduction de l'humidité des sols et une régression du couvert végétal et par conséquent des risques plus élevés par rapport à l'érosion hydrique.

Au niveau de notre zone d'étude, la direction du vent dominant selon Dembele (1994) est :

- à 7h : Est et Sud.
- à 13h : Ouest et Nord-Est.



Ces courants atmosphériques chargés d'humidité pendant leur parcours maritime rencontrent les versants montagneux, ce qui provoque des pluies sur le relief (Touzi, 2001) ;

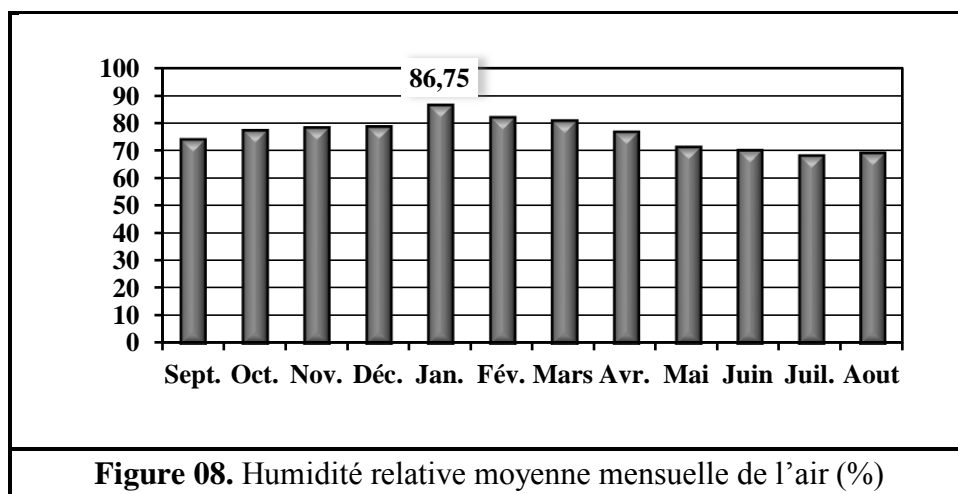
- ❖ La vitesse moyenne varie entre 1,58 et 3,20m/s (cf. fig. 07) ;
- ❖ Sirocco : Ce vent poussiéreux, chaud et sec d'origine méridional soufflant du Sud au Nord. Grâce à son pouvoir desséchant, il peut endommager des cultures.

En effet, la vitesse des vents est faible durant toute l'année et vu la proximité de la zone par rapport à la mer, l'influence adoucissante de la brise marine fraîche et chargée d'humidité semble atténuer la sécheresse, elle se traduit par la diminution de l'évapotranspiration. Donc, il s'avère que l'effet des vents vis à vis de l'accentuation du phénomène de l'érosion hydrique devient faible dans notre zone d'étude.

Dans un autre sens, les températures élevées et la vitesse importante du vent produisent pendant la saison sèche une intense demande évaporatoire qui se traduit par une diminution rapide des stocks d'eau dans le sol et par suite le dessèchement des cultures agricoles qui deviennent moins productives. L'effet brise-vent et ombrage des systèmes agroforestiers limite les stress hydriques sur les cultures. Il induit un gain de rendement pouvant osciller entre 5 et 30% en grandes cultures et maraîchage selon la force du vent. Ce bénéfice est nettement supérieur dans les vergers dont la production peut doubler par le simple effet d'une protection climatique (Labant, 2009).

### 3.7. Humidité

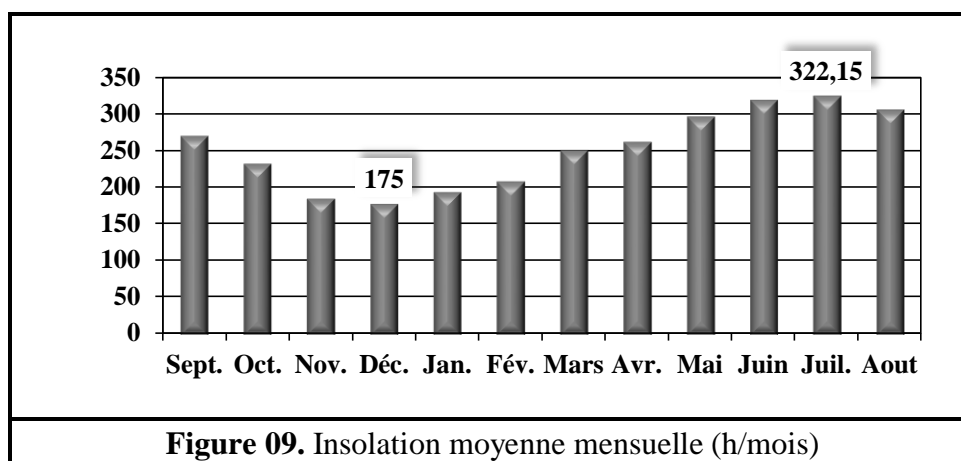
L'humidité relative est un paramètre climatologique très important qui présente le rapport entre la pression partielle de la vapeur d'eau à l'air humide et la pression de saturation à la même température. Les arbres eux-mêmes consomment de l'eau qu'ils transpirent en vue de refroidir les feuilles ; cela permet de faire monter l'humidité et de baisser les températures dans la journée (Verheij, 2003).



Du fait de la proximité de la mer et de l'influence de la brise marine, l'humidité relative est assez importante dans notre zone d'étude, ce qui diminue l'effet des hautes températures sur l'activation du processus d'érosion hydrique et le pouvoir évaporant de l'air. Les variations de l'hygrométrie moyennes mensuelles montrent que l'humidité relative moyenne passe par un maximum au mois de janvier (86,75%) (cf. fig. 08).

### 3.6. Insolation

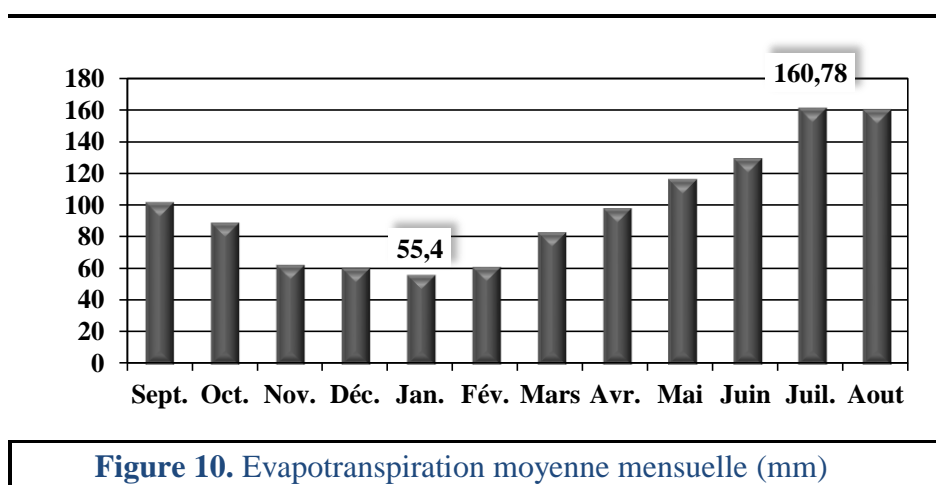
C'est le facteur climatique dont il faut tirer parti, l'insolation forte avec les températures élevées entraînant une faible humidité de l'air et donc une évaporation forte (Deygout et Treboux, 2012).



Le maximum d'ensoleillement est relevé durant le mois de juillet avec une cote de 322,15h (durée totale d'insolation pour le mois de juillet), soit 10,39h/j (durée moyenne pendant la journée) ; le minimum d'ensoleillement est observé en décembre pour une cote de 175h (durée totale d'insolation pour le mois de décembre), soit 5,64 h/j (cf. fig. 09).

En tant que plantes pérennes, les arbres couvrent le sol pendant toute l'année et lui procurent une protection contre le soleil brûlant, les vents hauts et les fortes pluies. Mais non seulement le sol : les arbres jettent de l'ombre sur l'homme et sur l'animal et sur des cultures d'accompagnement (notamment des plantes ombrophiles) et réduisent le stress causé par des vents secs ou des tempêtes (Verheij, 2003).

### 3.7. Evapotranspiration



L'évapotranspiration mensuelle varie de la même manière que la température. La figure 10 montre que durant la saison froide elle décroît progressivement jusqu'à atteindre la valeur faible en mois de janvier avec une moyenne mensuelle de 55,4mm, puis elle croit pour atteindre des valeurs très fortes en saison chaude où la moyenne mensuelle la plus élevée est celle du mois de juillet avec 160,78mm. Mais l'ombrage des arbres réduit la température du

sol et l'évapotranspiration des cultures, modifiant ainsi le microclimat (Torquebiau, 2015). L'établissement de rideaux d'arbres pourrait réduire l'évapotranspiration des cultures, tout en ramenant une meilleure diversité de la flore et de la faune (Roose et al., 2010).

### 3.8. Synthèse climatique

Cette synthèse nous permettra d'avoir une idée plus globale et visuelle du climat local.

#### 3.8.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

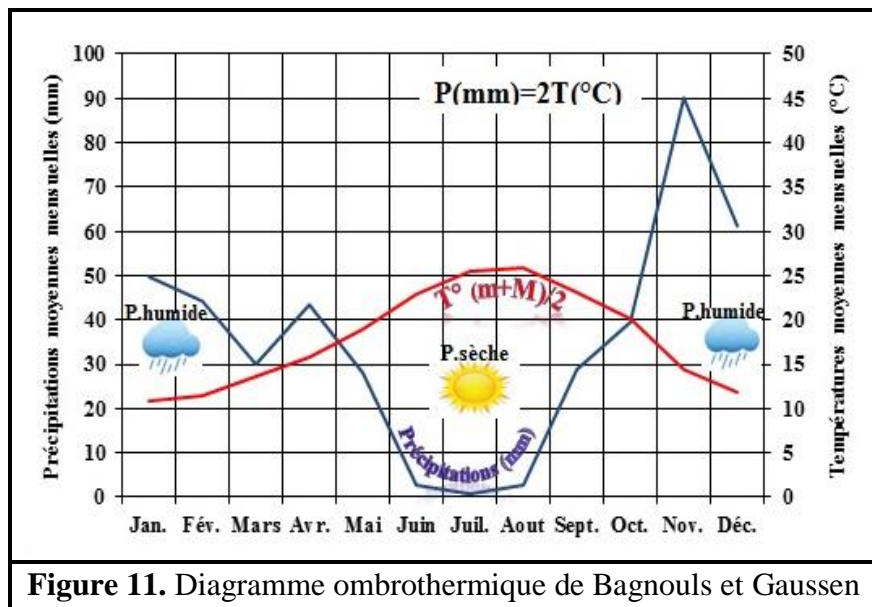
Pour Bagnouls et Gausсен, un mois sec et celui où le total moyen des précipitations exprimées en mm est inférieur ou égal au double de la température moyenne. L'utilisation de la méthode pluvio-thermique va nous permettre, avec plus de précision, de déterminer les périodes humides et sèches (cf. fig. 11).

Gausсен a proposé un rapport de 1 à 2 : une unité représente 2mm de précipitation ou 1°C.

- ❖ Lorsque la hauteur des pluies est inférieure au double de la température moyenne (courbe pluviométrique en dessous de la courbe thermique) la saison est déficitaire (sèche) ;
- ❖ Par contre, lorsque la pluviométrie est au-dessus de la température, la période correspondante est excédentaire : la saison est humide ;
- ❖ Et lorsque les deux valeurs se superposent, les besoins en eau sont couverts.

En général, la période humide pour notre zone d'étude s'étend de la mi-octobre jusqu'au mois d'avril (cf. fig. 11). Elle est marquée par des températures très faibles par rapport à la température moyenne annuelle notamment pour le mois de janvier, et des hauteurs de précipitations

maximales observées surtout au cours du mois de novembre. Durant cette période, la couverture végétale est absente ce qui provoque un ruissellement considérable pouvant entraîner deux formes d'érosion : l'érosion diffuse en nappes et l'érosion concentrée en ravines. La période sèche s'étend du mois



**Figure 11.** Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

de mai jusqu'à la mi-octobre est caractérisée par la rareté des pluies surtout durant les mois de juin, juillet et août, au cours desquels les températures atteignent leurs maxima, ce qui accentue l'érodibilité des sols en cas des pluies.

### 3.8.2. Synthèse des principaux paramètres climatiques

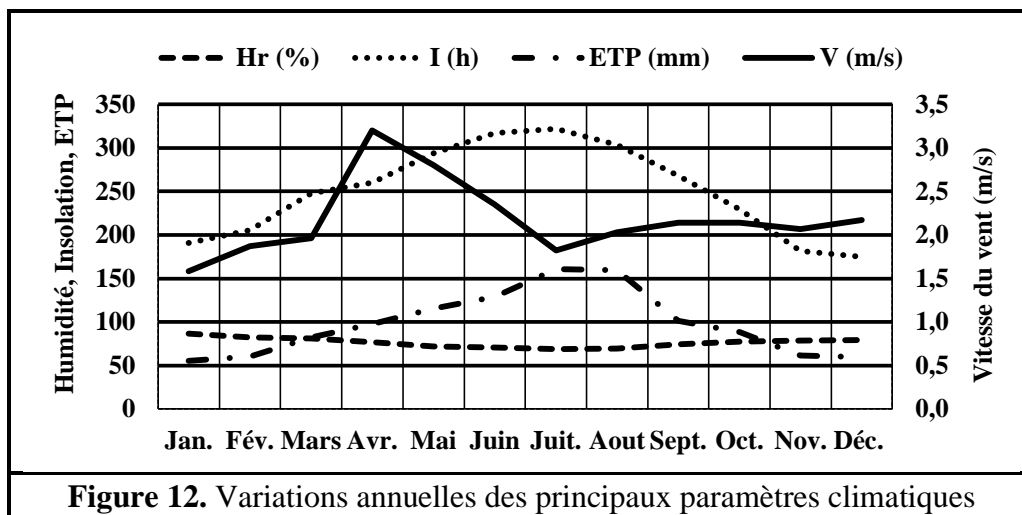


Figure 12. Variations annuelles des principaux paramètres climatiques

Selon Toutain (1977), l'évaporation revêt une importance particulière dans la région surtout en période des vents chauds comme le Sirocco.

Pour notre cas, ce facteur abiotique marque plus de conséquences sur les cultures, surtout durant les mois les plus ventés (avril et mai) (cf. fig. 12). C'est la période d'intense évapotranspiration. Du fait qu'il y ait moins de vent, l'humidité de l'air reste à un niveau plus élevé réduisant ainsi l'évapotranspiration.

Il y a une relation assez nette entre l'augmentation de l'insolation et la diminution de l'humidité. En présence de soleil, il est bien évident que l'air est réchauffé globalement avec plus ou moins de rayonnement, et donc une augmentation de température.

Mais quand il y a une augmentation de température sans diminution d'humidité, c'est souvent un vent chaud qui se lève sans arrivée de soleil.

Les arbres permettent également une moins forte évapotranspiration et donc une humidité de la terre plus importante (Benavides *et al.*, 2009).

### 3.8.3. Quotient pluviométrique et climagramme d'Emberger

L'étage bioclimatique est déterminé par le quotient pluviométrique d'Emberger qui est le plus utilisé dans la région méditerranéenne. Cet auteur fonde son indice sur les limites occupées par les différentes associations végétales.

Ce quotient est défini ainsi (Dgacta, 1995) :

$$Q_2 = \frac{1000 \times P}{\frac{(M - m)(M + m)}{2}} = \frac{2000 \times P}{M^2 - m^2}$$

**Q<sub>2</sub>**: Quotient pluviométrie d'Emberger.

**P** : Précipitations moyennes annuelles (mm).

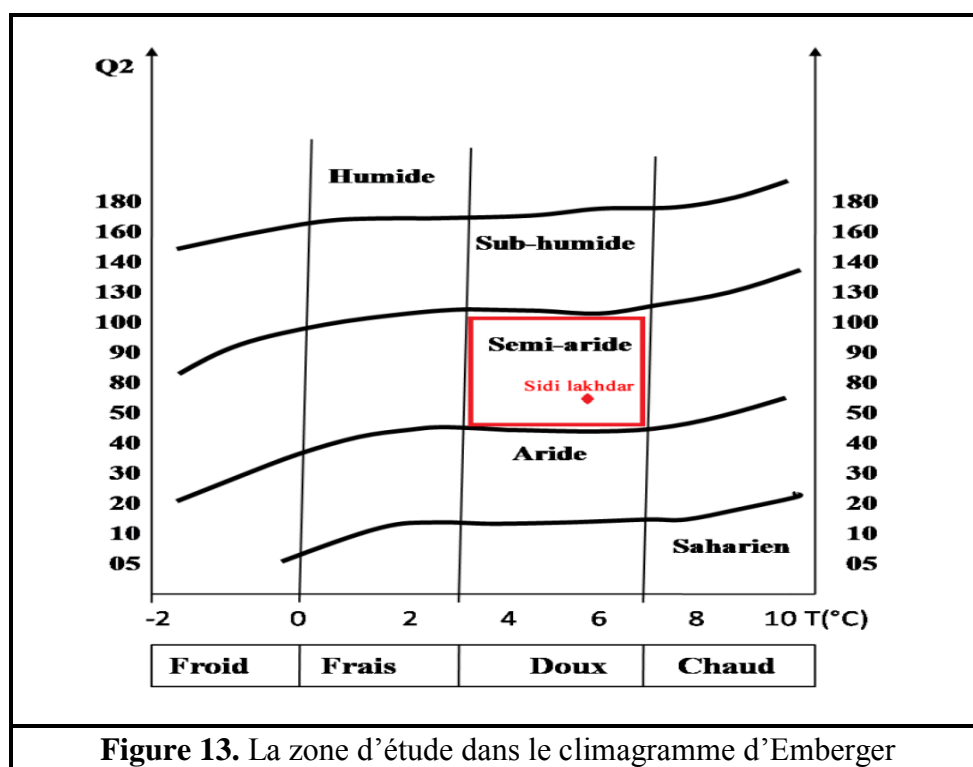
**M** : Températures moyennes des maxima du mois le plus chaud [T (°K) = T (°C+273,2)].

**m** : Températures moyennes des minima du mois le plus froid [T (°K) = T (°C+273,2)].

Tableau 06. Classification des étages bioclimatiques		
Etage bioclimatique	Indice d'Emberger	Pluviométrie (mm)
Saharien	$Q < 10$	$Pa < 100$
Aride	$10 < Q < 30$	$100 < Pa < 300$
<b>Semi-aride</b>	<b><math>30 &lt; Q &lt; 70</math></b>	<b><math>300 &lt; Pa &lt; 600</math></b>
Subhumide	$70 < Q < 110$	$600 < Pa < 800$
Humide	$110 < Q < 170$	$800 < Pa < 1200$
Hyper-humide	$Q > 170$	$Pa > 1200$

Source : Dgacta, 1995

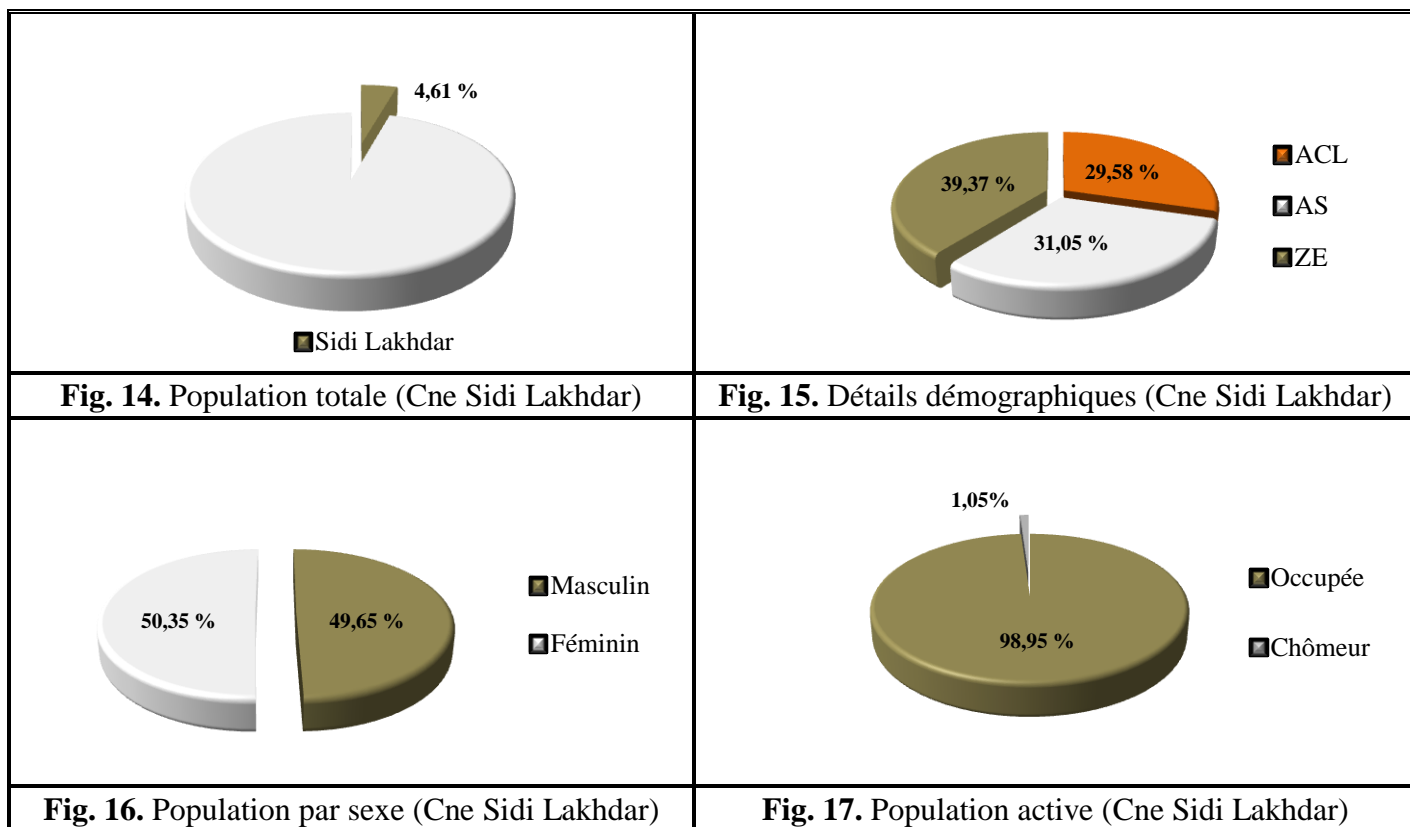
Cet indice de valeur 54,74 a permis de définir et d'inscrire la zone d'étude dans l'étage bioclimatique semi-aride (cf. fig. 13), avec une variante d'hiver doux. Donc, il s'avère que le climat devient favorable à l'apparition du phénomène d'érosion hydrique par le caractère agressif des régimes pluviométriques de ce type de climat.



#### 4. Approche sociologique

La région est essentiellement à vocation agricole et forestière d'une part en raison de la faiblesse des ressources minières et d'industries, d'autre part, parce que l'essentiel des revenus et du produit proviennent des activités agricoles.

En raison de l'indisponibilité des données sociologiques récentes et fiables de notre zone d'étude, on va se contenter des données de l'année 2011 fournies par les différents secteurs de la wilaya de Mostaganem.



La commune où notre zone d'étude est située, compte environ 36 000 habitants soit environ 4,61% de la population totale de la wilaya de Mostaganem (cf. fig. 14).

Nous retenons que, cette commune est représentative d'une zone semi-rurale. Mise à part les agglomérations chef-lieu (ACL), les deux tiers de la population se situent en zone épars (ZE) et en agglomération secondaire (AS) soit 70,42% (cf. fig. 15). Bien qu'elle illustre un meilleur niveau d'urbanisation (cf. annexe. 02, tab.02, p. 90), l'agriculture demeure encore une activité très importante de la population rurale.

La population par sexe est composée de plus de la moitié par le sexe féminin (cf. fig. 16), à l'inverse de la situation de la wilaya de Mostaganem (cf. annexe 02, tab. 03, p. 90).

La population active se définit comme l'ensemble des personnes en âge de travailler qui sont disponibles sur le marché du travail (cf. annexe 02, tab. 04, p. 90), qu'elles aient un emploi (population active occupée) ou qu'elles soient au chômage (population active inoccupée) à l'exclusion de celles ne cherchant pas d'emploi, comme les personnes au foyer, étudiants, personnes en incapacité de travailler, rentiers, etc. (cf. fig. 17).

Toutes ces informations sont certes intéressantes, mais restent tout de même partielles. Pour aller plus loin, il était souhaitable d'effectuer une enquête, sous la forme d'un questionnaire ouvert (cf. annexe 03, p. 91 & 92) qui nous a servi de support pour notre étude.

La méthodologie adoptée pour l'enquête était basée sur la discussion en plein terrain, auprès d'un échantillon de la population cible. Un nombre restreint d'exploitants agricoles de 34 a été enquêté, dont 13 sous la forme d'un diagnostic complet et observation de l'exploitation.

Compte tenu des objectifs assignés à l'enquête, les questions ont été formulées de manière à pouvoir charpenter le questionnaire autour de ses principaux axes dont le nombre a

été limité à trois afin de créer une certaine convergence des réponses vers l'objectif principal de l'enquête (cf. résultats d'enquête en annexe 03, tab. 01, tab. 02 & tab. 03, p. 93, 95 & 96).

- Données générales sur l'exploitation agricole.
- L'érosion hydrique et ses conséquences sur la dégradation des sols.
- L'arbre et sa place dans l'agriculture (Agroforesterie).

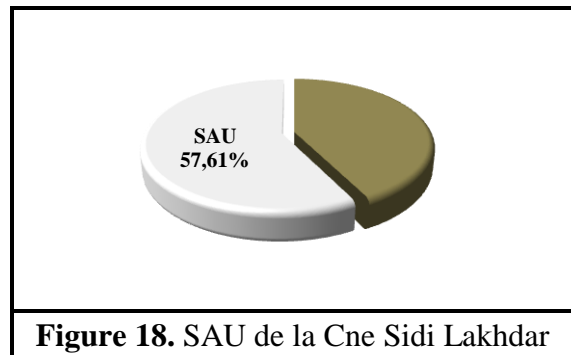
## 5. Occupation de sol

La formation végétale constitue l'élément important du milieu physique, d'ailleurs elle n'est que le reflet de la qualité du sol et bien sûr du climat (Benabdeli, 1996). Son développement dépend de la combinaison des facteurs physico-géographiques, climat, relief, lithologie et l'action humaine qui s'impose par la mise en culture des terres.

Non seulement, elle est le facteur déterminant de la rapidité du ruissellement superficiel, du taux d'évaporation et de la capacité de rétention du sol, mais aussi, elle joue le rôle de « régulateur » dans l'écoulement superficiel, la protection du sol contre l'érosion hydrique et le transport des matériaux solides. Pour cela, il est nécessaire de connaître les différents types de couverts végétaux et leur répartition dans la zone d'étude.

La région des piémonts du Dahra est à vocation agricole dont la superficie agricole utile de la zone de Sidi Lakhdar occupe 8 042 ha des 13 960 ha de la surface agricole totale soit 57.61%. On y retrouve généralement des espèces pérennes et des cultures saisonnières et annuelles.

A partir de la superficie de la zone d'étude qui est relativement petite (62ha), chaque classe d'occupation du sol a été visitée de façon systématique sur le terrain.



**Figure 18.** SAU de la Cne Sidi Lakhdar

Notre zone d'étude occupe les formations gréso-argileuses, les alluvions du quaternaire et les piémonts des reliefs montagneux où la culture annuelle occupe le moins de surface.

Avec les taux de valorisation des terres et surtout celles des montagnes, la population trouve un regain d'intérêt pour l'arboriculture de montagne qui est installée avec concentration sur les alentours des douars et les agglomérations de la commune de Sidi Lakhdar.

La majeure partie de la zone d'étude est couverte par une prédominance de systèmes de culture très originaux, trop souvent remplacés par des techniques dérivées de celles de l'agriculture conventionnelle. La viticulture et l'arboriculture fruitière (cf. annexe 02, tab. 05, p. 90) ont pris une grande extension sur les sols à texture grossière susceptibles d'emmagasiner l'eau que les racines des arbres peuvent aller chercher dans les couches profondes en période de déficit hydrique. Les plantes pérennes les plus cultivées sont la vigne, l'olivier, l'amandier et le figuier.

Paradoxalement, les sols argilo-limoneux à texture plus fine et ayant de ce fait une forte capacité de rétention pour l'eau sont plutôt voués aux cultures annuelles et saisonnières, qui viennent en une dernière position (céréalières et légumes secs) dont le système racinaire peut résister temporairement au déficit hydrique et possède un fort pouvoir absorbant.

Les principales contraintes des sols de la zone d'étude sont davantage d'ordre physique que d'ordre chimique, car elles sont avant tout liées au maintien d'une réserve d'eau utile dans le sol. Ceci est d'autant plus vrai que la variabilité annuelle des précipitations ainsi que l'insuffisance de la profondeur utile des sols qui réduisent la capacité de rétention des eaux conditionnent avant tout avec les autres facteurs, le succès ou l'échec d'une campagne agricole.









Étant donné qu'il n'existe pas jusqu'à présent un système d'irrigation dans la zone, la date de plantation des cultures en sec est généralement dictée par les saisons pluvieuses sur versants secs. Cette occupation du sol rend les versants très vulnérables à l'action érosive de la pluie et du ruissellement entraînant un phénomène de ravinement très important (El Garouani et al., 2003).

Certaines pratiques agroforestières traditionnelles sont déjà bien établies dans la zone d'étude. Ces méthodes se ramènent à des expériences paysannes autochtones dans la zone comme les cultures associées à être planter en intercalaires entre les arbres fruitiers. Par ordre d'importance, on distingue les légumineuses (petits pois, les fèves et les pois chiches), l'ail, l'oignon et la pomme de terre, en profitant de la protection assurée par les haies vives entourant certaines parcelles afin de réduire le ruissellement superficiel. Elles occupent les dépressions, mais assez fortement présentes sur les piémonts des versants. Ces cultures intercalaires dans les vignes et les vergers étaient pratiquées jadis, mais un certain nombre de préjugés avaient fait régresser cette pratique pour éviter la concurrence hydrique.

Les rendements obtenus sont très encourageants sans que l'on puisse observer une baisse de rendement de la culture fruitière qui ne développe son feuillage que tardivement.

L'horizon de surface qui présente une teneur en matières organiques plus importante s'épaissit d'une façon régulière de l'amont vers l'aval. Dans l'évolution de la couverture pédologique des versants montagnards méditerranéens, le décapage de l'horizon humifère est plus fréquent que son appauvrissement en particules fines. Le travail du sol participe activement à la formation des talus en bordure des champs. C'est ce qui explique aussi pourquoi les sols des vergers d'abricotiers plantés il y a de cela 30 ans ont perdu 15cm d'épaisseur par rapport au niveau initial (Canet, 2013). Les références sur l'agroforesterie en contexte viticole manquent encore pour pouvoir affirmer pleinement la pertinence d'une telle association. On ignore encore, par exemple, si les bénéfices de l'association arbre-vigne compensent tout ou partie de ses effets supposément indésirables (concurrence pour la ressource en eau et pour la lumière). Toutefois, les effets positifs de la présence de l'arbre observés en grandes cultures incitent à penser que l'on peut s'attendre à des effets similaires sur la vigne (Canet, 2013). Les paysans ont toujours fait pousser des arbres sur leurs terres, sans doute avec la conviction que cela pouvait avoir des effets bénéfiques sur les sols et sur les récoltes.

Ainsi, la strate arbustive vivace observée dans notre zone d'étude occupe surtout les sols dégradés, croûte calcaire, ravins et talweg, etc. dont les espèces les plus dominantes sont le pistachier lentisque (*Pistacia lentiscus*), le calycotome épineux (*Calicotome spinosa*), l'olivier sauvage (*Olea europaea*), et la lavande (*Lavandula officinalis*). Seuls ou en association, ils s'assurent une bonne protection du sol contre l'érosion hydrique et peuvent être exploités à d'autres fins très rémunératrices (cf. planche 01).

	
<p><b>Photo 01.</b> Haie vive : Association <i>Pistacia lentiscus</i>, <i>Lavandula officinalis</i>, <i>Calicotome spinosa</i>, <i>Oleo europaea</i> et herbacées</p>	<p><b>Photo 02.</b> Surface protégée par un <i>Pistacia lentiscus</i> par rapport à un arbre d'<i>Eucalyptus</i></p>
	
<p><b>Photo 03.</b> Couvert de <i>Lavandula officinalis</i></p>	<p><b>Photo 04.</b> Touffes de <i>Pistacia lentiscus</i> sur terre dégradée</p>
	
<p><b>Photo 05.</b> Développement du <i>Pistacia lentiscus</i> le long des talwegs</p>	<p><b>Photo 06.</b> Association végétale développée sur un versant rocheux</p>
	
<p><b>Photo 07.</b> Jeunes touffes de <i>Pistacia lentiscus</i> se développant sur un versant</p>	<p><b>Photo 08.</b> Combinaison de lutte mécanique et biologique contre l'érosion hydrique (Gabionnage et <i>Pistacia lentiscus</i>)</p>
<p><b>Planche 01.</b> Espèces utilisées pour freiner l'érosion hydrique sur les terres agricoles (Photos - A. Hamadi, 2015 &amp; 2016)</p>	

On peut trouver le lentisque sur les parcelles cultivées en association avec l'olivier comme haies vives usuellement disposées sur les courbes de niveaux en limites de parcelle pour assurer la séparation des propriétés et/ou la protection contre l'intrusion, comme on peut l'observer sous forme de touffes surtout sur les glacis alluviaux secs, au pied des versants.

Comme un outil potentiel d'aménagement du terroir, les haies vives peuvent assurer une protection du milieu contre l'érosion, il serait souhaitable alors d'utiliser des espèces ayant une bonne longévité comme le *Pistacia lentiscus* pour rentabiliser l'investissement important que constitue l'installation d'une haie vive.

Ça sera une excellente alternative pour les terres entièrement dénudées et non cultivées existant un peu partout dans la zone des marnes (cf. planche 01).













## **6. Erosion hydrique**

La nature des roches étant marno-calcaire s'avère très instable dans notre zone d'étude. Sous l'effet de l'érosion hydrique, le plus souvent d'origine anthropique, les sols meubles sont érodés et des couches plus dures et compactes apparaissent en surface (Prat et *al.*, 2012).

Les informations dérivées des enquêtes et des visites de terrain ont permis d'identifier les structures érosives rencontrées dans la zone d'étude (cf. planche 02).

Les paysans, conscients de la gravité de l'érosion hydrique, ont développé un certain nombre de techniques pour tirer parti de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols, mais qui restent toujours limitées pour contrôler ce phénomène.

Si l'érosion est importante à cause de la fragilité du milieu physique et de l'agressivité climatique, le système de culture est le facteur le plus important où l'homme peut intervenir pour protéger et améliorer la productivité de la ressource en sol (Morsli et *al.*, 2004).

	
<b>Photo 01.</b> Erosion en nappe (Cailloux dénudés)	<b>Photo 02.</b> Erosion en nappe (Croûte de battance avec fente de retrait)
	
<b>Photo 03.</b> Trace d'outil (Tassement)	<b>Photo 04.</b> Rigoles avec dépôts d'éléments grossiers (sable)
	
<b>Photo 05.</b> Ruissellement sur traces des pneus	<b>Photo 06.</b> Talweg avec début des Badlands
	
<b>Photo 07.</b> Talweg avec début des Badlands (exposition Sud)	<b>Photo 08.</b> Erosion même en présence de l'arbre
	
<b>Photo 09.</b> Erosion sur sol nu travaillé même en présence de l'arbre	<b>Photo 10.</b> Erosion diffuse malgré un faible couvert végétal
	
<b>Photo 11.</b> Ravine développée en plein champ	<b>Photo 12.</b> Ruissellement sur traces des piétinements
<b>Planche 02.</b> Les traces d'érosion au niveau des terres agricoles de la zone d'étude (Photos - A. Hamadi, 2015 & 2016)	

## Conclusion partielle

La zone où notre étude est menée, présente une sensibilité à l'érosion hydrique certaine surtout quand le couvert végétal n'est pas assez présent pour jouer son rôle d'écran protecteur des sols pendant la période des précipitations. Aussi, les sols présentent fréquemment à faible profondeur un horizon riche en calcaire souvent durci et feuilleté. Ces croûtes calcaires constituent un facteur très défavorable à la végétation, car elles empêchent l'infiltration des eaux et la pénétration des racines en profondeur (Emberger et Lemée, 1962 ; El Hai, 1968). Donc Le paysage est fortement modelé par l'érosion sous toutes ses formes. On y voit de grandes surfaces éclaircies par les effets de l'érosion en nappe sélective et dont les conséquences sur les rendements sont importantes.

Les modes de gestion agricoles appliqués dans la zone n'en suivent pas l'évolution bioclimatique du milieu naturel, ce qui accentue les processus de dégradation des terres. Avec les systèmes de gestion basés sur le labour des terres par retournement, le couvert végétal est encore plus réduit pendant le début de la saison des pluies en modifiant la structure, la perméabilité et la résistance des sols à l'érosivité des pluies ainsi que la biomasse du sol par dilution des matières organiques. Par contre, l'utilisation de l'arbre est une alternative pour se rapprocher du milieu naturel où le sol peut être protégé de l'agressivité des pluies.

De ce fait, la couverture du sol a pour effet de réduire le ruissellement qui peut être raisonnée par l'exploitant sur les parcelles à risques contre l'érosion hydrique. Le maintien de cette couverture végétale est une condition *sine qua non* de la durabilité des systèmes de culture.

La gestion agroforestière dans la zone d'étude où les risques d'érosion sont les plus intenses aura d'autant plus d'efficacité pourrait assurer un équilibre durable entre la conservation de la fertilité et la productivité du sol.

# *Matériels et méthodes*

Approche expérimentale

## 1. Stations expérimentales

Compte tenu des facteurs limitant déjà évoqués sur la zone d'étude, le principe sera d'étudier sur des stations expérimentales (parcelle agricole) l'impact des différents systèmes de culture pratiqués actuellement sur le phénomène de l'érosion hydrique. Ceci, à partir de comparaisons entre certains paramètres tant quantitatifs que qualitatifs des différents systèmes de culture pouvant caractériser l'efficacité des uns par rapport aux autres dans la lutte contre l'érosion hydrique.

Le choix a été fait sur la base d'un certain nombre de critères dont les plus importants sont :

- La station doit être située sur une pente même faible,
- La situation dans un secteur très sensible au phénomène d'érosion, avec apparition de quelques symptômes (griffes, rigoles, ravines,...),
- Le système de culture installé dans la station doit être des cultures associées (arbre-culture) en premier lieu, ou bien des cultures arboricoles (arbre), ou des cultures annuelles (monoculture ou jachère herbacée),
- Le sol de la station doit appartenir à l'un des types de sol les plus représentés dans la zone d'étude c'est à dire sablo-limoneux ou marneux.

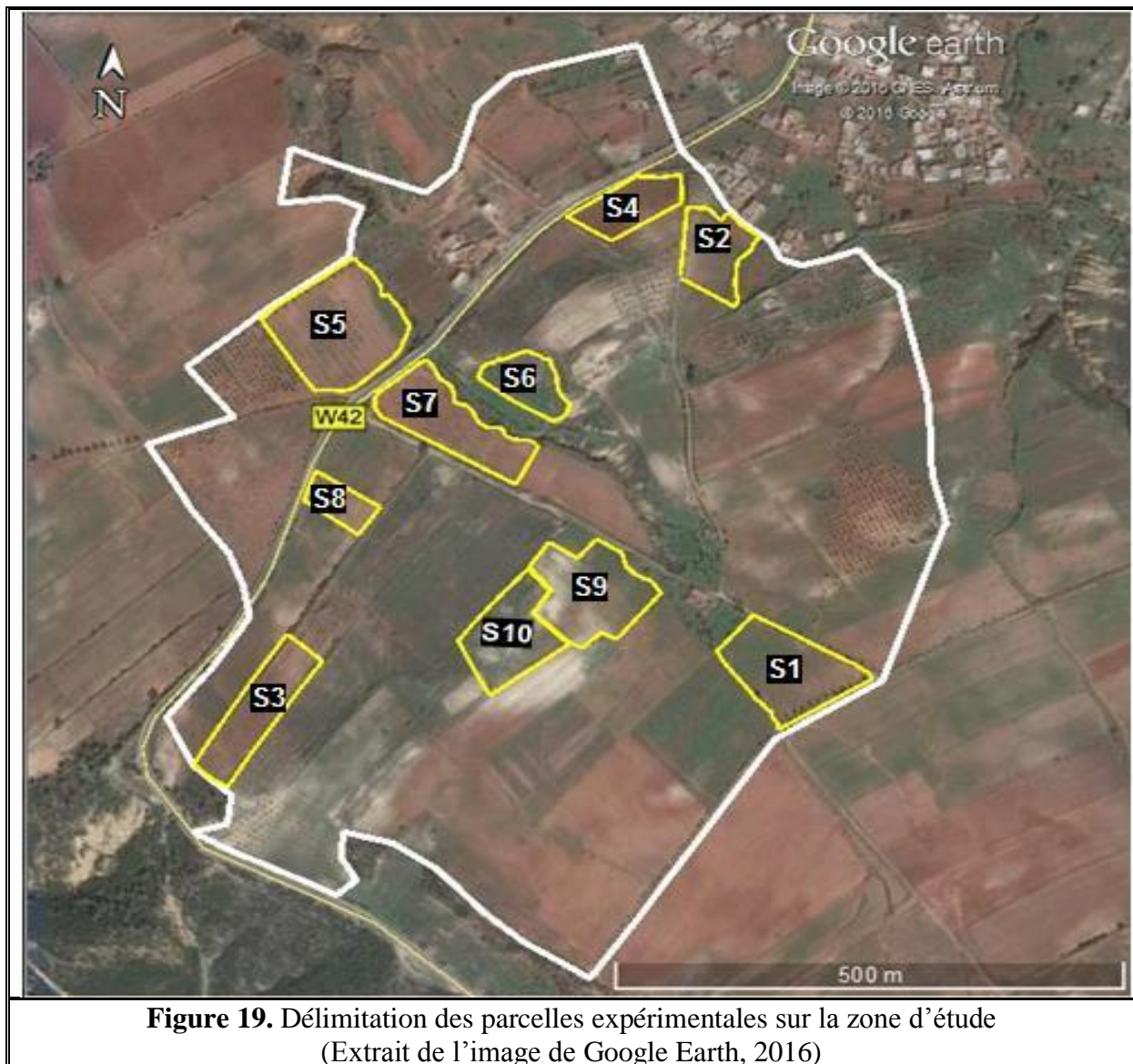
### 1.1. Caractérisation des stations expérimentales

Parmi les stations visitées lors de notre enquête, dix stations ont été choisies différentes par la texture, la pente et l'exposition (cf. tabl. 07), afin de déterminer l'impact des différents systèmes de culture sur les propriétés physico-chimiques du sol.

<b>Tableau 07. Caractérisation des stations expérimentales</b>					
<b>Station</b>	<b>Latitude Nord</b>	<b>Longitude Est</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Exposition</b>	<b>Longueur de pente (m)</b>
<b>01</b>	36°08'41''	00°25'56''	01,00	Sud-Est	150
<b>02</b>	36°08'57''	00°25'52''	00,68	Nord-Est	70
<b>03</b>	36°08'38''	00°25'33''	00,91	Sud-Ouest	50
<b>04</b>	36°08'59''	00°25'48''	00,63	Nord-Est	66
<b>05</b>	36°08'54''	00°25'35''	01,74	Nord-Ouest	130
<b>06</b>	36°08'52''	00°25'44''	00,50	Ouest	60
<b>07</b>	36°08'50''	00°25'41''	01,13	Ouest	50
<b>08</b>	36°08'47''	00°25'36''	00,32	Ouest	90
<b>09</b>	36°08'44''	00°25'47''	01,00	Est	110
<b>10</b>	36°08'42''	00°25'44''	00,73	Ouest	66

## 1.2. Délimitation des stations expérimentales









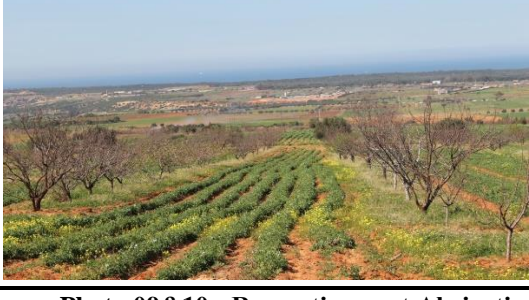
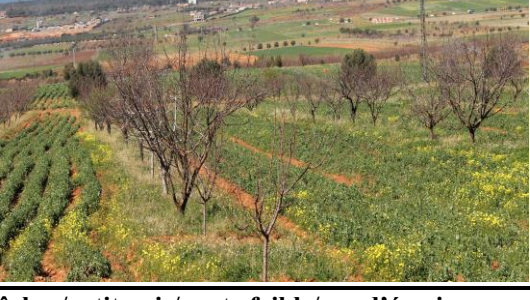
La figure 19 présente *les dix parcelles* expérimentales délimitées sur la zone d'étude en fonction des critères mentionnés ci-dessus (cf. tab. 07).













**Figure 19.** Délimitation des parcelles expérimentales sur la zone d'étude  
(Extrait de l'image de Google Earth, 2016)

Ces parcelles sont gérées d'une façon variable selon les caractéristiques de chacune d'elle notamment la pente, le type du sol, l'humidité du sol, le mode de faire valoir et l'accessibilité à la parcelle.

Les photos prises sur terrain illustrant les systèmes installés dans les parcelles expérimentales sont présentées dans les planches 03 et 04.

<b>Systèmes agroforestiers (SAF)</b>	<b>Station 01</b>			
	<b>Photo 01&amp;02 : Vigne/figuier/fève/petit pois/brise-vent/pente faible/Sol travaillé/pas d'érosion</b>			
	<b>Station 02</b>			
	<b>Photo 03&amp;04 : Pêcher/abricotier/pois chiche/petit pois/pente moyenne/pas d'érosion</b>			
	<b>Station 03</b>			
<b>Photo 05&amp;06 : Vigne/figuier/haies-oliviers/pente moyenne/sol labouré/pas ou peu d'érosion</b>				
<b>Station 04</b>				
<b>Photo 07&amp;08 : Figuier/fèves/petit pois/clôture oliviers/pente faible/pas d'érosion</b>				
<b>Station 05</b>				
<b>Photo 09&amp;10 : Respectivement Abricotier/Pêcher/petit pois/pente faible/pas d'érosion</b>				
<b>Planche 03. Systèmes agroforestiers (SAF) (Photos - A. Hamadi, 2015 &amp; 2016)</b>				

Systèmes Arboricoles (SA)	Station 06			
	<b>Photo 01&amp;02 : Olivier jeune/densité faible/pente/Sol travaillé/Traces d'érosion</b>			
	Station 07			
<b>Photo 03&amp;04 : Abricotier adulte/Forte densité/Sol travaillé/Traces d'érosion</b>				
Station 08				
<b>Photo 05&amp;06 : Pêcher jeune plantation/non travaillée/Pas de traces d'érosion</b>				
Cul. annuelles (monoculture & Jachère herbacée) (CA)	Station 9			
	<b>Photo 07&amp;08 : Parcelle emblavée/Semi après labour/pente moyenne/ Traces d'érosion</b>			
Station 10				
<b>Photo 09&amp;10 : Jachère herbacée/couverture végétale/pas d'érosion</b>				
<b>Planche 04. Systèmes de culture (arboricoles &amp; cultures annuelles)</b> (Photos - A. Hamadi, 2015 & 2016)				

## 2. Profil cultural

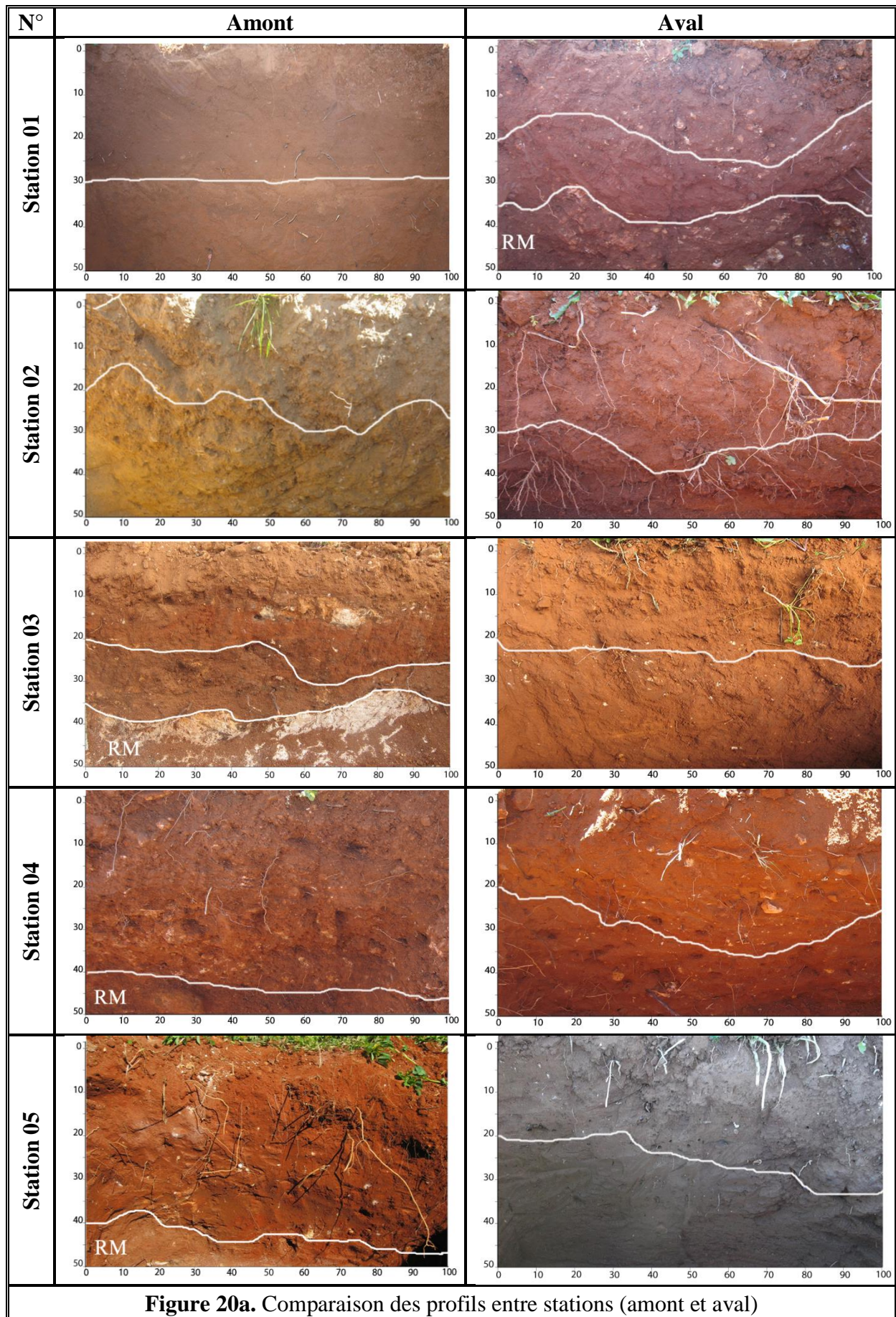
A travers ce véritable outil de travail (Gautronneau et Manichon, 1987), les problèmes agronomiques particuliers (dégradations des sols, tassements, problèmes nutritionnels...) peuvent être mieux expliqués par l'observation de différents horizons du sol. Dans tous les cas, la réalisation et l'interprétation d'un profil cultural demandent, outre de bonnes connaissances en pédologie et en agronomie et une expérience certaine afin d'en tirer le maximum d'enseignements (Germain *et al.*, 1999). Limité par le temps et les moyens, on a réalisé deux profils par station (cf. tab. 08) : l'un en amont ( $P_{am}$ ) et l'autre en aval ( $P_{av}$ ) avec respectivement 100, 50 et 50cm pour la longueur, la largeur et la profondeur.

Tableau 08. Caractérisation des profils culturaux						
Station	Profil	Date	Coordonnées géographiques			Occupation du sol
			Latitude Nord	Longitude Est	Altitude (m)	
S1	$P_{am}$	11/03/2015	36°08'40.85"	0°25'58.46"	257	Olivier, Figuier, Arbres à noyaux (Abricotier et Pêcher), Hais(Cyprès), Vigne, Légumineuse (Fève et Petit pois)
	$P_{av}$	11/03/2015	36°08'42.20"	0°25'53.56"	252	
S2	$P_{am}$	11/03/2015	36°08'57.29"	0°25'51.36"	221	Abricotier, Amandier, Pois chiche, Petit pois, oignon, Pomme de terre
	$P_{av}$	11/03/2015	36°08'57.44"	0°25'53.62"	218	
S3	$P_{am}$	16/03/2015	36°08'38.15"	0°25'34.14"	245	Olivier, Figuier, Vigne, Hais (Lentisque)
	$P_{av}$	16/03/2015	36°08'38.78"	0°25'36.88"	239	
S4	$P_{am}$	17/03/2015	36°08'59.25"	0°25'49.85"	212	Olivier, Figuier, Légumineuse (Fève et Petit pois)
	$P_{av}$	17/03/2015	36°08'00.40"	0°25'48.13"	205	
S5	$P_{am}$	17/03/2015	36°08'53.18"	0°25'35.09"	205	Arbres à noyaux (Abricotier et Pêcher), Petit pois
	$P_{av}$	17/03/2015	36°08'54.57"	0°25'37.76"	201	
S6	$P_{am}$	07/03/2015	36°08'52.67"	0°25'45.65"	226	Olivier (jeune plantation)
	$P_{av}$	09/03/2015	36°08'51.57"	0°25'44.51"	223	
S7	$P_{am}$	09/03/2015	36°08'49.15"	0°25'43.56"	226	Abricotier
	$P_{av}$	14/03/2015	36°08'49.81"	0°25'44.16"	225	
08	$P_{am}$	14/03/2015	36°08'46.49"	0°25'37.62"	225	Pêcher (jeun plantation)
	$P_{av}$	14/03/2015	36°08'47.88"	0°25'37.47"	216	
S9	$P_{am}$	28/04/2015	36°08'43.60 "	0°25'46.81"	253	Blé dur
	$P_{av}$	02/05/2015	36°08'45.72"	0°25'48.74"	243	
S10	$P_{am}$	29/04/2015	36°08'41.64"	0°25'45.00"	263	Jachère herbacée
	$P_{av}$	29/04/2015	36°08'42.79"	0°25'43.70"	256	

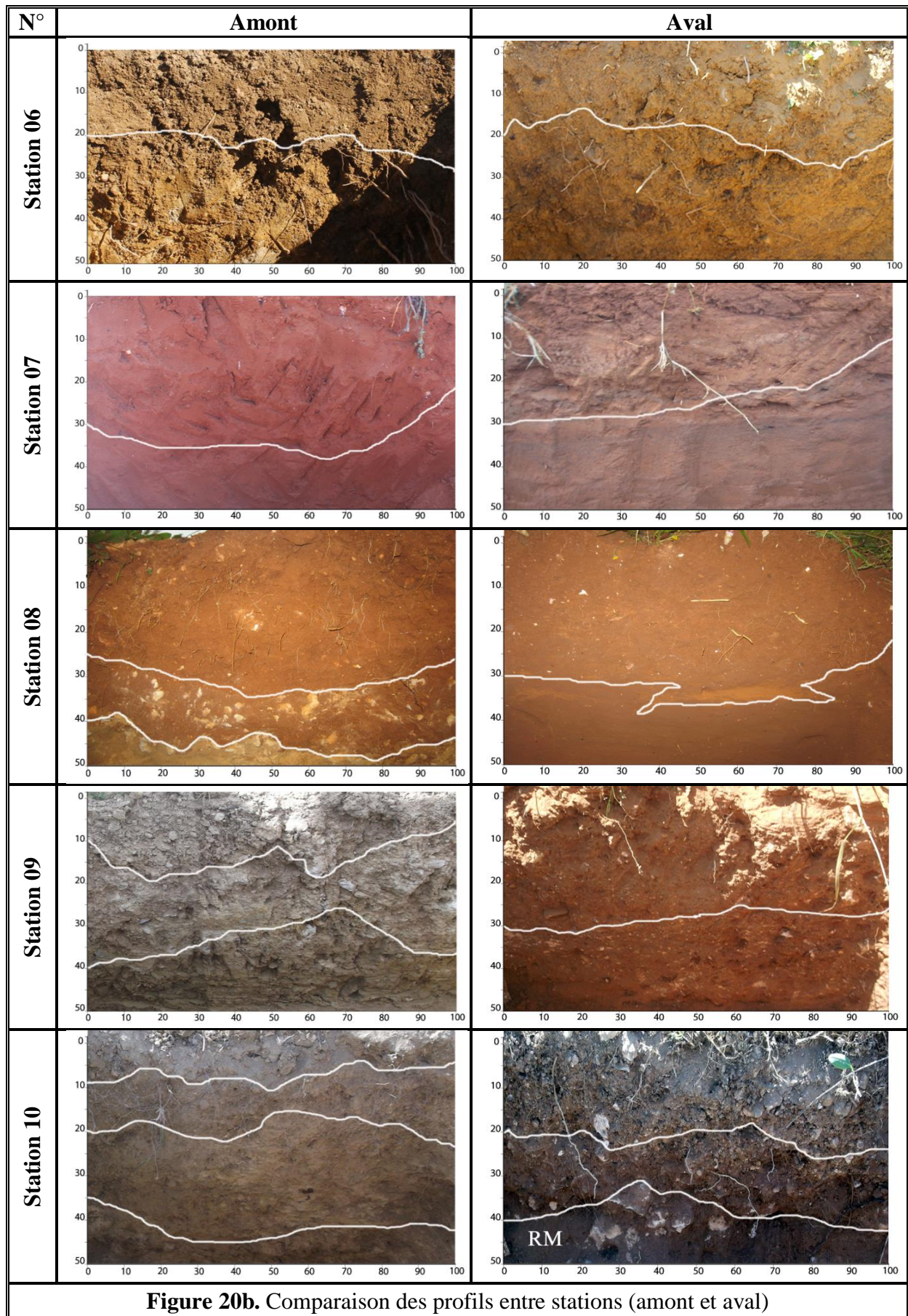
### 2.1. Observation du profil cultural

L'observation physique du profil cultural est une étape essentielle. En allant voir un peu au-dessous de l'horizon habituellement travaillé, cette approche peut remettre en cause certaines pratiques.

L'identification des différents horizons sur le terrain se fait en tenant compte de plusieurs critères (cf. annexe 04, tab. 01, p. 97), où la couleur des sols a été retenue comme étant le critère de différenciation le plus simple et le plus pertinent compte tenu des contraintes (cf. fig. 20a, fig. 20b). Ce critère a été aussi utilisé lors du prélèvement des échantillons de sol.



**Figure 20a.** Comparaison des profils entre stations (amont et aval)



## 2.2. Description morphologique des horizons

À l'aide des différents guides descriptifs du sol réalisés par Delaunoy (2006), Delaunoy et *al* (2008) et Ardouin (2014), les éléments constitutifs et les caractères distinctifs des horizons mises en évidence lors de l'observation des profils sont présentés dans un tableau descriptif (cf. annexe 04, tab. 02, p. 98)

Ces descriptions et mesures effectuées ont pour but de rendre la méthode d'observation aussi objective que possible et de tirer des conclusions suffisamment sûres pour permettre de conseiller l'agriculteur sur ses pratiques culturales.

## 3. Analyses physico-chimiques du sol

Après avoir identifié sur le terrain les différents horizons du sol, des prélèvements d'échantillons de sol ont eu lieu au niveau de chaque horizon. L'échantillonnage du sol revêt une grande importance pour les différentes analyses. Les échantillons d'environ 1kg de sol prélevés sont mis dans des sachets en plastique étanches et étiquetés avec soin et ramenés au laboratoire. Séchés à l'air, tamisés à 2mm et conservés dans des sacs en polyéthylène étiquetés, ils ont fait l'objet d'analyses physico-chimiques réalisées sur la partie dite terre fine < 2 mm.

Les analyses de sol ont essentiellement porté sur les sous-facteurs conditionnant l'érodabilité des sols : sa texture (granulométrie), sa structure, sa perméabilité ainsi que son contenu en matière organique. En complément à ces analyses, les paramètres : pH, calcaire total et actif, l'azote et la conductivité électrique sont également importants à titre d'indicateur de sol.

### 3.1. Granulométrie et texture

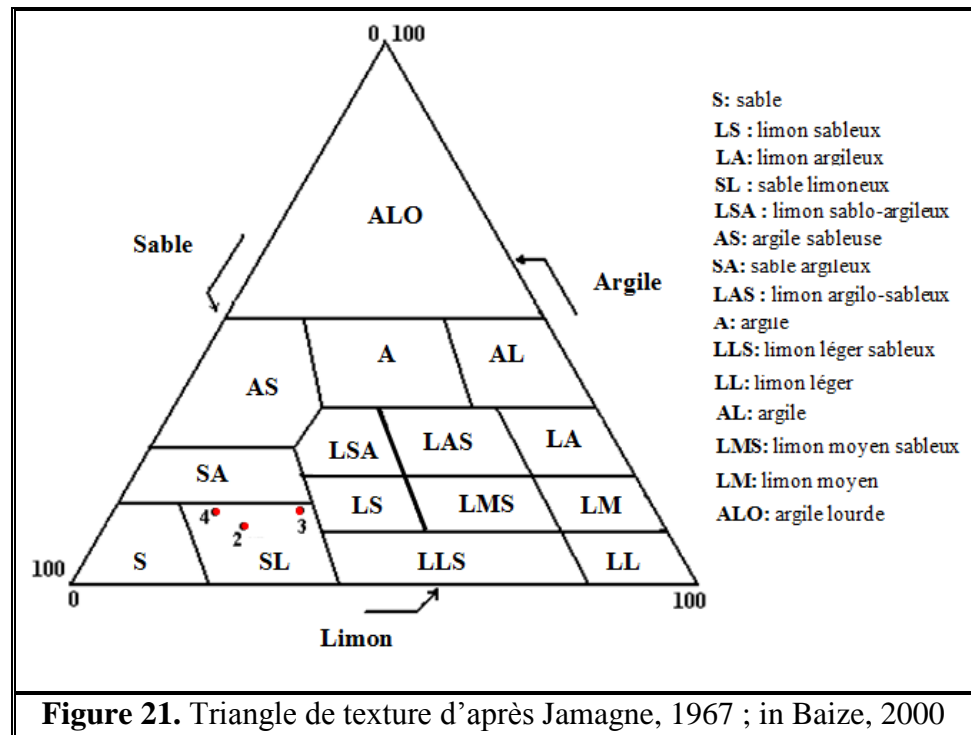
La connaissance des matériaux constitutifs d'un sol nécessite leur séparation en fonction de leur taille, c'est le but de l'analyse granulométrique. Après l'élimination de la matière organique et le traitement de la terre fine par un réactif dispersant les agrégats (Schvartz et *al.*, 2005), on procède après un temps de sédimentation variable avec la température au fractionnement des argiles et des limons à l'aide de la pipette de Robinson : les sables grossiers sont obtenus par tamisage au tamis de 0,2mm. Ces méthodes de dispersion et de fractionnement sont celles de la méthode internationale de Robinson.

L'analyse granulométrique (ou physique) détermine la répartition des constituants élémentaires de sol dans les classes granulométriques choisies (cf. tab. 09).

<b>Tableau 09. Système de classification des classes texturales</b>						
<b>Terre fine</b>					<b>Eléments grossiers</b>	
< 2 $\mu$	2 $\mu$ – 20 $\mu$	20 $\mu$ – 50 $\mu$	50 $\mu$ -200 $\mu$	200 $\mu$ – 2 mm	2 mm -2 cm	> 2 cm
argiles	limons fins	limons	sables fins	sables grossiers	graviers	cailloux

Source : Pasquier, 2009

L'agronome a défini la notion de texture qui correspond au comportement du sol tel qu'il se manifeste au champ. Ce comportement est fortement dépendant de la taille des constituants du sol (Schvartz et *al.*, 2005). Ainsi, les proportions respectives de sables, limons et argiles permettent notamment une classification conventionnelle des sols à l'aide d'un triangle des textures (cf. fig. 21) comme celui défini par Jamagne (1967).



**Figure 21.** Triangle de texture d'après Jamagne, 1967 ; in Baize, 2000

Des textures avec trop peu d'argiles ont une faible cohésion et donc une faible stabilité structurale. Les sols les plus sensibles sont les sols riches en limons et/ou sables fins. Comme il a été décrit ci-dessus, les limons ont une faible cohésion et sont des particules très fines. Ils sont donc facilement détachés de la matrice du sol et facilement transportés par le ruissellement puisqu'ils sont petits. Les sables fins ont une cohésion encore plus faible. Les sables grossiers ont une très faible cohésion, mais parce que ce sont des sédiments plus gros que les limons et sables fins, ils sont moins facilement transportés par les eaux de ruissellement. Une fourchette très approximative pour une teneur en argile idéale serait entre environ 15% et 30-40%. En-dessous de 15%, la stabilité structurale devient relativement faible et le sol facilement érodé ; au-delà d'environ 40%, le sol a tendance à être lourd, avec une forte rétention de l'eau et une structure tendant à être massive (Fox et *al.*, 2008).

### 3.2. Indice de battance

En sol cultivé, le phénomène de battance a des conséquences néfastes vis-à-vis de la germination-levée et de la formation du ruissellement. Les sols sont d'autant plus sensibles au phénomène de battance qu'ils présentent un horizon de surface à texture caractérisée par l'abondance relative des limons et des sables et une pauvreté relative en argiles, une structure à cohérence faible, une faible stabilité structurale et un faible taux de matières organiques (Pasquier, 2009).

La connaissance de la granulométrie du sol permet de calculer l'indice de battance d'un sol, où elle peut être obtenue par l'indice de battance de Boiffin (1984).

$$Ib = [(1,5 LF + 0,75 LG) / (A + 10 MO)] - C (pHeau - 7)$$

Si pHeau > 7, la valeur de C = 0,2.

Si pHeau < 7, la valeur de C = 0.

LF : teneur en limons fins (%)

LG : teneur en limons grossiers (%)

A : teneur en argile (%)

MO : teneur en matière organique (%)

Cet indice permet de classer les comportements des sols (cf. tab. 10) dans une région donnée (caractérisée par le climat,...). Ainsi face à de fortes précipitations, les sols sont plus ou moins battants.

Valeur de l'indice de battance	Réaction du sol
IB > 2	sol très battant
1,8 < IB < 2	sol battant
1,6 < IB < 1,8	sol assez battant
1,4 < IB < 1,6	sol peu battant
IB < 1,4	sol non battant

Source : Pasquier, 2009

Les sols limoneux ont une grande fragilité constitutive, du fait de leur texture, et les matières organiques y sont le principal agent agrégeant (Le Bissonnais et Arrouays, 1997; Tessier et *al.*, 1998). De plus, les pratiques culturales qui affinent les agrégats du sol et laissent le sol nu exposé à la pluie, le rendent particulièrement sensible à la battance.

Du fait de cet encroûtement, l'infiltrabilité des sols devient très faible et se développent alors des problèmes de ruissellement et d'érosion.

### 3.3. Stabilité de la structure

La structure du sol n'est pas nécessairement permanente, elle peut se modifier en fonction des circonstances (pluie, vent, tassement par les engins et le piétinement par les animaux...). Ainsi la stabilité de la structure représente la capacité d'un sol à conserver l'arrangement de sa phase solide et de sa porosité quand il est exposé à des stress (Kay, 1998).

Donc c'est une caractéristique importante de la structure du sol. Elle est le plus souvent évaluée à l'échelle des agrégats. La stabilité structurale est une des composantes de la résistance des sols à la battance et à l'érosion. Elle est bien corrélée à la granulométrie des croûtes de battance, à la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol et à la quantité de ruissellement sous pluie simulée (Amezketta et *al.*, 1996 ; De Noni et *al.*, 2002 ; Le Bissonnais et *al.*, 2002b ; Leguédais et Le Bissonnais, 2004).

Quel que soit la méthode utilisée, l'estimation de la stabilité structurale reste un indicateur plus qu'une mesure *stricto sensu* car la stabilité structurale n'est pas sanctionnée par une grandeur physique précise, mais par des mesures de la masse résultant d'une contrainte évaluée indirectement. Cette contrainte n'est pas non plus définie par une énergie précise.

Parmi les nombreuses méthodes existant pour mesurer la stabilité des agrégats il y a la méthode de Le Bissonnais (1996). Cette méthode connaît en effet un développement certain en France, où la méthode de référence Hénin et *al* (1958) a été abandonnée pour diverses raisons (Chenu, 2009). Et vu la difficulté de réaliser cette méthode au niveau de laboratoire, la méthode de Hénin et *al* (1958) reste le seul moyen de proposer des grilles de classification des sols selon leur stabilité structurale.

Dans la méthode de Hénin et *al* (1958), l'expression des résultats se fait sous forme d'indice d'instabilité (Is). Cet indice fait intervenir la moyenne arithmétique des pourcentages des fractions de taille supérieure à 0,2mm après les trois tests constituant la méthode : (1) test d'immersion à l'eau d'agrégats non traités (Aga), (2) test d'immersion dans l'eau d'agrégats prétraités par de l'éthanol (Age) et (3) test d'immersion dans l'eau d'agrégats prétraités par du benzène (Agb); ainsi que le pourcentage de la plus grande fraction fine (< 0,02mm) mesurée sur les trois tests et le pourcentage de la fraction de sable grossier (< 0,2mm).

<p><b>Particules &lt; 0,02 mm obtenues après l'analyse d'agrégats</b></p> $Is = \frac{Ag_b + Ag_a + Ag_e}{3} - 0,9 \text{ Sable grossier}$
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>Tableau 11. Classes des stabilités structurales d'après Calvet, 2003</b>		
Structure	Log [10 Is]	Principales conséquences
Très stable	< 1,0	- Structure durable
Stable	1,0 – 1,3	- Battance peu probable ou peu importante - Sensibilité à l'érosion faible
Stabilité médiocre	1,3 – 1,7	- Battance fréquente - Erosion en rigole quand la pente est forte
Instable	1,7 – 2,0	- Battance et érosion fréquentes
Très instable	> 2	- Battance importante - Erosion sur pentes faibles

### 3.4. Perméabilité

La perméabilité du sol ou conductivité hydraulique est la vitesse d'infiltration, où la quantité maximum d'eau qui s'infiltré dans le sol au temps « t ». elle varie dans le temps en fonction de l'état de saturation du sol (Le Bissonnais et *al.*, 2002a). Elle dépend de la texture mais surtout de la structure du sol, plus la quantité d'éléments ronds et de même taille est importante et plus le sol n'est perméable. En revanche, si le sol est constitué d'éléments de tailles différentes, imbriqués les uns dans les autres, la porosité est faible, et le sol peu perméable (Pasquier, 2009).

Plus la très grande diversité de test qui est aujourd'hui utilisée dans la littérature, en l'absence de protocole normalisé (Chenu, 2009), une présence de difficulté de réaliser des analyses de conductivité hydraulique du sol sur le terrain. De ce fait, Ferrer-Julià *et al* (2004) ont proposé une des fonctions de pédotransfert pour une grande variété de conditions climatiques et physiographiques, avec une prédominance des sols développés dans des conditions semi-arides, comme celles qui se produisent en Espagne. Les résultats obtenus, en dépit de la variété des méthodes de mesure et des variables utilisées, montrent qu'il est

possible d'estimer les valeurs de conductivité hydraulique à saturation des sols à partir de données de la teneur en sable. Ils ont utilisé la base de données développée par Trueba *et al* (2000) qui contient 2178 profils collectés à travers l'Espagne et la péninsule ibérique, ce qui représente 7011 horizons.

$$K_s = 2,556 \cdot 10^{-7} \exp(0,0491(S))$$

S : est le pourcentage du sable du sol.

Six classes de perméabilité sont définies et le code de perméabilité peut être déduit de la classification texturale du sol (Cook *et al.*, 1985) comme montré dans le tableau 12 .

Classe texturale	Classe de perméabilité	Conductivité hydraulique (cm/s)	Code de perméabilité (P)
Graviers, sable grossiers	rapide	$4,4 \cdot 10^{-3}$	1
Sable limoneux et limons sableux	Modérée à rapide	$(1,4 \text{ à } 4,4) \cdot 10^{-3}$	2
Limons sableux fins, limons	Modéré	$(0,4 \text{ à } 1,4) \cdot 10^{-3}$	3
Limons, limons argileux	Lente à modérée	$(0,14 \text{ à } 0,4) \cdot 10^{-3}$	4
Limons argileux, argiles	lente	$(4 \text{ à } 14) \cdot 10^{-5}$	5
Serrée, compactée	Très lente	$< 4 \cdot 10^{-5}$	6

Source : Chehlafi *et al.*, 2014

### 3.5. Indice d'érodibilité

L'érodibilité du sol est une propriété assez complexe, définie comme étant la facilité qu'a un sol à se détacher par l'impact des eaux de pluies, par le ruissellement, ou bien par les deux (Chehlafi *et al.*, 2014). Le facteur d'érodibilité K est défini comme étant la quantité de perte en sol causée par les eaux de pluie et mesurée sur une parcelle de longueur 22,13m et de pente de 9% (Wischmeier et Smith, 1978).

Le meilleur moyen pour la détermination du facteur K est la mesure directe sur des parcelles de ruissellement naturel. L'inconvénient majeur de cette méthode c'est qu'elle requiert des données sur une longue période (20 ans et plus). Une méthode alternative se présente qui est l'utilisation des pluies simulées mais qui demeure imprécise (Römken, 1985).

Le facteur K est directement lié aux paramètres physiques, chimiques et minéralogiques caractérisant le sol. Le mécanisme de l'érosion réagit différemment avec chacun de ces paramètres (Chehlafi *et al.*, 2014).

La méthode la plus utilisée, pour la détermination du facteur K d'un sol à partir des propriétés de ce dernier, est le nomogramme sol-érodibilité (Wischmeier *et al.*, 1971). Une approximation algébrique est utilisée lorsque la fraction limoneuse n'excède pas 70% (Wischmeier et Smith, 1978), où le calcul de la valeur K est basé sur les cinq paramètres, caractérisés couramment à l'aide de descriptions standard des profils culturaux et d'analyses de laboratoire :

- le pourcentage de limon et de sable très fin (de 0,05 à 0,10 mm),
- le pourcentage de sable supérieur à 0,10 mm,
- la teneur en matières organiques,
- la structure,

- la perméabilité.

On peut calculer la valeur K d'un sol en utilisant la formule suivante (Wischmeier et Smith, 1978) :

$$100K = 2,1(10^{-4})(12 - a) M^{1,4} + 3,25(b - 2) + 2,5(c - 3)$$

Où :

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

a : pourcentage de matières organiques

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

c : classe de perméabilité des profils

La détermination de la classe de structure du sol se base sur les agrégats des particules primaires du sol qui sont séparés des agrégats adjacents par des surfaces de rupture. Les classes nomographiques de Wischmeier et Smith (1978) sont basées sur la taille de ces agrégats (cf. tabl. 13).

Taille (mm)	Type de structure	Code
-	Granulaire très fine ou sans structure	1
< 2	Granulaire fine	2
2-5	Granulaire moyenne	3
5-10	Granulaire grossière	3
> 10	Polyédrique, lamellaire, massive, prismatique	4

Source : Chehlafi et *al.*, 2014

D'après Bolline et Rousseau (1978) repris par Roose et Sarrailh (1989-1990), la classification des sols en fonction de leur érodibilité est présentée dans le tableau 14.

Erodibilité (K)	K < 0,10	0,10 < K < 0,25	0,25 < K < 0,35	0,35 < K < 0,45	K > 0,45
<b>Classes de sensibilité à l'érosion</b>	Sols très résistants à l'érosion	Sols assez résistants à l'érosion	Sols moyennement sensibles à l'érosion	Sols assez sensibles à l'érosion	Sols très sensibles à l'érosion

### 3.6. pH

Le pH fait partie d'une des plus importantes caractéristiques physico-chimiques des sols après la texture bien sûr. Non seulement la activité du sol, tout comme la disponibilité de la majeure partie des éléments nutritifs dépend du pH (Bertschinger et *al.*, 2003), mais aussi les risques de toxicité (la mobilité et la biodisponibilité des éléments traces métalliques dans le sol). Connaissant ces deux propriétés (texture et pH), il est possible de tracer les grandes lignes de la fertilité d'un sol et de son comportement (Fox et *al.*, 2008).

Les propriétés physiques du sol dépendent également du pH du sol : en sols limoneux, la stabilité structurale est minimale pour un pH compris entre 6 et 7, elle est améliorée en sols battants, si le pH atteint 7,6 (Pasquier, 2009).

Ce paramètre comme indicateur de l'ambiance ionique du sol, exprime la concentration en ion  $H^+$  et mesure l'acidité ou l'alcalinité d'une eau lue sur une échelle allant de 0 à 14 (Vissin *et al.*, 2010) (cf. tabl. 15).

pH eau	< 5,3	5,3 - 5,8	5,9 - 6,7	6,8 - 7,2	7,3 - 7,6	> 7,6
<b>Appréciation agronomique</b>	Fortement acide	Acide	Faiblement acide	Neutre	Faiblement alcalin	Alcalin

Le pH eau mesure l'acidité de la solution du sol, et le pHKCl mesure l'acidité en réserve sur le complexe argilo-humique (les ions  $H^+$  du complexe sont remplacés par des ions potassium  $K^+$ ). Le pH KCl est donc toujours inférieur au pH eau.

La différence (pHeau - pHKCl) varie de 0,5 à 1,5. Elle est évidemment proportionnelle à l'acidité potentielle (la réserve d'ions  $H^+$  sur le CAH), elle est en relation avec l'état de saturation du sol. Les sols argileux et humifères présentent souvent des  $\Delta pH$  élevés tandis que les sols calcaires saturés de calcium sont dépourvus d'acidité de réserve.

Le pH est mesuré par voie électrique à l'aide du pH-mètre sur une suspension (terre / liquide) égale à 1/2,5. Le liquide utilisé peut être de l'eau distillée (mesure du pHeau) ou une solution de KCl 1N (mesure du pHKCl).

### 3.7. Conductivité électrique

La mesure de la conductivité électrique du sol est un outil précieux pour identifier les propriétés physico-chimiques du sol qui influencent les modes de rendement des cultures et pour établir la variation spatiale de ces propriétés du sol (Corwin et Lesch, 2003).

Elle définit la quantité totale en sels solubles correspondant à la salinité globale du sol, elle dépend de la teneur et de la nature des sels solubles présents dans ce sol (Guessoum, 2001). Elle varie en fonction de la température.

Selon Calvet (2003) Un sol est considéré salé, lorsque la conductivité électrique est supérieure à 4dS/m.

La conductivité électrique (méthode extrait aqueux au 1/5), qui nous permet de rapidement obtenir la teneur globale en sels dissous, était imposée pour mesurer la salinité des sols (De Jong *et al.*, 1979 ; Williams et Hoey, 1982), qui est interprétée à l'aide d'une échelle de salure des sols (cf. tabl. 16).

CE (mS/cm)	< 0,6	0,6 - 1,2	1,2 - 2,4	2,4 - 6	> 6
<b>Appréciation</b>	Non salé	Peu salé	Salé	Très salé	Extrêmement salé

Elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre, sur une solution d'extraction aqueuse (rapport sol/eau égale à 1/5) à 25°C, couramment exprimée en mmhos/cm ou dS/m (Baize, 1988 ; Robert, 1996).

### 3.8. Matière organique

Les Matières Organiques du Sol (MOS) sont reconnues de longue date pour leur contribution à la fertilité chimique, physique et biologique des sols (Balesdent *et al.*, 2005).

Elles consistent en un mélange de résidus végétaux et animaux à différents stades de décomposition, de corps microbiens et animaux vivants dans le sol, et de substances fabriquées par les organismes vivants et/ou provenant de la décomposition chimique de molécules plus importantes (Stevenson, 1994).

Les matières organiques des sols (MOS) jouent un rôle important pour la microflore, la faune et la structure de sol. Elles contrôlent la stabilité des agrégats, favorisent l'infiltration de l'eau et agissent donc profondément sur l'humidité du sol. Elles diminuent le ruissellement et protègent le sol de l'érosion.

On considère une teneur en MO faible lorsqu'elle est inférieure à 2%, elle est acceptable dans les terres à faible teneur en argile (teneur en argile < 10%) et très insuffisante dans d'autres où le taux d'argile est élevé (de 25 à 35% ou plus) (Pousset, 2011).

D'après Duparque et *al* (2007), on ne mesure pas directement la teneur en matière organique du sol sur un échantillon de terre. Elle est estimée en appliquant à la teneur en carbone organique déterminée par l'analyse au laboratoire.

$$\text{MO (\%)} = \text{C}_{\text{org. (\%)}} \times 1,724$$

Le coefficient multiplicateur : 1.724 est couramment utilisé en France (Duparque et *al.*, 2007).

### 3.9. Carbone organique

Le carbone organique est le principal constituant des matières organiques. Il représente environ 50% de celles-ci, suivi de l'oxygène (40%), de l'hydrogène (5%), de l'azote (4%) et du soufre (1%) (Vigot, 2012).

Plusieurs études (Elliott, 1986 ; Cambardella et Elliott, 1993 ; Puget, 1997) ont montré que la concentration du carbone organique augmente avec la taille des agrégats. Elliott (1986) explique les teneurs plus importantes en carbone organique des macro agrégats par rapport aux micro agrégats par le fait que les micro agrégats sont assemblés entre eux pour former des macro agrégats à l'aide d'agents de liaison de nature organique.

Le taux de carbone permettra en outre de calculer le rapport C/N, qui renseigne sur l'activité biologique du sol (Chaussod, 1996 ; Leclerc, 2001).

le carbone organique (%) est dosé par la méthode Anne qui a été la plus généralement utilisée jusqu'à ces dernière années (Duparque et *al.*, 2007), dont il est oxydé par du bichromate de Potassium en excès, en milieu sulfurique. L'excès de bichromate non réduit par le carbone organique est alors titré par une solution de sel de Morh (qui réduit les bichromates) en présence de diphénylamine.

### 3.10. Azote

Il est l'élément nutritif le plus important pour la croissance des cultures et les niveaux de rendements (N'dayegamiye et *al.*, 2007). Dans une bonne terre végétale, la teneur en azote du sol est de l'ordre d'un gramme par kilogramme de terre dans les horizons superficiels dont 1 à 2% de cette quantité est sous forme minérale et le reste est essentiellement sous forme organique (Heller et *al.*, 1998). Les pertes d'azote total sont liées au transport des solides, du fait de l'érosion hydrique (Lavabre et Marin, 2000). Aussi, Le risque de contamination de l'eau par l'azote d'origine agricole, sous forme de nitrates, est directement lié au mouvement

de l'eau chargé par le surplus d'azote des forte intrants, qui migre hors des terres agricole par le ruissèlement superficiel (OCDE, 2005).

En effet, pour l'azote aucune méthode ne permet de doser correctement cet élément. Dans ce cas-là, on peut le déterminer par la méthode normalisée la plus utilisable jusqu'à présent qu'est celle de Kjeldahl. À l'ébullition, l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) concentré minéralise quantitativement l'azote d'un composé organique en ammonium, la solution sulfurique est rendue alors fortement alcaline et l'ammoniac en est chassé par distillation, recueilli dans une solution borique ( $H_3BO_3$ ), puis dosé en retour par une solution de titre connu. L'interprétation se fait à l'aide de la classification de Calvet et Vellemin (1986) (cf. tabl. 17).

<b>Tableau 17. Normes d'interprétation pour l'azote d'après Calvet et Vellemin, 1986</b>					
<b>Azote (%) Kjeldahl</b>	<b>Très pauvre</b>	<b>Pauvre</b>	<b>Moyen</b>	<b>Riche</b>	<b>Très riche</b>
	< 0,05	0,05 - 0,1	0,1 - 0,15	0,15 - 0,25	> 0,25

### 3.11. Rapport C/N

Le rapport C/N est un des indices de qualité des produits. Le rapport C/N fournit d'utiles indications sur l'évolution de la matière organique du sol et la conduite de la fumure azotée. Aux trois classes de valeur de rapport C/N, correspondent les appréciations suivantes (Gagnard et *al.*, 1988) :

<b>Faible</b>	<b>Normale</b>	<b>Fort</b>
< 8	8 - 12	>12

Dans les sols cultivés, on considère généralement que la minéralisation est forte quand le rapport C/N est inférieur à 8, bonne quand il est compris entre 8 et 12 et faible (la disponibilité de l'azote est un facteur limitant de l'activité biologique) quand ce rapport est supérieur à 12 (Genot et *al.*, 2007).

### 3.12. Calcaire total

Le calcaire total est une des composantes héritées de l'altération de la roche-mère. Le constituant essentiel de calcaire est le carbonate de calcium, cristallisé sous forme de calcite à symétrie rhomboédrique (Djili et Daoud, 1999 ; Djili, 2000). Il se présente sous forme de particules plus ou moins grossières. Du point de vue purement granulométrique, ces particules sont analogues aux autres grains de sable, mais du point de vue chimique elles sont différentes. En effet, les plus fines et les plus poreuses d'entre elles peuvent libérer du calcium, qui tend à neutraliser les acides et donc à rendre la terre plus basique (Pousset, 2011).

Aussi, le calcium fourni par le calcaire provoque la floculation des colloïdes minéraux et organique du sol, action nécessaire à l'établissement d'un état structural, et permet au sol de créer les réserves, en éléments nutritif (Eliard, 1979).

Le plus souvent la valeur du calcaire total en pourcentage est déterminée par la méthode volumétrique à l'aide du calcimètre de Bernard, en décomposant les carbonates de calcium par l'acide chlorhydrique, et mesurant le volume de  $CO_2$  dégagé.

Selon la teneur en calcaire, il y a cinq (05) classes de sols calcaires (Loz et Mathieu, 1990) (cf. tabl. 18).

Taux du CaCO <sub>3</sub>	< 2 %	2 à 10 %	10 à 25 %	25 à 50%	> 50%
Appréciation	Très faiblement calcaire	Faiblement calcaire	Moyennement calcaire	Fortement calcaire	Très fortement calcaire

### 3.13. Calcaire actif

Le calcaire actif est la fraction du calcaire total susceptible de se dissoudre facilement et rapidement dans la solution du sol. Il faut retenir que le lien entre calcaire total et calcaire actif n'est pas automatique : une terre peut être riche en calcaire total et relativement pauvre en calcaire actif. L'excès de calcaire actif nuit à certaines plantes (par exemple aux arbres fruitiers). On considère généralement que des problèmes sérieux peuvent commencer à apparaître à partir de teneurs en calcaire actif voisines de 50‰ (Pousset, 2011). Donc la détermination du calcaire actif constitue un bon indice pour guider les arboriculteurs et les viticulteurs à choisir les porte-greffes les mieux adaptés à leurs sols (Baize, 1988). Cependant, la présence modérée de calcaire actif améliore la solidité du complexe argilo-humique et donc la stabilité de la structure (Pousset, 2011).

Le CaCO<sub>3</sub> actif (%) est déterminé par la méthode Drouineau-Galet en utilisant l'oxalate d'ammonium qui se combine au calcium du calcaire facile à dissoudre (calcaire actif) pour former des oxalates de calcium insolubles. L'excès d'oxalate d'ammonium est ensuite dosé par une solution de permanganate de potassium en milieu sulfurique.

## 4. Analyse statistique

Il faut souvent compléter l'analyse avec une classification. De nombreux logiciels existent qui permettent de faire aisément ces analyses, mais la partie délicate reste l'interprétation qui devrait toujours rester nuancée.

Dans le cas de notre travail l'étude a été appréhendée par le biais du logiciel statistique StatBox Pro 6.4 pour mettre en lumière certaines liaisons entre les variables explicatives et l'érosion d'une part, et d'autre part, de découvrir les interactions entre des différentes variables afin de mieux apprécier les effets des différents systèmes de production sur les propriétés physico-chimiques du sol.

Le dispositif adopté est la randomisation totale à un critère de classification, dont toutes les données qui sont récapitulées dans le tableau 02 (cf. annexe 05, p. 100) d'une manière synthétique ont fait l'objet d'un double traitement statistique compte tenu de la nature tant qualitative que quantitative des données :

- Une analyse en composantes principales (ACP) ;
- Une analyse de variance (ANOVA).

# *Résultats et discussions*

## 1. Interprétation des résultats de l'enquête

L'observation du terrain réalisée en grande partie pendant la période des pluies et en même temps que s'effectuait l'enquête, elle consiste à vérifier et à compléter les informations recueillies à partir de celle-ci et de l'exploitation de documents. Ce contact direct avec la réalité nous a permis de faire quelques remarques et de porter certains jugements en ce qui concerne les sols, les usages des terres, les types d'érosion et les techniques de gestion de l'eau et de la fertilité des terres.

La nature et la morphologie des sols agricoles sont très hétérogènes dans le sens horizontal en surface de l'amont vers l'aval, ainsi que leur composition granulométrique qui fait apparaître une certaine pauvreté en éléments fins (argile et limons fins), due généralement à un lessivage continu après chaque épisode pluvieux important de la fraction fine vers les horizons inférieurs et l'aval des parcelles (Larid, 1993). La classification conventionnelle des sols à l'aide du triangle des textures d'après Jamagne (1967) leur donne une tendance sablo-limoneuse (cf. annexe. 05, tab. 01, p. 99).

Les taux de matière organique sont assez faibles dans la majorité des cas, allant de 0.11 à 2.65 %. Ceci est dû à la faible restitution au sol des sous-produits agricoles (chaumes, fumiers, etc.) (cf. annexe. 05, tab. 02, p. 100).

Compte tenu de ces propriétés, la nature des sols agricoles de la zone d'étude situés sur des pentes faibles à moyennes, ainsi que de la violence des pluies et des pratiques culturales inappropriées exposent les sols à une certaine fragilité et sensibilité à l'égard de l'érosion hydrique. Au cours de nos sorties sur terrain, on a pu constater d'une manière générale, une présence presque négligeable de traces d'incisions en amont des parcelles. La présence en surface de cailloux dénudés de terre qui les agglomèrent forment de petites "cheminées" prouvant un certain détachement, provoqué par l'action des gouttes de pluies sur les agrégats du sol. Les particules élémentaires qui ont fait l'objet d'une redistribution sur place ou d'un faible transport conduisent à un glaçage des surfaces en se déposant au fond des pores réduisant la porosité de surface.

Selon les résultats de l'enquête, les exploitations agricoles sont essentiellement familiales, individuelles, par métayage ou fermage. Ce mode de faire valoir indirect a entraîné une parcellisation des terres agricoles, permettant aux propriétaires de mieux valoriser leurs terres et de les protéger contre les éventuelles formes de dégradation. Les conditions climatiques variables de la région occasionnent un déficit hydrique important et quasi-permanent, ce qui favorise l'appauvrissement du couvert végétal et la dégradation des sols. De plus, les sols pratiquement nus pendant la période des pluies, sont destinés soit à la polyculture telle que l'arboriculture/viticulture/légumineuses, soit à l'arboriculture fruitière.

L'assolement et la rotation des cultures ne sont pas conformes à certaines règles techniques de base compte tenu d'une absence sur le terrain de structures potentielles de contrôle, de vulgarisation et de gestion. Le niveau de fertilité des sols n'est plus maintenu car la restitution du point de vue minéral et organique n'est plus satisfaisante et le prélèvement de la litière favorise cette érosion des versants.

L'utilisation de divers intrants et des engrais organiques et minéraux pour gérer la fertilité des sols dont les choix restent aléatoires. Les opérations culturales, notamment par la profondeur de travail du sol, le sens dans lequel celui-ci se fait, le moment des labours, le type

d'instruments aratoires et le nombre de passages généralement perturbe la végétation ou la couche de résidus en surface ou près de la surface. Aussi les pratiques aratoires réalisées dans le sens de la pente favorisent l'érosion hydrique en offrant des voies d'écoulement aux eaux de ruissellement.

Ceci montre que tous ces paramètres imposent ensemble une influence plus importante sur l'évolution hydrologique dans la zone d'étude qui peut être un accélérateur de l'érosion.

Afin de déterminer dans quelle mesure la population de la zone d'étude avait conscience de l'érosion hydrique ainsi que les remèdes antiérosifs et les adaptations intégrées possibles qui peuvent être utilisées ultérieurement pour contrer ce phénomène. L'enquête menée auprès des agriculteurs indiquant la présence du phénomène d'érosion hydrique s'explique avec les terres agricoles pas assez occupées par une couverture végétale, d'où la rétention des eaux ainsi que la charge solide des eaux de ruissellement sera importante.

L'érosion avec ses différentes formes (rigoles et ravines) entraîne une dégradation importante des sols. Celle-ci se traduit par le départ des éléments nutritifs et des atterrissements sableux en aval. L'épuisement des sols est accentué par les pratiques culturales préconisées par le système traditionnel.

Les paysans considèrent l'accroissement potentiel des revenus comme le principal avantage des systèmes agricoles mixtes alliant arbres et cultures. Les arbres fruitiers en rangées espacées restent longtemps sur le même terrain. Les éléments nutritifs qu'ils prélèvent du sol chaque année servent à la constitution ou au grossissement des différents organes qui restent sur la parcelle (charpente, racines et feuilles).

Ce qui est très important à souligner est l'intensification de l'arbre et la diversification des cultures par les agriculteurs enquêtés.

## **2. Interprétation des observations des profils culturaux**

Selon Baldy (1974), les zones semi-arides d'altitude se caractérisent par des sols peu profonds et peu fertiles suite à l'absence de restitution de la matière organique où notre zone d'étude s'étend sur des dépôts d'âge quaternaire (alluvions anciennes et récentes).

Les principaux critères de description et l'ampleur des propriétés physico-chimiques des sols des systèmes agroforestiers seront comparés avec les propriétés similaires des sols des autres systèmes considérés comme témoins.

Dans la majorité des cas, les profils amont et aval des différentes stations choisies dans la zone d'étude comportent deux horizons d'épaisseurs différentes. Les horizons correspondant aux 30 premiers centimètres de la couche arable (00-10, 00-20, 00-30, 10-20 et 20-30 cm) ont :

- une texture à tendance sableux-limoneuse (cf. annexe 05, tab. 01, p. 99)
- une teneur faible en matière organique (calculée selon la méthode d'Anne) (cf. annexe 05, tab. 02, p. 100).
- une humidité importante (cf. annexe 04, tab. 02, p. 98),
- une structure polyédrique à grumeleuse avec une porosité moyenne,
- la présence de tâches calcaires avec des formes irrégulières et de faible abondance, une forte effervescence avec l'acide chlorhydrique,
- ils sont caractérisés globalement par une faible activité biologique (présence des galeries et des racines).

L'horizon à épaisseur supérieur de 30 cm est généralement :

- de texture limono-sableuse,
- fort à moyennement humide dans la plus part des cas,
- une structure grumeleuse avec une faible porosité,
- tâches calcaires abondantes avec des formes irrégulières, une forte effervescence avec l'acide chlorhydrique,
- il est caractérisé globalement par une absence d'activité biologique.

A partir de la description détaillée des profils culturaux (cf. annexe 04, tab. 02, p. 98), les premières impressions sur la dégradation des sols de la zone par l'érosion hydrique apparaissent très importantes sur la morphologie des sols. Mais on révèle qu'il y a quelques indices révélant l'incidence du système agroforestier sur l'état de la structure du sol tels que les différences de l'humidité, de la porosité et l'activité biologique entre les horizons des profils culturaux.

### **3. Interprétation des analyses statistiques**

#### **3.1. Analyse en composante principales**

L'ACP est une méthode d'analyse statistique multidimensionnelle essentiellement descriptive. Elle a été largement utilisée dans les études sur les sols (Liu et *al.*, 2011 ; Zaccone et *al.*, 2010). Il s'agit d'une méthode factorielle et linéaire qui traite des caractères numériques jouant tous le même rôle (Bourouche et Saporta, 1983).

Une représentation simplifiée des variables est obtenue tout en conservant un maximum d'information possible (Gruber, 2011), contenu dans un tableau de données (en ligne nous avons les individus et en colonne les variables).

##### **3.1.1. Analyse des données physico-chimiques**

Le traitement des paramètres physico-chimiques du sol des différentes stations étudiées dans la zone d'étude par l'analyse en composantes principales (ACP) vise non seulement à visualiser les liaisons inter-éléments (de faire ressortir la structure des variables et leurs origines, la répartition des individus, la ressemblance et la dissemblance existantes entre eux), mais aussi à représenter une bonne approche permettant d'affiner l'analyse du problème de l'érosion.

##### **3.1.2. Analyse et interprétation de la matrice de corrélation**

L'ACP commence par la détermination de la matrice de corrélation étant une étape primordiale dans la prise de connaissance des données. Ce type d'analyse permet d'identifier simultanément les relations qui existent entre les variables, met en évidence les couples de variables explicatives les plus structurées et pourra soutenir, par la suite, le choix des différents paramètres pertinents qui vont être utilisés lors de la construction ultérieure des composantes.

Cette méthode met en évidence les liens et les compétitions (oppositions) qui peuvent exister entre les éléments physico-chimiques deux à deux (cf. tab. 19).

**Tableau 19.** Matrice de corrélation de toutes les variables explicatives retenues

Variables	Ib	Is	Ks	K	CE	pHKCl	MO	C org.	N total	C/N	CaCO <sub>3</sub> total	CaCO <sub>3</sub> actif
Ib	1											
Is	0,85***	1										
Ks	-0,44***	-0,35***	1									
K	0,70***	0,82***	-0,52***	1								
CE	0,33***	0,34***	-0,27**	0,33***	1							
pHKCl	0,30***	0,54***	0,28**	0,53***	0,17	1						
MO	-0,06	0,18*	-0,09	0,21*	0,15	0,33***	1					
C org.	-0,06	0,18*	-0,09	0,21*	0,15	0,33***	1,00***	1				
N total	0,08	0,18*	-0,09	0,13	0,04	0,20*	0,22*	0,22*	1			
C/N	-0,14	0,10	0,11	0,08	-0,01	0,31***	0,75***	0,75***	-0,05	1		
CaCO <sub>3</sub> total	0,66***	0,74***	-0,41***	0,79***	0,41***	0,48***	0,37***	0,37***	0,14	0,18*	1	
CaCO <sub>3</sub> actif	0,66***	0,62***	-0,55***	0,72***	0,55***	0,28**	0,28**	0,28**	0,06	0,04	0,90***	1

\*P<0,05 (corrélation significative), \*\*P<0,01 (corrélation hautement significative), \*\*\*P<0,001 (corrélation très hautement significative).

Dans notre cas, nous avons au départ 12 dimensions car il y a 12 variables. D'après le test statistique de Pearson pour une erreur égale à 5%, le seuil significatif supérieur ou égal à 0,18.

L'examen de la matrice de corrélation permet de dégager les relations qui existent entre les différents paramètres du sol. A l'aide de la table de r Pearson (annexe 06, p. 101), certaines sont très hautement significatives. C'est le cas entre le CaCO<sub>3</sub> total et CaCO<sub>3</sub> actif, K, Is, Ib, pHKCl, CE, Ks, MO et C organique (0.90, 0.79, 0.74, 0.66, 0.48, 0.41, -0.41, 0.37 et 0.37 respectivement) et entre la matière organique et le carbone organique, C/N et le pHKCl (1.00, 0.75 et 0.33 respectivement).

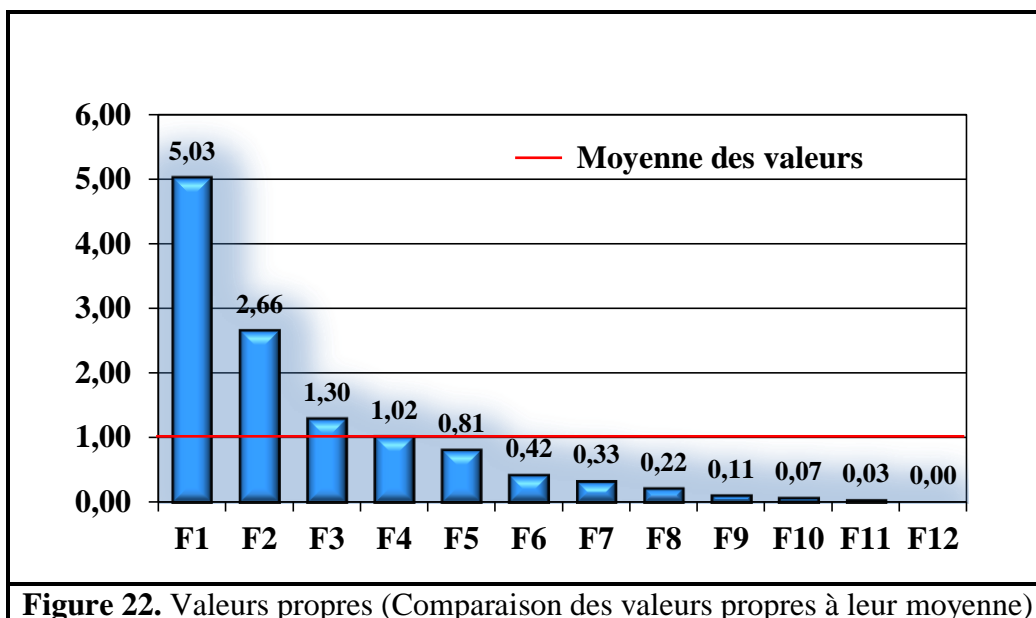
L'indice d'érodibilité des sols est corrélé à l'indice de stabilité structurale et l'indice de battance avec des coefficients très hautement significatifs (0.82 et 0.70 respectivement).

### 3.1.3. Valeurs propres

Pour obtenir une représentation des variables dans un espace de dimension réduite, il faut déterminer les axes factoriels qui prennent mieux en compte la dispersion du nuage.

La valeur propre est la variance expliquée par une dimension car elle permet d'évaluer la quantité d'informations recueillies par celle-ci.

Utiliser un plus grand nombre de dimensions permet d'expliquer une plus grande proportion de la variation du jeu de données qui rend l'analyse des résultats plus complexe. Cependant, les dimensions qui montrent une valeur propre supérieure à la moyenne valent la peine d'être gardée. On a obtenu 12 axes représentant la distribution des variables et des individus par rapport aux axes. Selon le critère de Kaiser et d'après la figure 22, on retient quatre axes représentant ensemble 83.41% de l'inertie totale (cf. tab. 20).



**Figure 22.** Valeurs propres (Comparaison des valeurs propres à leur moyenne)

Le premier axe explique à lui seul 41.93% de la variation totale, donc on peut dire que tous les axes apportent de l'information mais à divers degrés c'est-à-dire avec des pouvoirs discriminants différents.

Selon Cattell (1966), le test des valeurs propres permet de choisir les facteurs à retenir à partir d'un tracé linéaire des valeurs propres.

L'endroit où ces valeurs tendent à s'équilibrer constitue la limite inférieure des axes à choisir.

Dans le cas présent, nous allons nous focaliser sur les trois premiers axes factoriels qui participent clairement à une bonne explication avec un taux de 74.94% de l'inertie totale pour expliquer les aspects des propriétés du sol sur le phénomène de l'érosion hydrique. Expriment que 8,48% d'inertie, le quatrième axe n'apporte pas assez d'informations d'où son élimination.

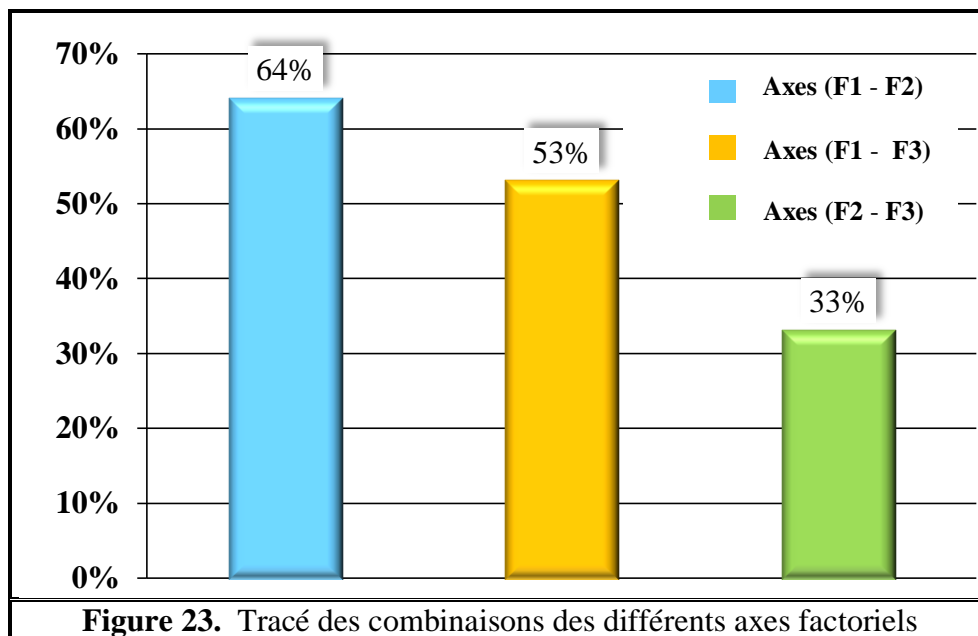
Axe	Valeur propre	Pourcentage de la variance	Pourcentage cumulatif de la variance
<b>F1</b>	5.03	41.93	41.93
<b>F2</b>	2.66	22.20	64.13
<b>F3</b>	1.30	10.80	<b>74.94</b>
<b>F4</b>	1.02	<b>8.48</b>	<b>83.41</b>

### 3.1.4. Analyse graphique

Le cercle des corrélations permet de voir, parmi les anciennes variables, les groupes de variables très corrélées entre elles. Donc, son étude est plus simple et plus informative que l'analyse directe de la matrice de corrélation.

Par projection sur un plan factoriel, les variables s'inscrivent dans un cercle de rayon 1 appelé cercle des corrélations. Elles sont d'autant plus proches du bord du cercle que la variable est bien représentée par le plan factoriel, c'est-à-dire que la variable est bien corrélée avec les deux facteurs constituant ce plan. En effet, la construction de ces plans se fait à partir des composantes les plus intéressantes, c'est-à-dire celles qui contribuent le plus à la variation totale. Dans notre cas les contributions de la première, deuxième et troisième composante à la variance totale sont 42%, 22% et 11%, respectivement.

Selon la combinaison des différents axes (cf. fig. 23), le choix a été porté sur les deux premiers plans qui engendrent les axes factoriels F1 - F2 et F1 - F3 englobant respectivement 64 et 53% de l'information, ce qui rend la corrélation entre les variables significative. Alors que le troisième plan qui ne représente que 33% de l'information sera automatiquement éliminé.

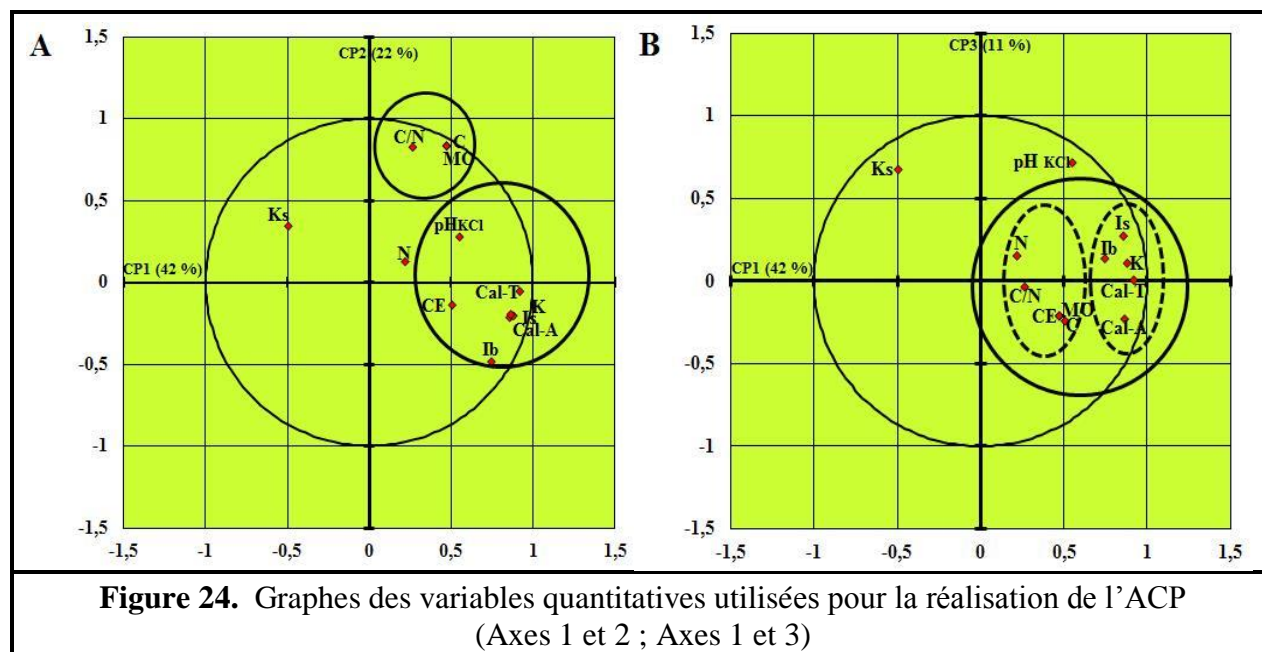


Les coordonnées des variables des composantes principales ainsi que leurs contributions sont indiquées dans le tableau 21 dans lequel les valeurs figurant en gras correspondent aux variables liées au facteur pour lequel le cosinus carré est le plus grand.

Tableau 21. Caractérisation des facteurs (CP) à l'aide des variables									
Variables	CP1			CP2			CP3		
	Coord.	Cos <sup>2</sup>	CRT	Coord.	Cos <sup>2</sup>	CRT	Coord.	Cos <sup>2</sup>	CRT
Ib	<b>0,75</b>	0,56	11,06	<b>-0,48</b>	0,23	8,81	0,14	0,02	1,42
Is	<b>0,86</b>	0,74	14,62	<b>-0,21</b>	0,05	1,73	<b>0,27</b>	0,07	5,72
Ks	<b>-0,49</b>	0,24	4,87	<b>0,34</b>	0,12	4,43	<b>0,67</b>	0,46	35,10
K	<b>0,88</b>	0,78	15,41	<b>-0,20</b>	0,04	1,57	0,11	0,01	0,90
CE	<b>0,51</b>	0,26	5,11	-0,14	0,02	0,72	<b>-0,24</b>	0,06	4,49
pHKCl	<b>0,55</b>	0,30	6,05	<b>0,28</b>	0,08	2,89	<b>0,72</b>	0,51	39,52
MO	<b>0,47</b>	0,22	4,43	<b>0,83</b>	0,69	26,05	<b>-0,21</b>	0,04	3,44
C org.	<b>0,47</b>	0,22	4,43	<b>0,83</b>	0,69	26,06	<b>-0,21</b>	0,04	3,43
N total	<b>0,22</b>	0,05	0,95	0,13	0,02	0,60	0,15	0,02	1,80
C/N	<b>0,27</b>	0,07	1,40	<b>0,83</b>	0,68	25,59	-0,04	0,00	0,10
CaCO <sub>3</sub> total	<b>0,92</b>	0,85	16,82	-0,06	0,00	0,12	0,01	0,00	0,00
CaCO <sub>3</sub> actif	<b>0,86</b>	0,75	14,85	<b>-0,20</b>	0,04	1,44	<b>-0,23</b>	0,05	4,08

**CP** : Composante principale;  
**Coord.** : Coordonnées des variables sur les axes;  
**Cos<sup>2</sup>** : Coord.\*Coord. (cosinus carrés);  
**CRT** : Contribution de chaque variable à la construction du Facteur (la somme verticale est de 100%).

Donc, les axes factoriels F1, F2 et F3 sont définis par les composantes principales 1, 2 et 3 avec respectivement 42% de l'information expliqués par la première composante principale, 22% par la seconde et 11% par la troisième.



Les résultats de la distribution des individus sur les deux plans de projection A et B issu de l'ACP en relation avec la contribution des variables étudiées nous a permis de déterminer trois groupes de variables (cf. fig. 24). Deux groupes se distinguent sur le plan A

(CP1 - CP2) alors qu'elles se rassemblent en un seul sur le plan B (CP1 - CP3) autour du CP1 (cf. fig. 24).

Dans le plan A formé par les composantes principales 1 et 2, le premier groupe de variables est constitué par Cal-T, K, Is, Cal-A, CE, Ib, pHKCl, dont les plus corrélées à la CP1 sont Cal-T, K, Is, Cal-A, CE, ainsi que le N qui n'appartient pas au groupe, et dans une moindre mesure Ib et pHKCl. Parmi ces variables, Cal-T, Cal-A, K et Is contribuent le plus à former la CP1. Elles sont toutes corrélées entre elles. Leur corrélation est d'autant plus forte que les variables sont positionnées à proximité de l'axe défini par la CP1. Par exemple, K et Is sont plus fortement corrélés entre eux que K et CE. Par estimation, l'axe retenant la CP1 pourrait être défini comme celui de la sensibilité à l'érosion hydrique.

Sur l'axe défini par la CP2, les variables les plus corrélées à cette composante principale sont : C/N et N, et dans une moindre mesure MO et C. Ces variables étant proches du centre du plan factoriel, leur corrélation n'est certainement pas très forte. Pour le groupe C/N, MO et C, leur lien est plus fort avec la CP2 qu'avec la CP1. Du fait de sa position au centre du plan factoriel, nous pouvons en déduire que l'azote total (N) présente respectivement une faible contribution 0.95 et 0.60 % sur les composantes principales 1 et 2 et, est par conséquent, mal expliquée par ces composantes principales.

Enfin, la variable Ks avec une forte corrélation, positionnée dans le quart supérieur gauche du plan factoriel a donc un lien "positif" avec la CP2 et "négatif" avec la CP1.

Le plan factoriel B formé par les composantes principales 1 et 3 illustre la position des variables par rapport au cercle et aux axes. En effet, un grand nombre d'éléments forment le troisième groupe, il s'agit des 10 éléments suivants : Cal-T, Cal-A, K, Is, Ib, MO, C, CE, C/N et N. Ces derniers se divisent en deux sous-groupes dont le premier retient seules les variables présentant des taux de contribution élevés comme porteuses d'informations pertinentes (Cal-T, Cal-A, K, Is et Ib) relatives à la CP1.

Par ailleurs, notons que les contributions des éléments Cal-T, K, Cal-A et Is sont presque identiques sur les deux plans factoriels, particulièrement fortes avec des valeurs respectives 16.82, 15.41, 14.85 et 14.62% quelle que soit la composante principale considérée.

Sur l'axe défini par la CP3, le deuxième sous-groupe lié à cette composante principale comprend dont les variables les plus corrélées sont C/N et N, et dans une moindre mesure MO, C et CE. Ces variables étant proches du centre du plan factoriel, leur corrélation n'est certainement pas très forte. Ces variables sont probablement mieux expliquées par les autres composantes principales.

Le pHKCl positionné au quart supérieur droit du plan factoriel participe autant à la formation de CP1 qu'à la CP3. Avec une forte corrélation et isolé sur le quart supérieur gauche du plan factoriel B, Ks se trouve opposé à tous les groupes et sous-groupes liés à la CP1 justifiant une relation entre la dégradation des propriétés du sol et la sensibilité du sol à l'érosion hydrique. Donc, les axes retenant les deux composantes principales 2 et 3 pourraient être défini comme des axes relatifs aux propriétés physico-chimiques du sol.

### 3.2. Analyse de la variance

L'importance de la couverture végétale dans la protection du sol contre l'érosion hydrique et la préservation des propriétés intrinsèques du sol a été démontrée par des études sur différents systèmes agroforestiers.

Ainsi, lors de notre expérimentation, une étude comparative a été menée entre les systèmes agroforestiers et les autres systèmes de culture pratiqués dans la région à partir d'un échantillonnage de sol à différents horizons de profils creusés à l'amont et à l'aval de chaque station correspondant à un système. Les prélèvements ont fait l'objet d'analyses physico-chimiques des propriétés intrinsèques du sol et dont les résultats ont subi une ANOVA (cf. annexe 05, tab. 02, p. 100).

Ce traitement statistique à mesures répétées a été appliqué sur l'ensemble des variables étudiées. Les comparaisons de moyennes entre les propriétés physico-chimiques des sols étudiés et leurs modes de gestion agricoles (systèmes) dans la zone d'étude, ainsi que leur répartition à travers les horizons pour chaque station ont été effectuées par le test de Fisher-Snedecor. En général on fixe le seuil de signification  $\alpha$  avant de tester les hypothèses. En agronomie le risque 0.05 est le plus couramment retenu (Vilain, 2012).

Quand des différences significatives entre les moyennes sont observées, le test de Newman-Keuls est utilisé pour comparer les moyennes entre les stations dans chaque système de gestion. Les valeurs significativement différentes sont identifiées par des lettres A, B, C, ... (cf. tab. 22, p. 71).

#### 3.2.1. Comparaison entre systèmes

Mise-à-part le système de cultures annuelles qui n'exerce aucune variation notable ( $P > 0.05$ ) sur le pH, l'analyse des résultats obtenus montre que les variations de l'ensemble des paramètres sont très fortement influencées par la nature du système de culture ( $P < 0.001$ ).

Ce qui caractérise l'effet de chaque système sur les paramètres ( $I_b$ ,  $I_s$ ,  $K_s$ ,  $K$ ,  $pH_{KCl}$ ,  $CE$ ,  $C_{org.}$ ,  $N$ ,  $C/N$ ,  $CaCO_{3total}$  et  $CaCO_{3actif}$ ) dans l'évaluation des propriétés physico-chimiques vers une dégradation physique du sol ou vers une amélioration de la stabilité du sol. Celle-ci est indicatrice des effets des systèmes de gestion sur la structure du sol et joue en même temps un rôle important dans la fertilité des sols car elle influence ses propriétés physiques (aération, circulation de l'eau, perméabilité, érodibilité) et chimiques (séquestration du carbone, matière organique, azote, éléments nutritifs). Une bonne stabilité structurale réduit la battance et donc les pertes par ruissellement avec une totale suppression de toute trace apparente d'érosion hydrique. Toute condition ailleurs étant identique et compte tenu du type de couvert végétal, l'action de chaque système présenté dans une station (modalité du système) reste différente d'une variable à une autre.

Donc, basés sur l'analyse des moyennes, les groupes homogènes montrent que dans les systèmes agroforestiers, les facteurs conditionnant l'érodibilité du sol ( $I_b$ ,  $I_s$  et  $K$ ) ainsi que le calcaire total et le  $pH_{KCl}$  semblent nettement liés à  $S_2$ , alors que la perméabilité est beaucoup plus liée à  $S_1$  et  $S_4$ . Pratiquement, les sols riches en limons et sables fins et pauvres en matière organique apparaissent comme les plus sensibles à la battance grâce à la mauvaise

perméabilité du sol. Cette sensibilité des sols à la battance est rapidement ressentie par la diminution de la stabilité structurale.

En effet, Soltner (2000) indique que plus le sol est calcaire, plus il bloque la matière organique donc, d'une façon générale le niveau de la matière organique sur l'ensemble du sol s'avère faible. C'est le cas qui se présente pour la fertilité du sol où les taux de la matière organique, le carbone organique et l'azote total connaissent en générale une faiblesse variable sur l'ensemble des stations, qui est plus marquée pour S<sub>5</sub>. Le cas contraire pour l'indicateur biologique C/N qui paraît très élevé, les résultats du test lui accordent plus d'effet pour la station (S<sub>4</sub>), et cela traduit donc des conditions défavorables de la minéralisation de la matière organique suite à une mauvaise activité biologique. Aussi la litière pauvre en azote, met plus de temps à se décomposer (Swift et *al.*, 1979).

Une litière riche en azote, qui a donc un rapport C/N faible, se décompose rapidement et est considérée comme une litière de bonne qualité.

Souvent, la stabilité des agrégats du sol est déterminée par le taux de matière organique qui devrait être au minimum de 2% pour assurer la stabilité du sol (Kemper et Koch, 1966). Donc, l'importante quantité de matière organique améliore la structure physique et la conductivité hydraulique du sol, ce qui participe également à sa perméabilité (Schroth et Sinclair, 2003).

Idem pour les systèmes arboricoles et les systèmes de cultures annuelles en comparant leurs résultats à ceux des systèmes agroforestiers. En effet, les facteurs conditionnant l'érodibilité du sol avec une variation très élevée semblent liés à S<sub>6</sub> (jeune plantation) dans les systèmes arboricoles expliquant ainsi les mauvaises qualités des propriétés organo-minérales dans le sol et la présence d'un nouveau réseau racinaire pas assez développé. Morsli et *al* (2005) ont montré que les sols limoneux en particulier sont moyennement sensibles à très sensibles dans l'ouest algérien avec un l'indice d'érodibilité variant de 0.26 à 0.48.

Alors que l'influence des systèmes de cultures annuelles est plus marquée pour S<sub>9</sub> qui présente la monoculture (blé dur) que par le S<sub>10</sub> qui est la jachère herbacée. Plusieurs raisons peuvent être avancées pour expliquer cette différence. En effet, le sol fraîchement travaillé en septembre-octobre est exposé directement à l'agressivité des premières pluies érosives de novembre et décembre, ce qui occasionne des pertes en terre dû au ruissellement important lorsque les plantes cultivées ne sont pas encore suffisamment développées pour intercepter les gouttes des pluies. D'après Valet (1999), le sol laissé nu en monoculture en septembre pendant les plus fortes pluies très agressives subit une plus grande érosion que celle très importante mesurée en début de saison de culture. À l'opposé, sur la parcelle en jachère herbacée, la couverture vivante ou morte intercepte les gouttes des pluies dont une fraction infime atteint directement le sol. L'indice d'érodibilité est assez variable dans le temps en fonction des saisons mais également en fonction de l'évolution des matières organiques, des propriétés physiques et des techniques culturales (Roose et Sarrailh, 1989-1990).

Malgré la variation de sa faible teneur, la matière organique (MO) semble être moins influencée par le système arboricole S<sub>8</sub> que les systèmes S<sub>6</sub> et S<sub>7</sub> et par le S<sub>9</sub> dans les systèmes de cultures annuelles que le S<sub>10</sub>. Ekweue et *al* (1993) et Le Bissonnais et Arrouays (1997) ont montré que l'érodibilité des sols est corrélée négativement avec leurs teneurs en matière organique.

On ne déduit qu'une mauvaise efficacité de la conduite des systèmes agroforestiers et arboricoles par rapport aux systèmes de cultures annuelles. Le sol des plantations agroforestières et arboricoles où le couvert végétal à terre a été enlevé se révèle beaucoup plus sensible à l'érosion que là où la végétation basse a été conservée. De manière analogue, dans les systèmes agroforestiers où les cultures vivrières sont pratiquées entre les jeunes arbres de plantation, les sols sont plus sujets à l'érosion lorsque le terrain entre les arbres a été dés herbé que lorsque des cultures de couverture y sont maintenues, ou qu'un paillage est mis en place.

Donc, la comparaison de ces résultats confirme que l'érosion est effectivement plus expliquée par l'absence de couvert végétal que par son existence (Valentin *et al.*, 2008).

### 3.2.2. Comparaison entre profils

La position des profils le long de la pente (amont et aval) semble avoir une influence très hautement significative sur toutes les variables et plus particulièrement celles relatives à l'érodibilité du sol (Ib, Is et K). Leurs variations sont plus importantes dans les profils amont pour les différents systèmes cultureux que dans les profils aval. Ces résultats peuvent être mis en relation avec la présence des limons dans les stations de la zone d'étude où les agrégats des sols limoneux possèdent une faible cohésion et sont très fragiles aux événements pluvieux.

La forte érodibilité est expliquée par les pratiques aratoires et culturales qui appauvrissent le sol en matière organique. Cette dernière semble diminuer de l'amont à l'aval, nuit à la structure du sol. En effet, la stabilité de la structure des sols limoneux qui dépend des teneurs et de la dynamique des matières organiques est un des déterminants de la dégradation physique de ces sols allant de la formation de croûtes de battance aux risques d'érosion hydrique. Une grande proportion de ces sols a des teneurs faibles en matières organiques.

C'est pourquoi, les apports de matières organiques d'origine résiduaire pourraient contribuer à stabiliser leur structure et à limiter les risques d'érosion.

La perméabilité du sol semble être aussi beaucoup plus liée à l'amont qu'à l'aval de la parcelle ceci s'explique par les couches de sol compactées sous la surface qui peuvent faire obstacle à l'infiltration de l'eau et contribuer au ruissellement de l'amont vers l'aval.

Le taux de perte de la matière organique qui passe de 1,5% sur la terre non érodée à 9,6% sur la terre érodée par l'érosion hydrique est considérable dans les terres cultivées en pente comme il a été constaté par Jebari *et al* (2010). Plus la pente d'un champ est raide et longue, plus les risques d'érosion sont grands.

En général, les sols qui affichent une plus grande sensibilité à l'érosion sont ceux dans lesquels l'eau s'infiltré moins rapidement et qui ont une faible teneur en matière organique.

### 3.2.3. Comparaison entre horizons

Pour simplifier l'étude des différents paramètres retenus pour l'analyse, on s'est limité à deux horizons dont l'apparence est signifiante :

- H<sub>1</sub> : horizon supérieur correspondant généralement à l'horizon de surface ou par fois la couche la plus fréquemment travaillée (00-20cm ou bien 00-30cm).
- H<sub>2</sub> : horizon inférieur pratiquement inexistant à l'amont de certaines parcelles et généralement ne connaissant pas ou peu d'activité structurale (> 30cm).

La variabilité de l'instabilité structurale (Is) ainsi que l'indice d'érodabilité du sol (K) semblent être beaucoup influencés par l'horizon supérieur (H<sub>1</sub>) reflétant une faible teneur en

matière organique (MO) ainsi qu'une mauvaise perméabilité ( $K_s$ ) bien ressenties par rapport à l'horizon inférieur ( $H_2$ ). Cela signifie que si la structure du sol est instable, elle peut se dégrader sous l'action de stress hydrique (phénomène d'humectation et dessiccation). La couche superficielle du sol est alors la première affectée. Les gouttes de pluie provoquent la désintégration des agrégats, suivie d'un colmatage des pores de la surface du sol. La résultante de ce phénomène est la formation d'une croûte superficielle (croûte de battance).

On a remarqué que la forte érodibilité des sols est en relation avec les faibles taux des MO des horizons superficiels des sols où elles se dégradent progressivement et affectent la stabilité de la structure en surface donc les valeurs de  $K$  deviennent maximales. Généralement, plus le sol est riche en humus et en argile mieux il est structuré, plus ses agrégats sont résistants à la battance des pluies et plus le taux d'infiltration est élevé et stable comme il a été constaté par Combeau et Quantin (1962) et Roose et Barthès (2001).

En effet, dans le cas de nos sols riches en limon, la proportion de matériaux liants (argile et matières organiques) par rapport aux fractions minérales grossières y est insuffisante pour assurer la formation d'agrégats stables vis-à-vis de l'action destructive de l'eau.

Aussi les couvertures limoneuses par leur faible stabilité structurale sont sensibles à la battance et au compactage par les engins agricoles. La conductivité hydraulique des premiers millimètres de sol ou des 20 centimètres de surface est souvent fortement réduite par respectivement une croûte de battance et/ou un tassement des sols par les engins agricoles.

Quand cette capacité d'absorption devient inférieure à l'intensité des pluies, l'excès d'eau peut entraîner une érosion hydrique par le ruissellement. En effet, une bonne capacité d'infiltration de l'eau de pluie par le sol réduit ou annule les processus de ruissellement et d'érosion qui causent les pertes d'éléments les plus fertiles du sol et la baisse de la productivité agricole.

Nous constatons que les sols de la zone d'étude sont modérément calcaires sur toutes les couches considérées. Aussi, une réaction alcaline dominante dans ses différentes couches a été observée entraînant un pH élevé fréquemment corrélatif de difficulté d'assimilabilité par les plantes de certains éléments qui leurs sont indispensables comme le phosphore, zinc, manganèse, cuivre et fer (Morel, 1996).

Pour ce qui est de l'azote, on constate qu'il y a une différence très hautement significative au niveau de chaque horizon entre les profils d'une station et pour l'ensemble des stations expliquant ainsi la variabilité de décomposition de la matière organique.

La variation de la valeur des moyennes de l'indicateur biologique C/N semble très importante dans l'horizon supérieur ( $H_1$ ) des différentes stations due à la baisse de l'activité biologique du sol. Lorsqu'un sol est en voie d'érosion, l'activité biologique de surface peut être inférieure ou égale à celle du fond du profil (Huber et Schaub, 2011).

Généralement, l'absence de vie microbienne dans l'horizon de surface entraînera une carence dans l'alimentation des plantes et ce, même sur un sol riche (Huber et Schaub, 2011).

De ce fait, l'activité biologique reste une composante essentielle de la fertilité du sol. Elle y intervient en agissant d'une part sur le stock d'éléments minéraux assimilables obtenus par minéralisation de la matière organique et d'autre part sur la structure du sol (Zombre, 2006).

**Tableau 22. Impacts des systèmes sur les propriétés physico-chimiques des sols (Récapitulatif des résultats de l'analyse de la variance)**

Facteurs	Systèmes agroforestiers						Systèmes arboricoles				Syst. de cult. annuelles			Profils			Horizons		
Variables	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	F	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	F	S <sub>9</sub>	S <sub>10</sub>	F	P <sub>am</sub>	P <sub>av</sub>	F	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	F
Ib	0,86	2,90	0,93	0,77	0,74	15551,18	2,29	0,47	0,84	20615,87	2,06	1,72	1116,27	1,66	1,06	17136,08	1,28	1,44	1311,81
	C	A	B	D	E	***	A	C	B	***	A	B	***	A	B	***	B	A	***
Is	0,82	1,32	0,92	0,68	0,59	2345,17	1,25	0,55	0,86	2626,11	1,24	1,08	713,21	0,94	0,93	4,10	0,95	0,92	50,182
	C	A	B	D	E	***	A	C	B	***	A	B	***	A	B	*	A	B	***
Ks	21,42	19,52	19,08	21,0	16,29	59,57	4,21	34,65	44,32	2884,78	7,98	14,65	7173,62	18,57	22,06	376,12	22,04	18,60	364,91
	A	B	B	A	C	***	C	B	A	***	B	A	***	B	A	***	A	B	***
K	0,35	0,47	0,28	0,25	0,24	1930,81	0,63	0,23	0,24	6510,56	0,56	0,45	1673,25	0,38	0,36	251,30	0,36	0,37	25,84
	B	A	C	D	E	***	A	B	B	***	A	B	***	A	B	***	B	A	***
pHKCL	7,53	7,71	7,43	5,77	5,67	271,55	7,74	6,99	7,75	29,34	7,86	7,63	0,01	6,86	7,55	299,71	7,59	6,83	364,13
	B	A	B	C	C	***	A	B	A	***	A	B	NS	B	A	***	A	B	***
CE	0,09	0,08	0,10	0,07	0,07	566,24	0,14	0,06	0,09	1896,74	0,43	1,02	19190,29	0,32	0,11	49813,77	0,21	0,22	47,19
	B	C	A	D	D	***	A	C	B	***	B	A	***	A	B	***	B	A	***
MO	0,74	0,69	1,01	0,58	0,56	1226,37	0,53	0,26	0,57	1278,57	0,86	1,79	13336,63	0,60	0,92	10076,19	0,91	0,61	8630,13
	B	C	A	D	E	***	B	C	A	***	B	A	***	B	A	***	A	B	***
C <sub>org.</sub>	0,43	0,40	0,58	0,34	0,32	1229,26	0,31	0,15	0,33	1289,36	0,50	1,04	13332,38	0,35	0,53	10078,65	0,53	0,35	8573,92
	B	C	A	D	E	***	B	C	A	***	B	A	***	B	A	***	A	B	***
N <sub>total</sub>	0,07	0,06	0,20	0,02	0,05	11117,89	0,11	0,07	0,05	1575,13	0,08	0,09	379,52	0,09	0,07	2687,74	0,10	0,06	9342,62
	B	C	A	E	D	***	A	B	C	***	B	A	***	A	B	***	A	B	***
C/N	7,32	6,22	9,24	9,96	6,35	705,19	2,55	2,29	7,44	4010,96	6,39	12,49	13402,98	5,14	8,91	11999,57	7,88	6,17	2454,43
	C	D	B	A	D	***	B	C	A	***	B	A	***	B	A	***	A	B	***
CaCO <sub>3</sub> total	9,13	15,37	8,70	10,1	6,79	2128,63	21,72	4,24	11,44	7597,21	18,56	21,26	707,06	14,03	11,45	2535,31	13,06	12,41	162,88
	C	A	D	B	E	***	A	C	B	***	B	A	***	A	B	***	A	B	***
CaCO <sub>3</sub> actif	1,03	0,84	3,15	1,00	0,44	12797,85	6,30	0,00	1,11	23907,49	5,57	7,04	2343,92	3,27	2,02	14081,90	2,53	2,77	512,34
	B	D	A	C	E	***	A	C	B	***	B	A	***	A	B	***	B	A	***

NS = Non significatif ; \* = Significatif ; \*\* = Hautement significatif ; \*\*\* = Très hautement significatif au seuil de probabilité de 5 %, 1 % et 1 % respectivement

*Conclusion  
Générale et  
perspectives*

## Conclusion générale

En effet, la dégradation des sols aussi bien physique, chimique que biologique pose de sérieux problèmes tant agronomiques, environnementaux que socio-économiques dûs essentiellement aux systèmes de culture inappropriés pour une agriculture durable.

Dans le contexte de notre travail, il nous a paru utile d'analyser le potentiel agroforestier de notre zone d'étude afin d'évaluer ses impacts sur les processus de l'érosion hydrique touchant principalement les terres agricoles où les paysans utilisent des techniques anti-érosives traditionnelles dont l'efficacité reste limitée. Mais, elles ont toutefois l'avantage d'être bien intégrées aux systèmes de culture et pourraient donc être améliorées.

Afin d'étudier de quelles manières le sol soit préservé et sa fertilité conservée pour une production durable, une enquête a été menée auprès de 34 exploitations agricoles ainsi qu'une comparaison des systèmes agroforestiers à d'autres systèmes de culture à travers les propriétés physico-chimiques du sol dans la zone des piémonts du Dahra mostaganémois.

Les résultats obtenus concernant les différents systèmes de production agricole (SAF, SA, SC) pratiqués dans notre zone d'étude montrent que la nature du sol, la pente ainsi que les pratiques agricoles inappropriées ne font qu'accentuer le phénomène de l'érosion hydrique.

On relève à partir de nos observations sur terrain que les pertes en terre dues à l'érosion en rigoles et en ravines sont très élevées sur les sols nus où le travail du sol se fait dans le sens de la pente. Ce qui les rend peu favorables au maintien de la fertilité et de la productivité des sols.

D'après l'enquête, les paysans sont en général conscients de l'état de dégradation de leurs terres qu'ils perçoivent à travers des variations du milieu naturel. Alors, ils sont obligés de s'adapter à l'érosion et de gérer la productivité de leurs sols de façon plus ou moins aléatoire. Aussi, ils accordent une place importante aux arbres dans leurs exploitations.

L'analyse statistique a permis de dégager une relation étroite entre les différents systèmes de culture et la sensibilité des sols à l'érosion hydrique et leur fertilité. Quand les teneurs en matières organiques sont très faibles, une forte variation de l'érodibilité des sols se fait ressentir aussi bien en amont qu'à l'aval de ces derniers. Ceci est dû essentiellement à la non restitution au sol des débris végétaux.

Contrairement à ce que l'on lit souvent dans la littérature, aucune différence remarquable dans l'influence des systèmes de culture sur les propriétés du sol n'a été constatée à cause des pratiques culturelles toujours inappropriées pour chacun des systèmes.

Donc l'efficacité du système agroforestier ne s'est pas révélée dans notre situation comme le cas du houppier des arbres de grande taille qui doit protéger au mieux le sol mais, c'est plutôt le couvert végétal au sol et la litière qui tapisse celui-ci (Hamilton, 1986). Quand le sol est nu sous les arbres, les grosses gouttes d'eau qui tombent du haut feuillage provoquent une érosion par impact et un ruissellement en nappe plus prononcé qu'une pluie tombant sur un sol à découvert (Lembaga, 1980). Souvent, ce n'est pas la suppression des arbres qui entraîne l'érosion des sols, mais le fait de déranger l'étage inférieur de la végétation, la litière de débris végétaux et la mise à nu du sol qui résultent souvent de l'exploitation agricole. Le couvert végétal permanent de toute nature constitue le principal facteur qui réduit considérablement l'érosion hydrique des sols.

## **Suggestions de solutions aux problèmes de l'érosion hydrique**

Souvent négligés de nos jours, les systèmes de culture traditionnels encore pratiqués dans les piedmonts du Dahra mostaganémois peuvent être remis en valeur, modernisés et participer au développement d'une agriculture rurale et durable dans ces régions.

Parmi les techniques paysannes de la zone d'étude valorisant un matériel végétal d'une diversité non négligeable, les techniques biologiques présentent probablement un potentiel important pour traiter le ravinement, cloisonner les versants (embocagement) et créer des sols fertiles en améliorant leur production agricole.

A mesure que les pentes augmentent, tant en inclinaison qu'en longueur, les risques d'érosion croissent. Diverses techniques de conservation des sols permettent de réduire l'érosion. Combinée à des mesures d'aménagement du milieu, comme la plantation d'arbres et d'arbustes contribuent considérablement à maintenir le sol en place et à prévenir l'érosion hydrique (Besse et *al.*, 1998). Par le rôle qu'ils ont dans l'amélioration des sols et la lutte contre l'érosion hydrique ou éolienne les arbres ont un impact direct sur la production agricole. De ce fait, l'agroforesterie s'avère intéressante à la fois pour la lutte contre l'érosion hydrique et pour assurer un équilibre durable entre la conservation de la fertilité et la production agricole.

Depuis une dizaine d'années, on prête beaucoup d'attention au potentiel de développement des systèmes agroforestiers (Sanchez, 1987). Les techniques d'agroforesterie peuvent avoir un impact positif sur la production agricole en améliorant les caractéristiques physico-chimiques des sols, en y entretenant le niveau de matière organique et en favorisant le recyclage des nutriments. Elles permettent en outre de réduire l'érosion et d'améliorer les micro-climats, comme il a été vu à la partie précédente.

Toutefois, il importe de reconnaître que le simple fait de planter des arbres ne garantit pas une prévention efficace de l'érosion. La conception et la conduite des systèmes sont en effet cruciales. Le simple fait de planter des arbres dans un système cultural ou pastoral, ou même un reboisement complet n'éliminera pas l'érosion superficielle. On signale par exemple de graves phénomènes érosifs sous des plantations en raison de l'absence de végétation à l'étage inférieur et de la litière à la surface du sol (Bell, 1973). Pour la même raison, introduire des arbres dans le cadre d'un système agroforestier ne porte pas remède au problème de l'érosion si le sol entre les arbres reste nu la majeure partie de l'année (Hamilton, 1986).

Il est néanmoins largement reconnu que le fait de combiner arbres et autres techniques de conservation des sols permet d'accroître fortement les possibilités de pratiquer durablement des cultures sur les terrains en pente. Des techniques de cet ordre sont pratiquées dans de nombreux systèmes traditionnels d'agroforesterie (Nair, 1984a ; Vergara et Briones, 1987). Ces systèmes qui combinent arbres, couvert végétal au sol et élevage entretient, s'il est convenablement pratiqué assure une bonne stabilité des sols qu'il améliore par ailleurs rapidement pendant la jachère.

Pour mieux cerner ce problème, il convient d'informer et de former les paysans et d'améliorer la sécurité foncière. La formation à l'intention des paysans devrait se porter sur les pratiques conversationnistes et les techniques culturelles simplifiées.

Elles consisteraient à initier l'agriculteur à mettre en place des bandes enherbées, des haies vives et des terrasses en courbe de niveau tout en complétant leurs installations par des structures biologiques et mécaniques.

Les bandes enherbées ainsi que les haies vives devraient s'établir sur toutes les parcelles en pente en utilisant le pistachier *lentisque* (*Pistacia lentiscus*) qui est un arbuste très largement répandu dans la région et qui se développe naturellement même au fond des ravins et talwegs assurant une couverture végétale permanente. Lorsqu'elles sont plantées perpendiculairement au sens de la pente, elles ont un effet significatif sur l'érosion pluviale (Palma et al., 2007). Elles créent une barrière physique contre l'écoulement des eaux et laissent une couverture de sol qui diminue la vitesse de l'écoulement (Nair, 1993) pouvant créer des habitats pour les prédateurs des ravageurs des espèces cultivées. De plus, les racines retiennent la terre et créent des canaux de drainage verticaux, le rendant plus perméable à l'eau (Kaeser et al., 2011). L'importante quantité de matière organique améliore la structure physique et la conductivité hydraulique du sol, ce qui participe également à sa perméabilité (Schroth et Sinclair, 2003). L'effet contre l'érosion pluviale est particulièrement significatif si les arbres sont plantés dans des terres cultivées de manière plus ou moins intensive en travail du sol (Palma et al., 2007). La présence d'une ligne enherbée entre les arbres a également un effet important contre l'érosion pluviale (Nair, 1993).

Après chaque récolte, les sols restent trop souvent nus et sans aucune protection végétale durant les mois d'automne et d'hiver quand les averses sont les plus agressives. Le couvert végétal est globalement insuffisant pour assurer la protection des sols malgré la couverture arboricole dans la zone. L'aménagement des ravines au niveau parcellaire permet d'éviter les dégâts en aval et favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol. Quant aux techniques culturales, elles auraient pour objectif à initier l'agriculteur à planter en courbes de niveau et dans le sens perpendiculaire de la pente la culture intercalaire. L'efficacité de cette dernière à réduire l'érosion dépend de la protection qu'elle offre à différentes périodes de l'année en fonction de l'importance des précipitations érosives reçues au cours de ces périodes. Les cultures qui procurent un couvert végétal complet durant la majeure partie de l'année (p. ex., luzerne et cultures de couverture d'automne) permettent de beaucoup mieux maîtriser l'érosion que les cultures qui laissent le sol nu pendant plus longtemps (p. ex., cultures en rangs), particulièrement pendant les périodes de précipitations très érosives. Aussi pour freiner le gros de l'érosion dans les cultures en rangs sur les pentes est de laisser des résidus couvrant plus de 30 % de la surface du sol après la récolte et pendant les mois d'hiver ou semer une culture de couverture sous couvert (p. ex., du trèfle à la suite de de blé) et éviter surtout les pacages.

Les chercheurs, en relation étroite avec les agents de développement, doivent étudier les possibilités d'améliorer ces techniques paysannes. Du dialogue entre ces groupes d'acteurs peut naître une prise en charge de l'environnement rural par les communautés qui l'exploitent moyennant des aides techniques et financières significatives de l'état.

*Références  
bibliographiques*

- AGROOF (Société Coopérative et Participative Spécialisée dans l'Agroforesterie), 2010** - Guide : L'agroforesterie dans les réglementations agricoles. URL : [http://www.agroof.net/agroof\\_ressources/documents/guide\\_juridique\\_apca\\_juin2010.pdf](http://www.agroof.net/agroof_ressources/documents/guide_juridique_apca_juin2010.pdf). (Page consultée le 28/11/2015).
- Alcaraz C., 1982** - La végétation de l'Ouest algérien. Thèse de Doct. Sci., Univ. Perpignan. Parus renéotypés: Vol. 1: 415 p., Vol. 2: 24 graph. et tab. + 13 cartes dont 1 carte au 1 : 500.000ème en couleur, Vol. 3: tabl. phyto.116 p.
- Amezketta E., Singer M.J. et Le Bissonnais Y., 1996** - *Testing a new procedure for measuring water-stable aggregation. Soil Science Society of America Journal*, 60: 888-894 p.
- Arabi M. et Roose E., 2012** - Effets de la GCES sur la production agricole en moyenne montagne méditerranéenne algérienne. Lutte antiérosive, réhabilitation des sols tropicaux et protection contre les pluies exceptionnelles. IRD (Ed.), Marseille, 101-109 p.
- Ardouin A., 2014** - Guide pratique pour la description des sols de France. CEN, Bourgogne, France, 24 p.
- Arnold J.B., Wall G., Moore N., Baldwin C.S., Shelton I. J., 1989** - L'érosion du sol- *Causes et effets*. Direction de la gestion du sol et de l'eau/MAAARO et Institut ontarien de pédologie 89-064.
- Ataroff M., et Monasterio M., 1997** - *Soil erosion under different management of coffee plantations in the Venezuelan Andes. Soil Technology*, Vol. 11, 95-108 p.
- Aubert G., 1978** - Méthodes d'analyses des sols. CNDP et CRDP (Ed.), Marseille, 189 p.
- Badraoui M. et Stitou M., 2001** - *Status of soil survey and soil information system in Morocco. In Zdruli p, Steduto P., Lacirignola C., Montanarella L., eds., Soil resources of southern and Eastern Mediterranean countries*, Bari : Centre international de hautes études agronomiques méditerranéennes-Instituto Agronomico Mediterraneo di Bari (Ciheam-IAMB).
- Baize D., 1988** - Guide des analyses courantes en pédologie. INRA (Ed.), Paris, 171 p.
- Baldy C., 1974** - Contribution à l'étude fréquentielle des conditions climatiques : leur influence sur la production des principales zones céréalières d'Algérie. Document technique, Projet céréales. 152 p.
- Balesdent J., Arrouays D., Chenu C., Feller C., 2005** - Chapitre 10 : Stockage et recyclage du carbone, 238-259. *In Girard M.C., Walter C., Remy J.C., Berthelin J., Morel J.L., 2005. Sols et Environnement*, Dunod (Ed.), 816 p.
- Balleux P. et Van Leberghe P., 2001** - Guide technique: le boisement des terres agricoles. Institut pour le développement forestier, Paris, 13-16 p.
- Battany M.C. et Grismer, M.E., 2000** - *Rainfall runoff and erosion in Napa Valley vineyards : effects of slope, cover and surface roughness, Hydrological Processes*, 14 : 1289-1304 p.
- Baudry J. et Jouin A., 2003** - De la haie aux bocages. Organisation, dynamique et gestion, FRA (Ed.), INRA, Paris, 435 p.
- Belgat S., 2001** - Le littoral Algérien : Climatologie, géopédologie, syntaxonomie, édaphologie et relation sol-végétation. Thèse. Doct. Sci. Agr. INA. El Harrach, 261 p.
- Bell T.I.W., 1973** - *Erosion in the Trinidad Teak Plantations. Commonwealth Forestry Review* 52, 223-233 p.
- Benabdelli K., 1996** - Aspects physionomico-structuraux et dynamique des écosystèmes forestiers faces à la pression anthropozoogène dans les monts de Tlemcen et les Monts de Dhaya. Algérie occidentale, Doct. Es-sci. Univ. Djilali Liabes de Sidi Bel Abbés, 356 p + annexes.
- Benavides R., Douglas G.B. et Osoro K., 2009** - *Silvopastoralism in New Zealand: review of effects of evergreen and deciduous trees on pasture dynamics. Agroforestry Systems* 76, 327-350 p.

- Bergesma E., Charman P., Gibbons F., Hurni Moldenhauer W.C. et Panichapong S., 1996** - *Terminology for soil erosion and conservation*. ISSS.
- Berrayah M., 2004** - Analyse de la dynamique des systèmes et approche d'aménagement intégré en zones de montagnes : Cas des Monts des Traras (W. Tlemcen). Mém. Mag. For. Univ. Tlemcen, 179 p.
- Bertschinger L., Christian G., Ryser J.P., Häseli A., Neuweiler R., Pfammatter W., Schmid A. et Weibel F., 2003** - Données de base pour la fumure en arboriculture fruitière, Fruits à pépins, fruits noyau, kiwis, baies d'arbustes. *Eidgenössische Forschungsanstalt, Postfach 185, CH-8820 Wädenswil* (Ed.), 48 P.
- Besse F., Harmand J.M. et al., 1998** - L'arbre et les formations arborées éléments moteurs du développement rural ? *In Breman H. et Sissoko K.* L'intensification agricole au Sahel. Paris, Karthala, 793-800 p.
- Bestaoui K., 2001** - Contribution à une étude syntaxonomique et écologique des matorrals de la région de Tlemcen. Mém. Mag. Univ. Tlemcen, 173 p.
- Blaikie P., 1985** - *The political economy of soil erosion in developing countries*. Longman development series, Nr. 1, Longman, London, 188p.
- Boiffin J., 1976** - Histoire hydraulique et stabilité structural de la terre, Annales Agronomiques, 27 (4) : 447-463 p.
- Boiffin J., 1984** - La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse Doc. Ing. I.N.A.P.G, Paris, 320 p.
- Bolline A. et Rousseau P., 1978** - Erodibilité des sols de la moyenne et haute Belgique, utilisation d'une méthode de calcul K de l'équation universelle de pertes en terre. Bull. Soc. Géog. de Liège, Nr.14, 127-140 p.
- Bouazza M. et Benabadji N., 2000** - Quelques modifications climatiques intervenues dans le Sud-Ouest de l'Oranie (Algérie occidentale). Rev. En. Ren. Vol. 3, 117-125 p.
- Boukheir R., Girard M. C., Khawlie M. et Abdallah C., 2001** - Erosion hydrique des sols dans les milieux méditerranéens, une revue bibliographique, Etude et gestion des sols, Vol. 8, Nr. 4, 231-245 p.
- Bouroche J.-M. et Saporta G. 1983** - L'analyse des Données. Que sais-je ? (Collection), Presses Universitaires de France (Ed.), Paris, 133 p.
- Bradford J.M. et Huang C., 1996** - *Splash and detachment by waterdrops*, *In Agassi M., Soil Erosion, Conservation, and Rehabilitation, Books in Soils, Plants and the Environment*, Chapitre 4, Dekker, New York, 61-76 p.
- Buck L.E., Lassoie J.P., Fernandez E.C.M., 1998** - *Agroforestry in sustainable agricultural systems (advances in agroecology)*. CRC Press, Boca Raton, FL, 416 p.
- Calvet G. et Villemin P., 1986** - Interprétation des analyses de terre. SCPA (Ed.), 24 p.
- Calvet R., 2003** - Le sol propriétés et fonction, Tome 1 : Constitution et structure phénomènes aux interfaces. France Agricole (Ed.), 456 p.
- Cambardella C.A. et Elliott E.T., 1993** - *Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils*. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57: 1071-1076 p.
- Canet A., 2013** - L'agroforesterie ou l'insertion de l'arbre dans l'aménagement et la production agricole et viticole. Asso. Française d'Agroforesterie, Arbre & Paysage 32, Toulouse, 47-49 p.
- Cannavo P., Sansoulet J., Siles P., Harmand J.M., Dreyer E., Vaast P., 2010** - *Estimation of water use and modelling water balance in a coffee (Coffea Arabica L.) plantation shaded with Inga densiflora in Costa Rica*. *In prep.*
- Carroll C., Merton L., et Burger P., 2000** - *Impact of vegetative cover and slope on runoff, erosion, and water quality for field plots on a range of soil and spoil materials on central Queensland coal mines*, *Australian Journal of Soil Research*, 38: 313-327 p.

- Cattell R.B., 1966** - *The scree test for the number of factors. Multivariate Behavioral Research*, 1(2), 245-276 p.
- CCE (Commission des Communautés Européennes), 2002** - Vers une stratégie thématique pour la protection des sols- COM (2002) 179 final, Bruxelles le 16.4.2002, 39 p.
- Chaumont M. et Paquin C., 1971** - Carte pluviométrique de l'Algérie et notice explicative. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, Alger.
- Chaussod R., 1996** - La qualité biologique des sols : évaluation et implications. Etude et gestion des sols 3 (4), 261-278 p.
- Chehlafi A., Kchikach A., Derradji A.k., 2014** - Protection des talus autoroutiers par arcades bétonnées ou maçonnées. Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur (JNGG), Beauvais, Paris.
- Chennafi H., 2012** - Amélioration de la Productivité du Blé en Environnement déficitaire en eau. Labo. Vrbn. Univ. Setif, Algérie, *Revue Agriculture* Nr. 3, 24-29 p.
- Chenu C., 2009** - Mise au point d'outils de prévision de l'évolution de la stabilité de la structure de sols sous l'effet de la gestion organique des sols « MOST » (Matières Organiques et Structure des sols). Rapport final de contrat, Appel d'offres GESSOL2, 45 p. URL : <http://www.gessol.fr/sites/default/files/rapportfinalMOSTV1janv09.pdf>. (Page consultée le 23/10/2015).
- CIRAD (Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement), 2009** - Mémento de l'agronome. GRET, et Ministère des Affaires Etrangères, Editions Quae (Ed.), France.
- Combeau A. et Quantin P., 1962** - Érosion et stabilité structurale du sol. Paris : Association internationale des sciences hydrologiques (AIHS), 59 p.
- Cook D.J., Dickinson N.T., et Rudra R.P., 1985** - GAMES: *Guelph model for evaluating the effects of agricultural management systems on erosion and sedimentation* . *Uses Manuel*, Ontario, *School of Engineering*, Univ. Guelph.
- Corwin D.L., Lesch S.M., 2003** - *Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: theory, principles, and guidelines. Agronomic Journal*, 95 (3), 455-471 p.
- Daget Ph., 1977** - le bioclimat méditerranéen, caractères généraux, mode de caractérisation de la végétation. *Végétation*, Vol.34, 1-30 p.
- De Jong E., Ballantyne A.K., Cameron D.R. et Read D.W.L., 1979** - *Measurement of apparent electrical conductivity of soils by an electromagnetic induction probe to aid salinity surveys. Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43 : 810-812 p.
- De Noni G., Blavet D., Laurent J.Y., Le Bissonnais Y. et Asseline J., 2002** - *Proposal of soil indicators for spatial analysis of carbon stocks evolution, 17th World Congress of Soil Science: Confronting new realities in the 21<sup>st</sup> Century*, Bangkok, Thailand, 11 p.
- Delaunois A., 2006** - Guide simplifié pour la description des sols. Chambre d'agriculture Tarn, France, 37 p.
- Delaunois A., Ferrie Y., Bouche M., Colin C. et Rionde C., 2008** - Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols destiné aux agriculteurs et aux agronomes. Chambre d'agriculture 81, INRA, Montpellier, 37 p.
- Dembele M., 1994** - Mesures techniques, organisationnelles et administratives de prévention des incendies. Mém. Ing. D'Etat. Agro. Univ. Mostaganem, 67 p.
- Demmak A., 1982** - Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse Doct. Ing, Paris, 323 p.
- Deygout Ph., et Treboux M., 2012** - Systèmes de production durables en zones sèches : quels enjeux pour la coopération au développement? Direc. Gén. Mondiali. Dévelop. Partenar. 24 p. URL: [http://www.diplomatie.gouv.fr/fr/IMG/pdf/Synthese\\_production\\_durable\\_en\\_zones\\_seches\\_cle84f69b.pdf](http://www.diplomatie.gouv.fr/fr/IMG/pdf/Synthese_production_durable_en_zones_seches_cle84f69b.pdf). (Page consultée le 18/05/2015).

- DGACTA (Direction Générale des Aménagements et Conservation des Terres), 1995** - Guide de conservation des eaux et des sols. Ministère de l'agriculture de la Tunisie, Tunis, 273 p.
- Djili K. et Daoud Y., 1999** - Distribution latérale et verticale de l'ESP des sols du Nord de l'Algérie compte rendu du séminaire national sur la salinisation des terres agricoles. CRSTRA, Chéelif, Nr. 99, 25-44 p.
- Djili K., 2000** - Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie. Thèse Doct. INA, Alger, 243 p.
- Dommergues Y., Duhoux E., Diem H. G., 1999** - Les arbres fixateurs d'azote : caractéristiques fondamentales et rôle dans l'aménagement des écosystèmes méditerranéens et tropicaux, avec référence particulière aux zones, CIRAD, Montpellier, 499 p.
- Duparque A., Fleutry L., Dersigny Ch., Ancelin O., et Duranel J., 2007** - Mémento Sols et matières organiques : pour des notions utiles et contre les idées reçues. Agro-Transfert Ressources et Territoires, Chambre d'Agriculture Picardis, Amiens, France, 45 p + Index.
- Dupraz C. et Liagre F., 2008** - Agroforesterie : Des arbres et des cultures. France Agricole (Ed.), Paris, 413 p.
- Ekern P.C., 1950** - *Raindrop impact as the force initiating soil erosion. Soil Science Society of America Proceedings*, 15 :7-10 p.
- Ekweue E.I., Ohu J.O. et Wakawa I.H., 1993** - *Effect of incorporation two organic materials at varying levels on splash detachment of some soils from borno State, Nigeria. Earth Surface Processus and Landforms* 18: 399-406 p.
- El Garouani A., Merzouk A., Jabrane R., et Boussema M., 2003** - Cartographie de l'érosion des sols dans le bassin versant de l'oued Jemaa (Pre-Rif, Maroc). Lab. Géo. RNE. Fac. Sci. Tech. Fès-saïss (FST). Rev. Géo, Nr. 1 : 39-46 p.
- El Hai H., 1968** - *Biogéographie*. Armand COLIN (Ed.), Paris, 406 p.
- Eliard J.L., 1979** - Manuel d'agriculture générale. J.B. Baillière (Ed.), Paris, 344 p.
- Elliott E.T., 1986** - *Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils. Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50: 627-633 p.
- Ellison W.D., 1944** - *Studies of raindrop erosion. Agric. Eng.* 25, 131-181 p.
- Emberger L., 1930b** - La végétation de la région méditerranéenne. Essai de classification des groupements végétaux. Rev.Gen.Bot.42, 705-721 p.
- Emberger L., 1955** - Une classification biologique des climats. Recueil. Trav. Labo. Géol. Zool. Fac. Sci. Montpellier, 48 p.
- Emberger L. et Lemée G., 1962** - Écologie végétale. *Les problèmes des zones arides*, UNESCO (Ed.), Recherche zone aride, Paris, Vol. XVIII, 215-229 p.
- Fenet B., 1975** - Recherche sur l'application de la bordure septentrionale du bouclier africain à partir de l'étude d'un élément : Les monts du Djebel Tessala et les massifs du Tell Oranais. Thèse Sci., Univ. Nice, 301 p.
- Ferrer-Julià, M., EstrelaMonreal T., Sánchez del Corral Jiménez A. et García Meléndez E., 2004** - *Constructing a saturated hydraulic conductivity map of 8590 Spain using pedotransfer functions and spatial prediction. Geoderma*, Vol.123, 275-277 p.
- Fox D., Carrega P., Morschel J., Emsellel k. et Equipe T., 2008** - La dégradation des sols dans le monde. Univ. Nice Sophia Antipolis, URL : <http://unt.unice.fr/uoh/degsol/DFox.php>. (Page consultée le 30/11/2015).
- Franco G., 2012** - L'agroforesterie: des arbres en faveur d'une agriculture européenne durable. L'Inter groupe du PE « Changement climatique, biodiversité et développement durable, Parlement européen, Bruxelles, 1-15 p.
- Free G., 1952** - *Soil movement by raindrops, Agricultural Engineering*, 491-494, 496 p.

- Gagnard J., Huguet C. et Ryser J.P., 1988** - l'analyse du sol et du végétal dans la conduite de la fertilisation, le contrôle de la qualité des fruits. Secrétariat générale OILB/SROP (Ed.), Diffusion ACTA, 87 p.
- Galevski M., 1955** - La corrélation entre les pluies torrentielles et l'intensité de l'érosion. *In* École Nationale des Eaux et Forêts, Station de Recherches et d'Expériences forestières. URL : [http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/33567/AEF\\_1955\\_14\\_2\\_379.pdf](http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/33567/AEF_1955_14_2_379.pdf). (Page consultée le 02/09/2015).
- Gautronneau Y. et Manichon H., 1987** - Guide méthodique du profil cultural. GEARA et CEREF (Ed.), Paris-Lyon, 71 p.
- Genot V., Colinet G. et Bock L., 2007** - Fertilité des sols agricoles et forestiers en région wallonne. Rapport FUSAG, 75 p.
- Germain E., Prunet J. P., et Alin G., 1999** - Le Noyer. Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et des Légumes (CTIFL) (Ed.), 279 p.
- Girard M.C., Walter C., Rémy J.C., Berthelin j. et Morel J.L., 2005** - Sols et environnement. DUNOD, Paris, 816 p.
- Gruber J.-S., 2011** - *Perspectives of effective and sustainable community-based natural resource management: An application of Q methodology to forest projects. Conservat Soc* 9, 159-171 p.
- GTZ, 1996** - L'aménagement des zones Marneuses dans les bassins-Versants des Montagnes de l'Atlas Tellien Semi-Aride. *Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ)*.
- Guardia P., 1975** - Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranais occidentale. Relation structurale et paléogéographique entre le Rif extérieur, le tell et l'avant pays atlasique. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, Univ. Nice, 285 p.
- Guessoum A., 2001** - L'effet de l'irrigation sur la salinité du sol dans la région de Saada - Biskra. Thèse Ing., Agro.Univ. Batna, 50 p.
- Hamilton L.S., 1986** - *Overcoming Myths about Soil and Water Impacts of Tropical Forest Land Uses. In El Swaify, S.A. et al (eds.) Soil Erosion and Conservation. Soil Conservation Society of America, Ankeny*, 680-690 p.
- Heller R., Esnault R. et Lance C., 1998** - Physiologie Végétale. Tome 1 : Nutrition, Abrégé 6<sup>ème</sup> (Ed.), DUNOT, Paris, 323 p.
- Hénin S., Monnier G., Combeau A., 1958** - Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. *Annales agronomiques*, 9: 73-92 p.
- Hirche A., Bougnani A., et Salamani M., 2007** - Evolution de la pluviosité annuelle dans quelques stations arides algériennes. *Rev. Séch. Vol. 18, (4): 314-320 p.*
- Huber G. et Schaub C., 2011** - La fertilité des sols : L'importance de la matière organique. Service Environnement-Innovation, France, 8-22 p.
- Ifen, 2005a** - L'Erosion des sols, un phénomène à surveiller, Les données de l'Environnement, Nr. 106, 4 p.
- Jamagne M., 1967** - Bases et techniques d'une cartographie des sols. *Annales agronomiques*, Vol.18. Nr. hors-série, 142 p.
- Jarraud M., 2005** - Le climat et la dégradation des sols. Organisation météorologique mondiale, OMM-Nr 989, ISBN 92-63-20989-8, Genève 2, Suisse.
- Jebari, S., Berndtsson, R., Bahri, A. et Boufaroua, M., 2010** - *Spatial soil loss risk and reservoir siltation in semi-arid Tunisia. Hydrol. Sci. J. 55(1), 121-137 p.*
- Jose S., Gillespie AR., Pallardy S.G., 2004** - *Interspecific interactions in temperate agroforestry. Agrofor. Syst. 61: 237-255 p.*
- Kaesar A., Sereke F., Herzog F. et Palma J., 2011** - Prestations environnementales de l'agroforesterie. Importance des arbres dans l'agriculture pour la protection des eaux et des sols, du climat, de la biodiversité et pour l'esthétique du paysage, Tanikon.

- Kay B.D., 1998** - *Soil structure and organic carbon. In Soil processes and the carbon cycle review*, Lal et al., (Ed.), 169-197 p.
- Kemper W.D. et Koch E.J., 1966** - *Aggregate stability of soils from western US and Canada. Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture*, 52 p.
- König D., 1992** - L'agriculture écologique agroforestière-une stratégie intégrée de conservation des sols au Rwanda. *Bull. Réseau Érosion, IRD (Ed.)*, Montpellier, 130-139 p.
- König D., 2008** - De l'agroforesterie traditionnelle à l'agriculture écologique moderne. Stratégies pour la conservation de la fertilité des sols des hautes terres de l'Afrique de L'Est. Efficacité de la GCES en milieu semi-aride. AUF, EAC et IRD (Ed.), Paris, 105-110 p.
- König D., 2012** - Influence de l'agroforesterie sur l'érosion hydrique et la restauration de la productivité des sols ferrallitiques acides du Rwanda. Lutte antiérosive, réhabilitation des sols tropicaux et protection contre les pluies exceptionnelles. IRD (Ed.), Marseille, 424-429 p.
- Kostadinov S., Mrkovic S., Zlatic M., Stojkov N., Milosevic-sickinger S., 1996** - Influence de la couverture végétale sur la répartition et l'intensité de l'érosion hydrique dans le bassin versant. *Effect of vegetative cover on the distribution and intensity of water erosion in the watershed, Internationales Symposium Interpraevent. Tagungspublikation, Gamisch-Partenkirchen*, Allemagne, 225-234 p.
- Labant P., 2009** - Principes d'Aménagement et de Gestion des Systèmes Agroforestiers. Guide technique (PAGESA), Association Française Arbres et Haies Champêtres (AFAHC), INRA Orléans, France, 40 p.
- Lal R., et Cummings D J., 1979** - *Clearing a tropical Forest, 1. Effects on Soil and microclimate. Field crops research 2* : 91-107 p.
- Larid M., 1993** - Le rôle du machinisme agricole dans l'érosion des sols. Cas du plateau de Mostaganem (Algérie). Thèse Doct. Univ. Louis-Pasteur, Strasbourg I, 109 p.
- Lavabre J. et Marin C., 2000** - Conséquences d'un incendie de forêt dans le bassin versant du Rimbaud (massif des Maures, Var, France). Destruction et régénération du couvert végétal, impacts sur l'hydrologie, l'hydrochimie et les phénomènes d'érosion mécanique, Cemagref 1<sup>ème</sup> (Ed.), Coll. Etudes Gestion des milieux aquatiques, Nr.16, 170 p.
- Le Bissonnais Y. et Arrouays D., 1997** - *Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility : Application to humic loamy soil with various organic carbon contents. European Journal of Soil Science* 48: 39-48 p.
- Le Bissonnais Y., 1988** - Analyse des mécanismes de désagrégation et de la mobilisation des particules de terre sous l'action des pluies, Thèse. Doc, Univ. Orléans, 220 p.
- Le Bissonnais Y., 1996** - *Aggregate stability and measurement of soil crustability and erodibility : I. Theory and methodology. Europ. J. Soil Sci.*, 47: 425-437 p.
- Le Bissonnais Y., Cerdan O., Fox D., Gascuel-Oudoux C., Martin P., Planchon O., Rajot J.L., Revel J.C., 2005** - L'érosion des sols. Sols et Environnement, Dunod (Ed.), 816 p.
- Le Bissonnais Y., Cros-Cayot S., Gascuel-Oudoux C., 2002b** - *Topographic dependence of aggregate stability, overland flow and sediment transport. Agronomie*, 22: 489-501 p.
- Le Bissonnais Y., Thorette J., Bardet C., Daroussin J., 2002a** - L'érosion hydrique des sols en France. INRA Orléans, IFEN, 108 p.
- Leclerc B., 2001** - Guide des matières organiques. 2<sup>ème</sup> (Ed.), Paris, ITAB.
- Leguédois S. et Le Bissonnais, Y., 2004** - *Size fractions resulting from an aggregate stability test, interrill detachment and transport. Earth Surface Processes and Landforms, in press.*
- Leguédois S., 2003** - Mécanismes de l'érosion diffuse des sols : Modélisation du transfert et de l'évolution granulométrique des fragments de terre érodés, Thèse. Doct. Sci. Agr. Univ. Orléans, France, 156 p.
- Lembaga E., 1980** - *Report on study of Vegetation and Erosion in he Jatiluhur Catchment. Institute of Ecology, Bandung.*

- Léonard J., Le Bissonais Y., Andrieux P., Darboux F., 2009** - L'érosion, un acteur majeur de la dégradation des sols et de l'environnement. *Le Sol*, Dossier INRA, Quae (Ed.), Versailles, France, 128-131 p.
- Liu P., Zhao H., Wang L., Liu Z., Wei J., Wang Y., Jiang L., Dong L., Zhang Y., 2011** - *Analysis of Heavy Metal Sources for Vegetable Soils from Shandong Province, China. Agricultural Sciences in China*, 10 (1), 109-119 p.
- Louis A., 2014** - Agroforesterie intra parcellaire à la bergerie de Villarceaux. Centre écodéveloppement de Villarceaux, synth. mém. fin-étu., l'Isa Lille, France, 63 p + annexes.
- Loz J. et Mathieu C., 1990** - Dictionnaire de science du sol. Lavoisier 2<sup>ème</sup> (Ed), Paris, 266 p.
- M'seffar J., 2009** - L'érosion des sols agricoles en Estrie, causes et conséquences. Essai, M. Env. Centre univ. De for. En Env. Univ. Sherbrooke, 178 p.
- Mazour M., 2004** - Etude des facteurs de risque de ruissellement et de l'érosion en nappe et conservation de l'eau et du sol dans le bassin versant de l'Isser (Tlemcen). Thèse Doct. D'état, Univ. Tlemcen, 184 p.
- Mendez V.E., Gliessman S.R., Gilbert G.S., 2007** - *Tree biodiversity in farmer cooperatives of a shade coffee landscape in western El Salvador. Agriculture Ecosystems & Environment*, Vol. 119, 145-159 p.
- Mendez V.E., Shapiro E.N., Gilbert G.S., 2009** - *Cooperative management and its effects on shade tree diversity, soil properties and ecosystem services of coffee plantations in western El Salvador. Agroforestry Systems*, Vol. 76, 111-126 p.
- Merzouk A., 2010** - Contribution à l'étude phytoécologique et biomorphologique des peuplements halophiles dans la région occidentale de l'Oranie (Algérie). Thèse Doct. Univ. Sci. Tlemcen, 84-92 p + Annexes.
- Morel R., 1996** - Les sols cultivés. Lavoisier 2<sup>ème</sup> (Ed.), Paris, 399 p.
- Morsli B., Mazour M., Arabi M., et Roose E., 2005** - *Influences of land uses, soils and cultural practices on carbon eroded and carbon stocks in soils of Mediterranean mountains of northern Algeria. In « Soil erosion and carbon dynamics », Advances in Soil Sciences (Ed.), CRC publisher, Boca Roton, USA.*
- Morsli B., Mazour M., Mededjel N. et Roose E., 2004** - Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et de l'érosion sur les versants semi-arides du Nord-Ouest de l'Algérie, *Sécheresse* 2004, 15(1), 96-104 p.
- Moussadek R., 2012** - Impacts de l'agriculture de conservation sur les propriétés et la productivité des vertisols du Maroc. *Central 1, Afrika focus*, Vol. 25, Nr. 2, Belgique, 147-151 p.
- Mulamba J.P.J., 2012** - Performances de certaines légumineuses arbustives : station INERA de Kipopo, République Démocratique du Congo. Lutte antiérosive, réhabilitation des sols tropicaux et protection contre les pluies exceptionnelles. IRD (Ed.), Marseille, 429-433 p.
- N'dayegamiye A., Giroux M. et O.Gasser M., 2007** - La contribution en azote du sol reliée à la minéralisation de la MO: facteur climatique et régies agricoles influençant les taux de minéralisation d'azote. Colloque sur l'azote, CRAAQ-OAQ, Univ. Laval, Québec, 1-28 p.
- Nair P.K.R., 1993** - *An Introduction to Agroforestry. Springer.*
- Nair P.K.R., Buresh R.J., Mugendi D.N., Lattc R., 1999** - *Nutrient Cycling in Tropical Agroforestry Systems: Myths and Science. Chapter 1 in Buck et al. 1999.* 1-31 p.
- Nair P.K.R., 1984a** - *Soil Productivity Aspects of Agroforestry. Science and Practice of Agroforestry 1. International Council for Research in Agroforestry (ICRAF), Nairobi.*
- Ndayizigiye F., 2012** - Les techniques traditionnelles de GCES et de restauration de la productivité des sols au Rwanda. Lutte antiérosive, réhabilitation des sols tropicaux et protection contre les pluies exceptionnelles. IRD (Ed.), Marseille, 157-179 p.

- OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Economiques), 2005** - Agriculture, échanges et environnement. Le secteur des grandes cultures, OCDE (Ed.), Paris, 361 p.
- Olyphant G.A., et Harper D., 1995** - *Effects of direct revegetation on the hydrology, erosion and sediment yield of an abandoned deposit of coal-mine refuse*, *Geomorphology*, 11 : 261-272 p.
- Ozenda P., 1964** - Biogéographie végétale. DOIN-DEREN (Ed.) et Cie, Paris, 374 p.
- Palma J.O.H., Graves A.R., Burgess P.J., Keesman K., Van Keulen H., Mayus M., Reisner Y. et Herzog F., 2007** - *Methodological approach for the assessment of environmental effects of agroforestry at the landscape scale*. *Ecological engineering* 29, 450-462 p.
- Pasquier L., 2009** - L'argile et Lamotte. Guide du sol, Unité Informatique Pédagogique, ENESAD, France, 111 p.
- Paul-Hus C., 2011** - Méthodes d'étude de l'érosion et gestion des sites dégradés en Nouvelle-Calédonie. Essai, M. Env. Centre univ. De for. En Env. Univ. Sherbrooke, 115 p.
- Peguy P., 1970** - Précis de climatologie. Masson et Cie (Ed.), France, 1-468 p.
- Perfecto I., Rice R.A., Greenberg R., Vander-Voort M.E., 1996** - *Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity*. *Bioscience*, Vol. 46, 598-608 p.
- Perrondon A., 1957** - Étude géologique des bassins néogènes sub-littoraux de l'Algérie occidentale. Bulletin du Service de la Carte géologique d'Algérie 12 : 382 p.
- Pineau W., 2008** - Agroforesterie et Agriculture durable : lutter contre la pauvreté, la malnutrition et contre les changements climatiques. Pro-Natura International, Paris. URL: <http://www.pronatura.org/wp-content/uploads/2011/12/Agroforesterie-2008-Fr.pdf>. (Page consultée le 21/10/2015).
- Pousset J., 2011** - Engrais verts et fertilité des sols. 3<sup>ème</sup> (Ed.), Paris, 32 p.
- Prat C., De Noni G., Etchevers J., Báez A., Hidalgo C., et Trujillo G., 2012** - Réhabilitation des sols volcaniques indurés d'Equateur et du Mexique: Comportement avant et après mise en culture. IRD (Ed.), Marseille, 110-132 p.
- Puget P., 1997** - Distribution spatiale des matières organiques à l'échelle des agrégats de sols limoneux cultivés. Conséquences sur la stabilité des agrégats et sur la biodégradation des matières organiques. Thèse Univ. Paris XII-Val de Marne, 188 p.
- Quézel P. et Barbero M., 1993** - Variations climatiques au Sahara et en Afrique sèche depuis le Pliocène : enseignements de la flore et de la végétation actuelle. *Bull. Ecol.* 24 : 191-202 p.
- Quézel P., 1957** - Peuplement végétal des hautes montagnes d'Afrique du Nord. Encyclopédie biogéo. Et école. Le chevalier (Ed.), Paris, 463 p.
- Quézel P., et Médail F., 2003** - Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Inst. Médit. D'écologie et de paléoécologie, Univ. Aix Marseille III, 571 p.
- Rey F., Ballais J.L., Marre A., Rovéra G., 2004** - Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface. *Géoscience*, 336 (11) : 991-998 p.
- Robert M., 1996** - Le sol: Interface dans l'environnement, ressources pour le développement. Masson (Ed.), Paris, 244 p.
- Robert M., 2005** - Chapitre 35 : La ressource en sols : menaces, nouveaux enjeux et mesures de protection. *Sols et Environnement*. DUNOD (Ed.), 816 p.
- Römkens M.J.M., 1985** - *The soil erodibility factor: A perspective*. In *Soil erosion and conservation*. El-Swaify, W.C. Moldenhauer, and A Lo. *Soil Conser. Soci. America*: Ankeny, Indiana.
- Roose E. et Barthès B., 2001** - *Organic matter management for soil conservation and productivity restoration in Africa : A contribution from French speaking research*. *Nutrient Cycling in Agrosystems*, 61 : 70-159 p.

- Roose E. et Sarrailh J.M., 1989-1990** - Erodibilité de quelques sols tropicaux-vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. Cah. ORSTOM, Ser. Pédol., Vol. XXV, Nr.1-2, 1989-90: 7-30 p.
- Roose E., 1980** - Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. ORSTOM, Paris, Trav. Et DOC. 130 : 587 p.
- Roose E., 1988** - *Soil and water conservation lessons from steep-slope farming in French-speaking countries of Africa*. In W.C Moldenhaner et N.W. Hudson, ed. *Conservation farming on steep lands*. Ankeny, Iowa, USA: *Soil and Water Conservation Society*, 129-139 p.
- Roose E., 2004** - Exemple de GCES en moyenne montagne méditerranéenne d'Algérie. Synthèse sécheresse, Vol. 15, Nr. 1, 9, 18, 54-66 p.
- Roose E., Albergel J., De Noni G., Sabir M., et Laouina A., 2008** - Efficacité de la gestion de l'eau et de la fertilité des sols en milieu semi-arides. AUF, EAC et IRD (Ed.), Paris, 425 p.
- Roose E., Sabir M., et Laouina A., 2010** - Gestion durable de l'eau et des sols au Maroc. Valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes, IRD (Ed.), 343 p.
- Rouet I., 2009** - Caractérisation et éléments de quantification d'aléas naturels liés à l'évolution des versants dans les massifs ultrabasiques de Nouvelle-Calédonie. Thèse. Doct. Univ. Nouvelle-Calédonie, Nouméa, 218 p.
- Ryser J-P., Walther U. et Flisch R., 2001** - Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages. Rev. Suisse Agric. 33 (3), 80 p.
- Sanchez P.A., 1987** - *Soil Productivity and sustainability in Agroforestry Systems*. In H.A. Steppeler and P.K.R. Nair (eds-), *Agroforestry: A Decade of Development*, ICRAF, Nairobi.
- Schroth G. et Sinclair F.L., 2003** - *Trees, crops and soil fertility: concepts and research methods*. CABI, Wallingford, Cambridge, UK, 464 p.
- Schvartz C., Muller J.C., Decroux J., 2005** - Grande cultures et prairies. Guide de la fertilisation raisonnée, France Agricole (Ed.), Paris, 63-64 p.
- Seltzer P., 1946** - Le climat de l'Algérie, Travaux de l'institut de météorologie et de physique du globe de l'Algérie. Univ. Alger, 219 p.
- Soltner D., 1992** - Les bases de la production végétale. Tome 2. 6<sup>ème</sup> (Ed.). Sci. et tech. Agr.49310. Sainte Gén. Loire. France.
- Soltner D., 2000** - Les bases de la production végétale, Tome 1 : le sol et son amélioration, 22<sup>ème</sup> Edition, Coll. Sciences et techniques agricoles, Saint-Gemmes-Sur-Loire (Ed.), 472 p.
- Somarriba E., Harvey C.A., Samper M., Anthony F., Gonzalez J., Staver C., Rice R.A., 2004** - *Biodiversity conservation in neotropical coffee (Coffea arabica) plantations*. *Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes*, 198-226 p.
- Soutter N.J., Bull C.M., Lethbridge M.R., Hutchinson M.N., 2007** - *Habitat requirements of the endangered pygmy bluetongue lizard, Tiliqua adelaidensis*. *Biological Conservation* 135, 33-45 p.
- Stamps W. T. et Linit M. J., 1998** - *Plant diversity and arthropod communities: Implications for temperate Agroforestry*. *Agroforestry Systems*, 39, 73-89 p.
- Stengel P., et Gélins S., 1998** - Sol, Interface Fragile. Collection « Mieux Comprendre », INRA (Ed.), Paris. 222 p.
- Stevenson F.J., 1994** - *Humus Chemistry : Genesis, Composition, Reactions*. Wiley & Sons (Ed.), INC: 350 p.
- Stott T., 1997** - *Forestry effects on bedload yields in mountain streams*, *Applied Geography*, 17 (1) : 55-78 p.
- Swift M.J., Heal O.W. et Anderson J.M., 1979** - *Decomposition in terrestrial ecosystems*. *University of California Press*.
- Tessier D., Bruand A., Le Bissonnais Y. et Dambrine E., 1998** - *Chemical and physical properties of soils in France. Spatial context and evolution*, *Geologica Carpathica*, 6: 121-131 p.

- Thiombiano L., 2000** - Etude de l'importance des facteurs édaphiques et pédopaysagiques dans le développement de la désertification en zone sahélienne du Burkina Faso. Thèse d'Etat, Vol.1, 209 p.
- Tinthoin R., 1948** - Les aspects physiques du Tell Oranais. Essai de morphologie de pays semi-arides. Oran, Fouque (Ed.), 637 p.
- Torquebiau E., 2015** - Changement climatique et agricultures du monde. Agricultures et défis du monde collection. Quae- Cirad-AFD. (Ed.), Paris, 118 p.
- Toutain G., 1977** - Eléments d'Agronomie saharienne de la recherche et développement INRA, Marrakech, 278 p.
- Touzi M., 2001** - Ressources en eau et acquisition de bases de données à références spatiale et temporelle en Algérie du Nord. Thèse. Doct. Univ. Nice Sophia-Antipolis, 310 p.
- Trueba, C., Millan R., Schmid T., Lago C., Roquero C., Magister M., 2000** - *Soil Properties Database of Spanish Soils*. Vol. XIII - *Navarra and La Rioja, Base de datos de propiedades edafológicas de los suelos españoles*, CIEMAT, Madrid, Spain, 152 p.
- Vaast P., Beer J., Harvey C., Harmand J., 2005** - *Environmental services of coffee agroforestry systems in Central America: A promising potential to improve the livelihoods of coffee farmers' communities, Integrated Management of Environmental Services in Human-Dominated Tropical Landscapes*.
- Vacca A., Loddo S., Serra G. et Aru A., 2002** - *Soil degradation in Sardinia (Italy) : main factors and processes*. In **Zdruli P., Steduto P., Kapur S., eds., 7th international meeting on soils with Mediterranean type of climate**, Bari : Centre international de hautes études agronomiques méditerranéennes-Instituto Agronomico Mediterraneo di Bari (Ciheam-IAMB).
- Valentin C., Agus F., Alamban R., Boosaner A., Bricquet J.P., Chaplot V., de Guzman T., De Rouw A., Janeau J.L., Orange D., Phai Do Duy, Podwojewski P., Ribolzi O., Silvera N., Subagyono K., Thiébaux J.P. et Toan Tran Duc, 2008** - *Runoff and sediment losses from 27 upland catchments in Southeast Asia: Impact of rapid land use changes and conservation practices*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 128: 225-238 p.
- Valet S., 1999** - Eco-développement durable par l'aménagement "minimaliste" des versants et le maintien des cultures associées : Cas de l'Ouest-Cameroun. Colloque International " L'homme et l'Erosion ", IRD-CIRAD. BP 5045, Montpellier, 34032, France. 12-15/12 Yaoundé, Cameroun. 17 p.
- Vaneckhoutte T., 2014** - L'agroforesterie comme réponse aux enjeux de qualité de L'eau en Île de France : éléments pour un travail concerté entre agriculteurs et gestionnaires. Mém. Ing. Agrocampus Ouest, 79 p.
- Vergara N.T., et Briones N.D., 1987** - *Agroforestry in the humid tropics: Its protective and ameliorative roles to enhance productivity and sustainability*. East-West center and college, Honolulu & southeast Asian regional center for graduate study and research in agriculture, Laguna, Philippines.
- Verheij E., 2003** - L'agroforesterie. Série Agrodok N. 16 partageons les connaissances au profit des communautés rurales. ISBN Agromisa: 90-77073-42-6, 15 p.
- Veyrat-Charvillon S., 2005** - Cartographie fonctionnelle des apports sédimentaires du bassin versant torrentiel. *Riscuri si catastrofe*. Vol. IV, Nr. 2/2005, 209-216 p.
- Vigot M., 2012** - Le carbone organique des sols cultivés de Poitou-Charentes : Quantification et évolution des stocks. Etude méthodologique, Agricultures & Territoires, chambre d'agriculture Poitou-Charentes (Ed.), France, 1-20 p.
- Vilain M., 2012** - Méthodes expérimentales en agronomie: Pratique et analyse. Lavoisier 2<sup>ème</sup> (Ed.), Agriculture d'aujourd'hui (collection), ISBN 978-7430-1418-6, Paris, 424 p.

- Vissin E.W., Sintondji L.O. et Houssou S.Ch., 2010** - Etude de la pollution des eaux et de la contamination du *Tilapia guineensis* du canal de Cotonou par le plomb. RGLL, Nr. 08, 215-229 p.
- Weber F.R., et Hoskins M., 1983** - *Agroforestry in the Sahel. Department of sociology, Virginia polytechnic Institute, Blacksburg.*
- Williams B.G. et Hoey D., 1982** - *An electromagnetic induction technique for reconnaissance surveys of soil salinity hazards. Austr. J. Soil Res., 20 : 107-118 p.*
- Wischmeier W.H, Johnson C.B., et Cross B.V. 1971** - *A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. Soil and Water Conser. J., 26: 189-193 p.*
- Wischmeier W.H., et Smith D.D., 1978** - *Predicting rainfall erosion losses-guide to conservation planning. U.S. Depart. Agri., Handbook, Nr. 537, 58 p.*
- Young A., 1995** - *L'agroforesterie pour la conservation du sol. Nairobi, Wageningen, ICRAF/CTA, 194 p.*
- Zaccone C., Di Caterina R., Rotunno T., Quinto M., 2010** - *Soil - farming system - food - health : Effect of conventional and organic fertilizers on heavy metal (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) content in semolina samples. Soil and Tillage Research, 107 (2), 97-105 p.*
- Zdruli P. et Lshaj S., 2001** - *The status of soil survey in Albania and some of its major environmental findings. In Zdruli P., Lacirignola C. et Montranarella L, eds., Soil resources of Southern and eastern Mediterranean countries, Bari : Centre international de hautes études agronomiques méditerranéennes-Instituto Agronomico Mediterraneo di Bari (Ciheam- IAMB).*
- Zekri-Bellahcene N., Mazour M., Salhi B. et Trandji M., 2012** - *Aspects socio-économiques des techniques traditionnelles et modernes de conservation de l'eau et des sols dans la région de Béni Snous (Wilaya de Tlemcen- Nord-Ouest Algérien). Lutte antiérosive, réhabilitation des sols tropicaux et protection contre les pluies exceptionnelles. IRD (Ed.), Marseille, 623-630 p.*
- ZOMBRE N., 2006** - *Variation de l'activité biologique dans les zipella (sols nus) en zone subsaharienne du Burkina Faso et impact de la technique du zaï (techniques des poquets). Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, Vol. 10, Nr. 2, 139-148 p, URL : <http://popups.ulg.ac.be/1780-4507/index.php?id=1235>. (Page consultée le 28/02/2016).*

# *Annexes*

<b>Tabl. 01. Régime mensuel des précipitations de Sidi Lakhdar</b>													
Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D	année
Pluies (mm)	49,75	44,08	29,95	43,39	28,18	2,83	<b>0,85</b>	2,74	28,70	39,55	<b>89,95</b>	61,09	421,06

Source : ONM, Mostaganem 2015

<b>Tabl. 02. Températures moyennes mensuelles des minimums et maximums de Sidi Lakhdar</b>													
Mois T(c°)	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D	
T.max.	16.20	16.80	19.19	21.50	24.45	28.78	31.59	<b>32.30</b>	28.92	25.98	19.96	17.05	
T. min.	<b>5.99</b>	6.38	8.34	10.30	13.37	16.94	19.62	20.22	17.79	14.50	10.01	7.23	
T.Moy.	10.80	11.36	13.55	15.76	18.91	22.83	25.46	25.94	23.06	20.08	14.34	11.83	

Source : ONM, Mostaganem 2015

### Paramètres climatiques de 1990 à 2012 (ONM, Mostaganem)

<b>Tabl. 03. Vitesse moyenne mensuelle des de vent</b>													
Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D	
V (m/s)	<b>1,58</b>	1,87	1,96	2,35	2,80	<b>3,20</b>	1,82	2,03	2,14	2,14	2,07	2,17	

<b>Tab. 04. Humidité moyenne mensuelle de l'air</b>													
Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D	
Hr (%)	86,75	82,20	81,10	76,9	71,55	70,4	68,5	69,35	74,2	77,5	78,6	78,95	

<b>Tabl. 05. Insolation moyenne mensuelle, période 1990 à 2012</b>													
Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D	
I(h/j)	190,84	205,22	248,05	259,90	93,96	316,95	322,15	303,64	267,94	229,34	181,89	75	

<b>Tabl. 06. Évapotranspiration moyenne mensuelle</b>													
Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D	Total
Évapotranspiration (mm)	55,4	60,4	82,18	97,5	115,6	128,96	160,78	159,6	101,2	88,5	61,6	59,6	1171,32

**Tableau 01.** Les détails démographiques de la commune de la zone d'étude

	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Population totale	Population			Densité Hats/km <sup>2</sup>
			ACL	AS	ZE	
<b>Sidi Lakhdar</b>	140	36 030	10 659	11 186	14 185	257
<b>W. Mostaganem</b>	2269	781 950	357 834	105 768	318 348	345

Source : APC de Sidi-Lakhdar, W. Mostaganem, 2011

**Tableau 02.** Population rurale et population urbaine de la commune de la zone d'étude

	Population			Rapport Pop. Rurale/totale en %
	Totale	Urbaine	Rurale	
<b>Sidi Lakhdar</b>	36 030	10 659	25 371	70.4
<b>W. Mostaganem</b>	781 950	357 834	424 116	54.2

Source : D.P.A.T de la Wilaya de Mostaganem, 2011

**Tableau 03.** Population par sexe de la commune

	En nombre			Pourcentage (%)		Rapport masc. /fém.
	Masculin	Féminin	Total	Masculin	Féminin	
<b>Sidi Lakhdar</b>	17 889	18 141	36 036	49.65	50.35	98.60
<b>W. Mostaganem</b>	52 868	54 379	112 551	49.30	50.70	97.22

Source : D.P.A.T de la Wilaya de Mostaganem, 2011

**Tableau 04.** Population active, occupée et taux de chômage de la commune

	Population				Taux de chômage en (%)
	Totale	Active	Occupée	Chômeur	
<b>Sidi Lakhdar</b>	36 030	17 052	16 874	178	01.04
<b>W. Mostaganem</b>	781 950	382 770	344 113	38 657	10.09

Source : D.P.S.B. de Salamandre W. Mostaganem, 2011

**Tableau 05.** Répartition de la SAU des principales cultures en ha de la commune de Sidi Lakhdar

Répartition	Céréales	Légumes secs	Cultures fourragères	Maraichage	Viticulture	Arboriculture		Agrumes
						Arb- fruitière	Arb- rustique	
<b>SAU (ha)</b>	754	340	392	140	4037	1068.5	1188	122.5

Source : subdivision agricole de Sidi Lakhdar, W. Mostaganem, 2015

**Avant-Propos :** Avec des sols pauvres, marqués par le phénomène de l'érosion hydrique, sans couvert végétal conséquent et soumis à des pratiques culturales inappropriées, la zone d'étude est caractérisée par un relief relativement accidenté avec des pentes allant de 3 à 25% favorisant l'agriculture pluviale. L'absence de pratiques protectrices des sols telles que les haies vives, bandes enherbées, l'arboriculture, etc. justifie les formes de dégradation constatées sur le terrain. Ignorée en général par la communauté paysanne, l'agroforesterie en tant que solution par excellence pour la gestion conservatoire durable des sols doit être vulgarisée aux fins fonds des terroirs afin de préserver nos ressources naturelles et de maintenir les populations rurales par l'amélioration de leurs revenus. Les résultats de cette enquête serviront de base à la prise de décision pour les autorités concernées, à cet effet, nous vous prions de bien vouloir collaborer à sa réalisation. **Merci**

Enquête n° :

Questionnaire

Date :

**Données générales sur l'exploitation agricole**

1	Statut juridique	Privé	EAC	EAI	Location	Autre
2	Taille de l'exploitation	< 5	5-10	10-15	15-20	>20
3	Ressources Hydriques	Sans	Puits	Source	Barrage	Autre
4	Production Végétale	Polyculture	Gdes cultures	Arboriculture	Maraichage	Viticulture
5	Destination des débris Vgtx	Restitution/Sol	Exportation	Brulage	Pacage	Autre
6	Assolement / Rotation	2 ans	3 ans	4 ans	Sans	Autre
7	Production animale	Bovins	Ovins-Caprins	Aviculture	Apiculture	Autre
8	Destination des débris Anx.	Utilisat.brute	Compostage	Vente	Abandonné	Autre
9	Fumure utilisée	Organique	Minérale	Mixte	Engr.verts	Autre
10	Mécanisation	Travail sol	Traitement	Récolte	Transport	Autre
11	Fréquence des outils	Cover crop	Charr. Disks	Charr. Socs	Charr. Dents	Autre
12	Travail du sol	Retournement	Mélange	Superficiel	Tassement	Autre
13	Sens de travail du sol / Pente	Parallèle	Perpendiculaire	Deux sens	Indifférent	Autre
14	Type de sols	Lourd	Léger	Profond	Peu Profond	Autre
15	Type de pente	Forte	Moyenne	Faible	Variable	Sans
16	Longueur de la pente (m)	<10	10-20	20-30	>30	Autre

### L'érosion hydrique et ses conséquences sur la dégradation des sols

17	Traces d'érosion	Absence	Présence	Rigoles	Ravines	Autre
18	Causes de l'érosion	Nature du sol	Sol nu / pluie	Surpâturage	Monocultur.	Autre
19	Dégâts causés par l'érosion	Destruc.Semis	Gêne / Trav.	Perte Produc.	Sol Irrécup.	Autre
20	Lutte contre l'érosion	Mécanique	Biologique	Mixte	Sans	Autre
21	Sols touchés par l'érosion pér. pluie	Sols nus	labourés	En pente	Cult.Tradit.	Cult/Arbre
22	Aménagement de vos terrains	Bande Enherbé	Haie vive	Murette pier.	Prat.Agric.	Cult.Cont.
23	Préférence de Lutte/Erosion	Travail sol	Fumier	Résidu	Couvert Vgl	Autre
<b>L'arbre et sa place dans l'agriculture (Agroforesterie)</b>						
24	Que représente l'Arbre pr vous ?	Revenu suppl.	Protect°. Sol	Double Pdt°	Fertilise sol	Autre
25	Position de l'arbre	Rangée serrée	Rangéespacée	Aléatoire	Pourtour	Autre
26	Combinaison utilisée	Arbre Pet.Pois/Fève	Arbre Ail / oignon	Arbre Céréale	Arbre Vigne	Autre
27	Amélioration des Syst. Pdt° ?	Diversification combinaisons	Densité	Choix Espèces	Choix strate arborée	Autre
28	Arbres les + utilisés / zone	Olivier	Figuier	A noyaux	A pépins	Autre
29	Intensification Arboriculture (avis)	Très important	Important	Peu important	Sans intérêt	Autre

**Tab.01 - Récapitulatif des résultats de l'enquête  
« Données générales sur l'exploitation agricole »**

Paramètres		Nbre	%	Commentaire	
Exploitation Agricole	Statut Juridique	Privé	20	59	La majorité des agriculteurs a opté pour une individualisation des exploitations d'une manière formelle ou informelle avec des problèmes de foncier limitant l'octroi de crédits et les aides de l'état. Ce qui constitue un blocage dans le financement du secteur agricole et son développement.
		EAC	13	38	
		EAI	00	00	
		Location	01	03	
		Autre	00	00	
	Taille des Exploit. (ha)	< 5	14	41	L'individualisation et la parcellisation des EAC en EAI a créé des exploitations de petite taille ne pouvant ni supporter ni rentabiliser les investissements et n'a fait qu'accentuer le manque de main-d'œuvre déjà existant dans la zone d'étude.
		5 à 10	06	18	
		10 à 15	10	29	
		15 à 20	03	09	
		> 20	01	03	
	Ressources Hydriques	Sans	13	38	Absence des ressources hydriques, 38 % des exploitations enquêtées qui ne possèdent pas des ressources hydriques au niveau de leurs exploitations sont soumis aux aléas climatiques et aux sécheresses récurrentes.
		Puits	02	06	
		Source	03	09	
		Barrage	01	03	
		Autre	15	44	
Systèmes de culture et de production	Production Végétale	Polyculture	25	74	La polyculture est l'activité prépondérante du paysan suivie de l'arboriculture et la viticulture. Souvent combinées à d'autres cultures en intercalaire, elles sont pratiquées sur de faibles pentes avec des techniques restées rudimentaires. La nature sablo-limoneuse des sols et la faible pluviométrie imposent ces cultures. Le manque d'encadrement et de formation sont une autre cause de cette situation.
		Gdes cultures	00	00	
		Arboriculture	06	18	
		Maraichage	00	00	
		Viticulture	03	09	
	Destination des débris végétaux	Restitution/Sol	09	26	Donnant plus de priorité à la vente des sous-produits (paille, sarments, etc.) et au pacage qu'à la restitution des débris végétaux au sol, les paysans participent à la réduction des MO de leurs sols (garantie pour leur stabilité) ainsi qu'à leur tassement par le piétinement par les animaux réduisant ainsi la porosité et l'activité biologique exposant les sols à l'érosion.
		Exportation	11	32	
		Brulage	02	06	
		Pacage	10	29	
		Autre	02	06	
	Assolement Rotation	2 ans	22	65	Ignorant toute autre forme de gestion des terres, les 2/3 agriculteurs de la région pratiquent la rotation biennale (céréale-légumineuse, céréale-jachère) soulevant ainsi le problème de plan de culture et de fumure. Aucun assolement réfléchi n'est à signaler dans la zone d'étude.
		3 ans	00	00	
		4 ans	00	00	
		Sans	10	29	
		Autre	02	06	
	Type de sol	Lourd	15	44	La majorité des sols de la zone sont des sols légers. Les sols peu évolués d'érosion sont peu profonds, sensibles au ruissellement et à l'érosion. Les autres sols sont plus profonds et moins sensibles et sont localisés au niveau des bas de pente. Toujours est-il que la profondeur du labour reste dépendante de la profondeur du sol et de ses propriétés intrinsèques.
		Léger	19	56	
		Profond	13	38	
		Peu Profond	21	62	
		Autre	00	00	
	Production Animale	Bovins	05	15	En petit nombre, le cheptel est surtout constitué d'ovins-caprins et de bovins, effectivement ce pourcentage permet de combler le déficit en animaux et une totale inadéquation entre les cultures pratiquées et le type d'élevage pratiqué est à signaler.
		Ovins-Caprins	11	32	
		Aviculture	02	06	
		Apiculture	02	06	
		Sans	14	41	
n des débris	Utilisat. brute	07	21	Les débris animaux tels que le fumier et les fientes de volaille passent généralement par un compostage avant leur épandage sur parcelle. La durée de minéralisation n'est pas respectée (raccourcie). Une bonne partie des fientes est épandue à l'état brute ce qui risque de polluer le sol et la	
	Compostage	20	59		
	Vente	01	03		

		Abandonné	00	00	nappe phréatique par les nitrates et les nitrites et d'autres éléments.
		Autre	08	24	
	Type de fumure utilisée	Organique	03	09	En absence de plan de fumure reposant sur des analyses des sols et une maîtrise des besoins des cultures, la fertilisation mixte des sols est la plus répandue et reste souvent peu efficace et pollue souvent le sol et les eaux. Les engrais verts sont peu utilisés et les engrais minéraux sont plus chers.
		Minérale	05	15	
		Mixte	19	56	
		Engrais verts	07	21	
		Autre	00	00	
Mécanisation	Types de matériels	Travail sol	31	91	Compte tenu de leurs dimensions (petites) et de la cherté du matériel, peu d'exploitation disposent de matériels. Le matériel le plus disponible dans la zone est celui du travail du sol et du transport. Le matériel agricole utilisé est presque toujours acquis par location, rares qui sont les agriculteurs qui possèdent leur propre matériel.
		Traitement	04	12	
		Récolte	06	18	
		Transport	29	85	
		Autre	01	03	
	Fréquence d'utilisation	Cover crop	05	15	L'équipement agricole de travail du sol utilisé est constitué essentiellement de charrues à socs. Il y a une disproportion entre le taux de mécanisation et des techniques culturales qui restent encore très retardataires. Les outils de travail du sol ne sont pas exploités convenablement d'où cet inventaire diversifié et souvent inadapté aux conditions d'utilisation.
		Charr. Disks	07	21	
		Charr. Socs	14	41	
		Charr. Dents	07	21	
		Autre	01	03	
	Type de travail du sol	Retournement	16	47	Le retournement est le plus pratiqué diluant ainsi les matières organiques au fond du sol et remontant l'horizon inférieur (inerte) en surface qui nécessite des apports de fumure minérale. On assiste à une déstructuration du sol et une perturbation de son système hydrodynamique favorisant l'érosion hydrique.
		Mélange	10	29	
		Superficiel	08	24	
		Tassement	00	00	
		Autre	00	00	
Pente	Sens de travail du sol	Parallèle	02	06	Quand la gravité de la pente le permet, le travail du sol se fait perpendiculairement au sens de la pente ou d'une manière croisée. Et quand la pente est trop forte, il se fait dans le sens de la pente afin d'éviter tout risque de renversement des engins. Mais, cela favorise le ruissellement.
		Perpendiculaire	15	44	
		Deux sens	14	41	
		Indifférent	02	06	
		Autre	01	03	
	Gravité	Forte	08	24	La majeure partie des terres agricoles de la région se trouvent sur des pentes moyennes à forte favorisant le phénomène de l'érosion hydrique et rendant le travail du sol difficile et nécessitant de fortes puissances des engins de traction, donc plus d'énergie et plus de dépenses.
		Moyenne	18	53	
		Faible	08	24	
		Variable	00	00	
		Sans	00	00	
	Longueur (m)	< 10	04	12	Plus la longueur de la pente du terrain est forte plus l'effet de l'érosion par ruissellement devient important par conséquent une charge solide transportée importante. Une bonne partie des pentes ont une longueur dépassant la longueur critique de la pente pour le déclenchement de l'érosion.
		10 à 20	03	09	
		20 à 30	02	06	
		> 30	25	74	
		Autre	00	00	

**Tab.02 - Récapitulatif des résultats de l'enquête  
« L'érosion hydrique et ses conséquences sur la dégradation des sols »**

Paramètres		Nbre	%	Commentaire
Traces d'érosion	Absence	01	03	La lithologie essentiellement marneuse, le relief accentué, le couvert végétal très dégradé associés aux conditions climatiques semi-arides présentent un milieu très favorable à l'érosion ce qui entraîne une grande perte de surface arable. La dominance des rigoles et des ravines expliquent la gravité de déplacement des terres par le ruissellement de surface entraînant une réduction du potentiel de production.
	Présence	33	97	
	Rigoles	14	41	
	Ravines	20	59	
	Autre	00	00	

<b>Causes de l'érosion</b>	Nature du sol	12	35	L'érosion, le ruissellement et l'infiltration sont essentiellement dus à la nature des terrains et au couvert végétal qui est très réduit en dehors des périodes de culture c-à-dire durant les longs mois d'automne et d'une partie d'hiver au moment où les averses sont les plus agressives.
	Sol nu / pluie	15	44	
	Surpâturage	00	00	
	Monoculture	01	03	
	Autre	06	18	
<b>Dégâts causés par l'érosion</b>	Destruct.Semis	13	38	L'agressivité des pluies sur les terrains en pente peut déplacer ou carrément emporter les semences, jeunes pousses, plantes ou jeunes plantions causant des plaques dénudées et une réduction des rendements.
	Gêne / Trav.	13	38	
	Perte Produc.	03	09	
	Sol Irrécup.	01	03	
	Autre	04	12	
<b>Lutte contre l'érosion</b>	Mécanique	13	38	Les méthodes dites traditionnelles sont utilisées dans la protection contre l'érosion dans la zone d'étude.
	Biologique	06	18	
	Mixte	11	32	
	Sans	03	09	
	Autre	01	03	
<b>Sols touchés par l'érosion / Pluie</b>	Sols nus	10	29	Les pentes constituant les versants gréseux et calcaireux ainsi que les sols nus pendant les pluies agressives sont souvent disséquées par les rigoles et les ravines par rapport aux sols influencées par les opérations culturales.
	Labourés	06	18	
	En pente	16	47	
	Cult. Tradit.	02	06	
	Cult /Arbre	00	00	
<b>Aménagement de vos terrains</b>	Bande Enherbée	09	26	Différents aménagements antiérosifs (mécanique et biologiques) sont mise en place pour le cas des parcelles fortement exposées au ruissellement concentré et situées sur un versant accidenté.
	Haie vive	07	21	
	Murette pier.	05	15	
	Prat. Agric.	10	29	
	Cult. Cont.	03	9	
<b>Préférence de Lutte/Erosion</b>	Travail sol	11	32	Il est devenu presque banal d'utiliser les méthodes traditionnelles telles que le travail du sol dans la zone d'étude même sur des terrains à faible pente qui ne connaissent aucune lutte (mécanique ou biologique) contre ce phénomène. Donc il est devenu préférable de le combattre par le couvert végétal.
	Fumier	00	00	
	Résidu	03	09	
	Couvert Vgl	16	47	
	Autre	04	12	

**Tab.03 - Récapitulatif des résultats de l'enquête  
« L'arbre et sa place dans l'agriculture (Agroforesterie) »**

Paramètres		Nbre	%	Commentaire
Que représente l'Arbre pr vous ?	Revenu suppl.	08	24	La protection de sol vis-à-vis l'arbre est la plus importante mais ça n'empêche pas que ce dernier a des bénéfices sur la production et les revenus agricoles.
	Protect°. Sol	14	41	
	Double Pdt°	09	26	
	Fertilise sol	00	00	
	Autre	03	09	
Position de l'arbre	Rangée serrée	01	03	Les rangées espacées répondre aux problèmes du travail de sol mais le sol laissé nu entre les rangées est beaucoup plus exposé aux pluies aggraves.
	Rangée espacée	23	68	
	Aléatoire	03	09	
	Pourtour	06	18	
	Autre	01	03	
Combinaison utilisée	Arbre/ Petit Pois / Fève	09	26	La combinaison la plus répondue en agroforesterie dans les exploitations enquêtés est l'arbre /vigne.
	Arbre Ail / oignon	02	06	
	Arbre / Céréale	05	15	
	Arbre / Vigne	12	35	
	Autre	06	18	
Amélioration des Syst. Pdt° ?	Diversification combinaisons	07	21	Le mode de gestion dans la zone est basé sur le choix des espèces qui occupe un pourcentage élevé, s'expliquer par le souci de l'exploitant des revenus économiques.
	Densité	08	24	
	Choix Espèces	16	47	
	Choix strate arborée	02	06	
	Autre	01	03	
Arbres les plus utilisés / zone	Olivier	13	38	Les oliviers et les figuiers apportent une forte touche dans les exploitations savant un programme d'aide à la plantation et la rénovation de la zone.
	Figuier	11	32	
	A noyaux	07	21	
	A pépins	02	06	
	Autre	01	03	
Intensification Arboriculture (avis)	Très important	14	41	Une grande partie de la population enquêtée est favorable à l'introduction de l'arbre cela démontre combien de fois les exploitants accordent une place importante aux arbres dans les champs.
	Important	08	24	
	Peu important	07	21	
	Sans intérêt	05	15	
	Autre	00	00	

Tableau 01. Fiche d'observation du profil cultural						
<b>Lieu :</b>		<b>Date :</b>		<b>Temps :</b>		
<b>Précédent cultural :</b>			<b>Culture installée :</b>			
<b>Pente</b>			<b>Longueur :</b>			
			<b>Inclinaison :</b>			
<b>Profil :</b>			<b>Orientation :</b>			
			<b>Altitude :</b>			
<b>Horizon n°</b>			<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>04</b>
<b>Profondeur</b>	<b>En cm</b>					
<b>Couleur</b>	<b>Qualificatif</b>					
<b>Texture</b>	<b>Evaluation empirique (au doigté)</b>					
<b>Éléments grossiers</b>	<b>(&gt; 2mm)</b>					
<b>Calcaire</b>	<b>Teste HCl</b>					
<b>Compacité</b>	<b>Test de couteau</b>					
<b>Structure</b>	<b>Fine</b>					
	<b>Grossière</b>					
	<b>Compacte</b>					
	<b>Polyédrique</b>					
<b>Porosité</b>	<b>Abondance</b>					
	<b>Galleries</b>					
	<b>Macrospores</b>					
	<b>Diamètre</b>					
<b>Racines</b>	<b>Densité</b>					
	<b>Profondeur</b>					
	<b>Accidents</b>					
<b>Résidus et débris végétaux</b>						
<b>Activité biologique</b>						
<b>Netteté limite</b>						
<b>Croquis du profil cultural</b>						
0 cm						
10						
20						
30						
40						
50						
60						
70						
80						
90						
100						

**Tableau 02.** Description de la face d'observation des profils cultureux

systemes	Stations	Profils	Horizons	Profondeur (cm)	Couleur	Texture	Elém.Grossiers.	Classe d'effervesc.	Type de compacité	Structure	Friabilité	Porosité	résidus	Etat d'humidité	Faune	Densité racinaire	Couches	
Systèmes agroforestiers	S1	P <sub>am</sub>	H <sub>1</sub>	0-30	BR	SL	A	L	C	G	F'	M'	PH	H	F''	F''	DD	
			H <sub>2</sub>	30-50	R	LS	A	L	C	G	F'	M'	H'	H	F	M'	DD	
	P <sub>av</sub>	H <sub>1</sub>	0-20	BR	SL	P	F	C	P	F'	M'	MD	H	F''	F''	DD		
		H <sub>2</sub>	20-30	BR	LS	P	F	C	P	F'	M'	PH	H	F	TF''	DD		
	S2	P <sub>am</sub>	H <sub>1</sub>	0-20	BB	SL	P	F	C	G	F'	M'	PH	H	F''	F''	DD	
			H <sub>2</sub>	20-50	B-J	LS	P	F	TC	G	F'	M'	A	F	F	TF''	DD	
	P <sub>av</sub>	H <sub>1</sub>	0-30	R	SL	A	L	M	G	TF	F	MD	H	F''	TB	DD		
		H <sub>2</sub>	30-50	BR	LS	P	L	M	P	TF	M'	PH	F	F	E	DD		
	S3	P <sub>am</sub>	H <sub>1</sub>	0-20	R	SL	P	F	C	G	F'	F	MD	F	F''	F''	D	
			H <sub>2</sub>	20-35	BR	LS	P	F	TC	G	F'	M'	PH	H	F	TF''	D	
	P <sub>av</sub>	H <sub>1</sub>	0-20	R	SL	P	L	PC	P	F'	M'	MD	H	F''	M'	DD		
		H <sub>2</sub>	20-50	R	SL	P	L	C	P	F'	M'	PH	H	F	F''	DD		
	S4	P <sub>am</sub>	H <sub>1</sub>	0-40	BR	LS	P	F	C	G	F'	F	PH	F	F''	B	D	
			H <sub>1</sub>	0-20	R	SL	P	F	PC	G	F'	F	MD	F	F''	TB	DD	
P <sub>av</sub>	H <sub>2</sub>	20-50	BR	SL	P	F	PC	G	F'	F	H'	H	F	E	DD			
	H <sub>1</sub>	0-40	R	SL	P	F	PC	G	F'	F	H'	H	F''	TB	D			
S5	P <sub>am</sub>	H <sub>1</sub>	0-20	B-N	LS	A	F	C	P	PF	F	MD	H	F''	M'	DD		
		H <sub>2</sub>	20-50	B-N	LS	A	F	C	P	PF	F	H'	H	F	TF''	DD		
Systèmes ligneux	S6	P <sub>am</sub>	H <sub>1</sub>	0-20	B-B	SA	P	F	TC	PS-A	NF	M'	H'	H	F''	F''	DD	
			H <sub>2</sub>	20-50	B-J	LA	P	F	TC	PS-A	NF	F''	H'	TH	TF''	F''	DD	
	P <sub>av</sub>	H <sub>1</sub>	0-20	BB	SA	P	F	TC	PS-A	NF	M'	H'	H	F''	M'	DD		
		H <sub>2</sub>	20-50	B-J	LA	P	F	TC	PS-A	NF	F''	H'	TH	TF''	M'	DD		
	S7	P <sub>am</sub>	H <sub>1</sub>	0-30	R	SL	A	A'	TC	P	NF	F''	A	F	F''	TF''	DD	
			H <sub>2</sub>	30-50	R	SL	A	A'	TC	G	NF	I	A	F	A	TF''	DD	
	P <sub>av</sub>	H <sub>1</sub>	0-30	BF	SL	A	A'	TC	P	NF	F''	A	H	F''	TF''	D		
		H <sub>2</sub>	30-50	B-N	LS	A	A'	TC	P	NF	I	A	TH	A	TF''	D		
	S8	P <sub>am</sub>	H <sub>1</sub>	0-25	R	SL	P	F	PC	G	F'	M'	H'	H	F''	TB	TD	
			H <sub>2</sub>	25-40	BR	LS	P	F	C	G	F'	F''	PH	F	F	M'	TD	
		P <sub>av</sub>	H <sub>3</sub>	40-50	BB	LS	A	F	TC	G	PF	F''	PH	F	F	F''	TD	
			H <sub>1</sub>	0-30	R	SL	P	F	C	G	PF	M'	H'	H	F''	F''	D	
	Cultures annuelles	S9	P <sub>am</sub>	H <sub>1</sub>	0-10	BB	LA	P	F	TC	PS-A	NF	F''	PH	S	F''	M'	TD
				H <sub>2</sub>	10-40	BB	AL	P	F	TC	PS-A	NF	I	A	S	TF''	TF''	TD
P <sub>av</sub>		H <sub>3</sub>	40-50	B-J	AL	P	F	TC	PS-A	NF	I	A	S	TF''	TF''	TD		
		H <sub>1</sub>	0-30	BR	SL	P	L	C	P	PF	M'	PH	F	F''	F''	TD		
S10		P <sub>am</sub>	H <sub>2</sub>	30-50	BR	SL	P	L	C	P	PF	F''	A	S	TF''	TF''	TD	
			H <sub>1</sub>	0-10	BB	LA	P	F	C	PS-A	PF	M'	H'	S	F''	M'	TD	
		P <sub>av</sub>	H <sub>2</sub>	10-20	BB	LA	P	F	TC	PS-A	NF	F''	PH	S	F''	F''	TD	
			H <sub>3</sub>	20-35	B-J	AL	P	F	TC	PS-A	NF	F''	A	S	F	TF''	TD	
		P <sub>av</sub>	H <sub>4</sub>	35-50	B-J	AL	P	F	TC	PS-A	NF	F''	A	S	F	C	TD	
			H <sub>1</sub>	0-20	BF	SL	P	F	PC	P	F'	F	H'	S	F''	B	TD	
NB		S10	P <sub>av</sub>	H <sub>2</sub>	20-40	BF	LS	P	F	C	P	PF	F	H'	F	F	M'	TD

SL(sablo-limoneux), LS(limono-sableux), SA(sablo-argileux), LA(limono-argileux), AL(argilo-limoneux), P(présence), A(absence), A'(aucune), L(légère), F(forte), M(meuble), PC(peu compact), C(compacte), TC(très compact), G(grumeleuse), P(polyédrique), PS-A(polyédrique sub-anguleuse), NF(non friable), PF(peu friable), F'(friable), TF(très friable), S(sec), F(frais), H(humide), TH(très humide), M'(moyenne), F''(faible), I(inexistante), E(excellente), TB(très bonne), B(bonne), TF''(très faible), H'(humifère), PH(peu humifère), MD(mal décomposée), DD(difficilement discernable), D(discernable), TD(très discernable), BR(brun rougeâtre), R(rouge), BB(beige blanchi), B-J(beige-jaune), B-N(brun-noir), B-B(brun-beige), BF(brun foncé).

Tableau 01. Résultats des analyses granulométriques										
Systèmes	Stations (S)	Profils (P)	Horizons (H)	Profondeur (cm)	Granulométrie (%)				Texture	
					Argile	Limon		Sable		
						Lf	Lg	Sf		Sg
Systèmes agroforêstries	S <sub>1</sub>	P <sub>am</sub>	H <sub>1</sub>	0-30	10,35	3,74	6,91	38,46	40,54	Sablo-limoneux
			H <sub>2</sub>	30-50	28,84	8,13	3,11	22,45	37,47	Sablo-argileux
		P <sub>av</sub>	H <sub>1</sub>	0-20	9,90	4,34	34,25	22,41	29,10	Limono-sableux
			H <sub>2</sub>	20-35	7,89	1,82	37,29	22,41	30,59	Limono-sableux
	S <sub>2</sub>	P <sub>am</sub>	H <sub>1</sub>	0-20	7,88	8,33	29,44	28,53	25,82	Limono-sableux
			H <sub>2</sub>	20-50	3,03	1,97	43,93	21,25	29,82	Limon-léger-sableux
		P <sub>av</sub>	H <sub>1</sub>	0-30	5,05	3,84	30,26	30,99	29,86	Sablo-limoneux
			H <sub>2</sub>	30-50	8,79	4,59	12,25	21,01	53,36	Sablo-limoneux
	S <sub>3</sub>	P <sub>am</sub>	H <sub>1</sub>	0-15	5,86	4,69	26,85	18,94	43,66	Sablo-limoneux
			H <sub>2</sub>	15-35	12,78	7,98	17,17	35,75	26,32	Sablo-limoneux
		P <sub>av</sub>	H <sub>1</sub>	0-20	18,74	6,16	13,54	23,31	38,25	Sablo-argileux
			H <sub>2</sub>	20-50	14,19	10,35	14,47	25,95	35,04	Sablo-limoneux
	S <sub>4</sub>	P <sub>am</sub>	H <sub>1</sub>	0-40	5,05	6,06	32,88	25,08	30,93	Sablo-limoneux
		P <sub>av</sub>	H <sub>1</sub>	0-20	11,92	2,02	14,93	24,28	46,85	Sablo-limoneux
			H <sub>2</sub>	20-50	10,76	4,04	8,54	25,91	50,75	Sablo-limoneux
	S <sub>5</sub>	P <sub>am</sub>	H <sub>1</sub>	0-40	17,02	4,09	2,31	19,91	56,67	Sablo-limoneux
		P <sub>av</sub>	H <sub>1</sub>	0-20	10,76	8,03	25,28	23,76	32,17	Sablo-limoneux
			H <sub>2</sub>	20-50	10,35	8,13	29,86	22,56	29,10	Limono-sableux
Systèmes Arboricoles	S <sub>6</sub>	P <sub>am</sub>	H <sub>1</sub>	0-20	7,52	5,75	50,54	17,83	18,36	Limono-sableux
			H <sub>2</sub>	20-50	15,96	9,09	62,89	10,33	1,73	Limono-moyen
		P <sub>av</sub>	H <sub>1</sub>	0-20	9,64	16,36	38,74	12,46	22,80	Limono-sableux
			H <sub>2</sub>	20-50	7,83	6,92	52,08	14,91	18,26	Limon-moyen-sableux
	S <sub>7</sub>	P <sub>am</sub>	H <sub>1</sub>	0-30	22,02	3,58	3,47	26,41	44,52	Sable
			H <sub>2</sub>	30-50	14,09	4,49	1,52	26,41	53,49	Sableux
		P <sub>av</sub>	H <sub>1</sub>	0-30	13,43	6,56	7,47	33,30	39,24	Sablo-limoneux
			H <sub>2</sub>	30-50	16,97	6,56	5,67	29,56	41,24	Sablo-limoneux
	S <sub>8</sub>	P <sub>am</sub>	H <sub>1</sub>	0-25	10,40	7,78	8,53	17,59	55,70	Sablo-limoneux
			H <sub>2</sub>	25-40	6,06	5,20	16,35	18,66	53,73	Sablo-limoneux
			H <sub>3</sub>	40-50	3,74	4,59	5,98	16,55	69,14	Sable
		P <sub>av</sub>	H <sub>1</sub>	0-30	9,39	5,45	2,22	24,03	58,91	Sable
Culture annuelles	S <sub>9</sub>	P <sub>am</sub>	H <sub>1</sub>	0-10	5,70	5,55	41,91	20,46	26,38	Limon-léger-sableux
			H <sub>2</sub>	10-40	8,53	24,64	44,30	11,11	11,42	Limon-moyen-sableux
			H <sub>3</sub>	40-50	32,22	31,51	30,02	3,86	2,39	Argile
		P <sub>av</sub>	H <sub>1</sub>	0-30	17,78	11,21	11,73	34,97	24,31	Sablo-argileux
			H <sub>2</sub>	30-50	10,20	8,00	51,39	28,82	1,59	Limon-moyen-sableux
			H <sub>3</sub>	50-60	10,15	10,70	41,06	14,31	23,78	Limono-sableux
	S <sub>10</sub>	P <sub>am</sub>	H <sub>2</sub>	10-20	5,45	8,08	41,40	13,93	31,14	Limon-léger-sableux
			H <sub>3</sub>	20-35	5,25	2,07	34,66	17,82	40,20	Sablo-limoneux
			H <sub>4</sub>	35-50	4,14	1,21	64,38	7,10	23,17	Limon-léger-sableux
		P <sub>av</sub>	H <sub>1</sub>	0-20	7,12	4,14	23,58	26,90	38,26	Sablo-limoneux
H <sub>2</sub>	20-40	6,16	4,34	27,63	27,78	34,09	Sablo-limoneux			

Systèmes	Station (S)	Profil (P)	Horizon (H)	Ib	Is	Ks (mm/h)	K	CE (mmhos/cm)	pH		MO (%)	Corg. (%)	Ntotal (%)	C/N	CaCO <sub>3</sub>	
									Eau	KCl					Total (%)	Actif (%)
									<b>Systèmes agroforestiers</b>							
Systèmes agroforestiers	S <sub>1</sub>	Pam	H1	0,43	0,63	44,64	0,31	0,08	8,12	7,82	0,64	0,37	0,05	7,00	5,94	/
			H2	0,25	0,40	17,28	0,18	0,08	8,09	7,19	0,21	0,12	0,07	1,66	5,52	/
		Pav	H1	1,20	1,08	11,52	0,44	0,11	8,11	7,53	1,27	0,74	0,06	12,61	10,19	1,37
			H2	1,55	1,19	12,24	0,48	0,12	8,17	7,57	0,85	0,49	0,06	8,00	14,86	2,75
	S <sub>2</sub>	Pam	H1	2,89	1,46	13,32	0,54	0,09	8,29	7,71	0,32	0,18	0,06	3,29	21,65	5,37
			H2	6,72	1,83	11,16	0,58	0,09	8,40	7,85	0,21	0,12	0,06	1,97	21,23	7,25
		Pav	H1	1,03	1,01	18,36	0,48	0,10	8,02	7,53	1,80	1,05	0,07	14,48	9,34	/
			H2	0,99	0,99	35,28	0,29	0,08	8,25	7,79	0,42	0,25	0,05	5,14	9,34	/
	S <sub>3</sub>	Pam	H1	1,42	1,15	19,80	0,33	0,10	8,17	7,48	1,06	0,62	0,62	7,07	11,04	0,37
			H2	0,73	0,86	19,44	0,31	0,12	8,21	7,48	1,27	0,74	0,05	16,25	15,71	3,00
		Pav	H1	0,44	0,64	18,72	0,19	0,10	7,99	7,41	1,17	0,68	0,10	7,06	4,24	/
			H2	1,12	1,05	18,36	0,31	0,09	8,16	7,33	0,53	0,31	0,05	6,60	3,82	/
	S <sub>4</sub>	Pam	H1	2,06	1,31	14,40	0,51	0,10	8,28	7,63	0,95	0,55	0,05	11,29	21,23	4,00
		Pav	H1	0,37	0,57	30,24	0,24	0,08	8,30	7,79	1,06	0,62	0,03	21,96	9,76	/
			H2	0,67	0,83	39,60	0,26	0,09	8,22	7,65	0,32	0,18	0,03	6,59	9,76	/
S <sub>5</sub>	Pam	H1	0,12	0,08	39,24	0,13	0,08	8,25	7,59	0,32	0,18	0,08	2,35	5,09	/	
	Pav	H1	1,23	1,10	14,40	0,39	0,08	8,08	7,55	1,06	0,62	0,05	11,43	9,34	/	
		H2	1,60	1,20	11,52	0,45	0,10	8,16	7,54	0,85	0,49	0,09	11,61	12,73	1,75	
<b>Systèmes Arborescentes</b>																
Systèmes Arborescentes	S <sub>6</sub>	Pam	H1	2,33	1,37	5,40	0,57	0,12	8,17	7,69	1,06	0,62	0,16	3,82	22,07	5,50
			H2	2,85	1,45	1,66	0,71	0,11	8,61	7,76	0,32	0,18	0,08	2,19	21,65	4,25
		Pav	H1	3,58	1,55	5,04	0,53	0,11	8,44	7,64	0,42	0,25	0,10	2,51	22,07	7,87
			H2	0,40	0,60	4,68	0,70	0,25	8,99	7,78	0,32	0,18	0,11	1,65	20,80	7,50
	S <sub>7</sub>	Pam	H1	0,12	0,08	29,88	0,14	0,07	8,07	7,14	0,21	0,12	0,07	1,84	4,67	/
			H2	0,31	0,49	46,44	0,16	0,05	7,68	6,74	0,32	0,18	0,07	2,54	4,24	/
		Pav	H1	1,00	1,00	32,40	0,33	0,07	7,27	6,9	0,11	0,06	0,06	1,02	4,67	/
			H2	0,45	0,65	29,88	0,29	0,07	8,06	7,24	0,42	0,25	0,07	3,77	3,40	/
	S <sub>8</sub>	Pam	H1	0,92	0,96	33,48	0,26	0,11	8,13	7,62	0,53	0,31	0,05	6,27	12,73	1,62
			H2	0,95	0,98	32,04	0,33	0,12	8,23	7,53	1,06	0,62	0,06	10,98	19,53	2,50
			H3	2,07	1,31	61,92	0,23	0,09	8,38	8,37	0,11	0,06	0,04	1,76	22,50	3,12
		Pav	H1	0,48	0,68	54,00	0,21	0,08	8,22	7,76	0,42	0,25	0,02	11,71	6,79	/
			H2	0,46	0,66	42,48	0,20	0,07	8,22	7,60	0,74	0,43	0,08	5,37	5,09	/
			H3	0,46	0,66	42,48	0,20	0,07	8,22	7,60	0,74	0,43	0,08	5,37	5,09	/
	<b>Cultures annuelles</b>															
Cultures annuelles	S <sub>9</sub>	Pam	H1	2,05	1,31	9,00	0,53	0,53	8,24	7,90	1,17	0,68	0,06	10,74	20,80	7,62
			H2	3,87	1,58	2,88	0,68	0,68	8,27	8,00	0,85	0,49	0,08	5,86	22,92	8,00
			H3	1,57	1,19	1,22	0,47	0,92	8,43	7,82	0,53	0,31	0,11	2,92	21,23	7,87
		Pav	H1	0,68	0,83	16,92	0,37	0,23	8,18	7,54	0,95	0,55	0,12	4,65	16,98	3,37
			H2	2,80	1,45	3,96	0,75	0,17	8,18	7,67	0,64	0,37	0,07	5,27	14,43	3,37
			H3	0,68	0,83	16,92	0,37	0,23	8,18	7,54	0,95	0,55	0,12	4,65	16,98	3,37
	S <sub>10</sub>	Pam	H1	3,04	1,48	5,76	0,5	2,36	7,94	7,75	0,85	0,49	0,11	4,39	21,65	7,12
			H2	2,31	1,36	8,28	0,49	1,51	8,09	7,83	1,17	0,68	0,08	8,78	21,65	7,75
			H3	1,26	1,10	15,84	0,43	2,09	7,97	7,77	1,48	0,86	0,12	7,23	21,65	7,87
			H4	4,78	1,68	3,96	0,66	1,75	7,93	7,92	0,64	0,37	0,06	5,86	22,07	8,62
Pav	H1	0,50	0,69	22,68	0,33	0,12	8,05	7,71	2,65	1,54	0,15	9,84	20,80	6,00		
	H2	0,69	0,84	19,08	0,41	0,10	7,98	7,67	2,44	1,41	0,05	27,04	20,80	6,50		

## Table du r de Bravais-Pearson (\*)

Lorsque r est calculé sur un échantillon, on est amené à tester sa significativité. Pour un risque  $\alpha$  fixé, le degré de signification varie en fonction du nombre d'individus de la distribution. Quand ce nombre augmente, le seuil inférieur de signification diminue. La table fournit les valeurs r critiques au-delà desquelles les coefficients de corrélation de Pearson obtenus sont significatifs. Pour des échantillons de taille n, le degré de liberté ddl (df) = n-2.

**Tableau 01. Table du r des niveaux de signification d'après Bravais-Pearson**

df=(N-2)	.10	.05	.02	.01	.001	df=(N-2)	.10	.05	.02	.01	.001
1	0.988	0.997	0.9995	0.9999	0.99999	21	0.352	0.413	0.482	0.526	0.640
2	0.900	0.950	0.980	0.990	0.999	22	0.344	0.404	0.472	0.515	0.629
3	0.805	0.878	0.934	0.959	0.991	23	0.337	0.396	0.462	0.505	0.618
4	0.729	0.811	0.882	0.971	0.974	24	0.330	0.388	0.453	0.496	0.607
5	0.669	0.755	0.833	0.875	0.951	25	0.323	0.381	0.445	0.487	0.597
6	0.621	0.707	0.789	0.834	0.928	26	0.317	0.374	0.437	0.479	0.588
7	0.582	0.666	0.750	0.798	0.898	27	0.311	0.367	0.430	0.471	0.579
8	0.549	0.632	0.715	0.765	0.872	28	0.306	0.361	0.423	0.463	0.570
9	0.521	0.602	0.685	0.735	0.847	29	0.301	0.355	0.416	0.456	0.562
10	0.497	0.576	0.658	0.708	0.823	30	0.296	0.349	0.409	0.449	0.554
11	0.476	0.553	0.634	0.684	0.801	40	0.257	0.304	0.358	0.393	0.490
12	0.457	0.532	0.612	0.661	0.780	60	0.211	0.250	0.295	0.325	0.408
13	0.441	0.514	0.592	0.641	0.760	120	0.150	0.178	0.210	0.232	0.294
14	0.426	0.497	0.574	0.623	0.742	$\infty$	0.073	0.087	0.103	0.114	0.146
15	0.412	0.482	0.558	0.606	0.725						
16	0.400	0.468	0.542	0.590	0.708						
17	0.389	0.456	0.529	0.575	0.693						
18	0.378	0.444	0.515	0.561	0.679						
19	0.369	0.433	0.503	0.549	0.665						
20	0.360	0.423	0.492	0.537	0.652						

Exemple :

Si l'effectif = 18 donc ddl= 16. Et si le r calculé dépasse le seuil 0,468, lu sur la table la probabilité (le risque pris) est de 0,05.

Le ddl : c'est l'effectif de la population - 2 (ici effectif de la population = 18)

(\*) : **Fisher et Yates**, *Statistical tables for biological, agricultural, and medical research* (Oliver and Boyd, Edinburgh) avec l'aimable autorisation des auteurs et des éditeurs in **SCHWARTZ D., 1991** - Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes. Paris, Flammarion, 3<sup>ème</sup> (Ed.), 310 p.

Dans le cas de notre analyse statistique, les niveaux de signification de r sur les différentes probabilités ont été déduit par une interpolation linéaire où notre degré de liberté ddl= 118.

ddl	0.05	0.01	0.001
118	0.180	0.235	0.297

**Résumé :** Situés au Nord-Ouest de l'Algérie, les piémonts du Dahra sont touchés par les problèmes de l'érosion hydrique où les sols agricoles subissent de fortes dégradations dues aux influences d'une inadéquation entre un climat semi-aride et les systèmes de culture pratiqués présentant une menace pour le développement rural durable de la région. Après une prospection sur le terrain, une localisation et une hiérarchisation des différents systèmes agroforestiers pratiqués, un aperçu bioclimatique ainsi qu'une enquête, des observations auprès des paysans et des analyses physico-chimiques des sols ont été réalisés pour des comparaisons entre systèmes. Les résultats montrent qu'en absence de systèmes d'utilisation durable des terres, les sols de la région situés sur des pentes même faibles avec un faible couvert végétal et des actions anthropiques néfastes sont devenus très fragiles. Etant donné qu'il n'existe pas à l'échelle des exploitations agricoles de système miracle pour l'aménagement et la gestion des sols, l'association des arbres aux cultures a permis dans certaines situations d'améliorer la protection des sols, leur fertilité et la situation socioéconomique des paysans. Ainsi, l'analyse des relevés sur la ressource en arbres des exploitations agricoles ne nous a pas permis d'apprécier l'efficacité tant attendue des systèmes agroforestiers compte tenu de leur gestion inappropriée. Comme la lutte contre l'érosion n'est qu'un aspect de la conservation des sols, le potentiel de l'agroforesterie considéré dans son sens le plus large doit comprendre à la fois le contrôle de l'érosion et le maintien de la fertilité des sols afin d'assurer une agriculture de piémonts durable dont dépend le maintien des populations rurales.

**Mots clés :** Agroforesterie, piémonts du Dahra, Erosion hydrique, fertilité des sols, climat semi-aride, dégradation des sols.

**Abstract:** Located in the North-West of Algeria, the foothills of Dahra are affected by the problems of water water erosion where agricultural soils are under severe degradation due to the mismatch influence between a semi-arid climate and the prevailing cropping systems presenting a threat to sustainable rural development in the region. After a survey on the field, a localization and prioritization of different agroforestry systems practiced, an overview bioclimatic thereby an investigation, observations close to the farmers and physico-chemical analyzes of soil has been made for comparison between systems. The results show that there is an absence of systems of use durable of lands; the region's soils situated on gentle slopes with low vegetation cover and the adverse human activities have become very fragile. Given that it doesn't exist at agricultural exploitations level a miracle system for the development and the soils management, the association of trees with crops allowed in certain situations to improve soils protection, their fertility and the socioeconomic situation of farmers. As well, the analysis of statements on the tree resource of agricultural exploitations we has allowed to assess the agroforestry systems efficiency awaited, considering their inappropriate management. As the fight against erosion is only an aspect of soils conservation, the potential of agroforestry considered in its largest sense must contain at the same time, the control erosion and the maintaining soils fertility to ensure a sustainable foothills agriculture which depends on the maintenance of rural populations.

**Keywords:** Agroforestry, foothills of Dahra, water Erosion, soils fertility, semi-arid climate, soils degradation.

**ملخص:** تتأثر سفوح الظهرة المتمركزة في الشمال الغربي للجزائر بمشاكل تآكل المياه حيث تتعرض التربة لتدهور شديد بسبب عدم التطابق بين المناخ شبه الجاف و الأنظمة الزراعية المطبقة التي تشكل تهديدا للتنمية الريفية للمنطقة. بعد الاستكشاف الميداني، وتحديد أولويات مختلف الأنظمة الزراعية المختلطة بالأشجار التي تطبق، تمت معاينة المناخ الحيوي و إجراء تحقيق وملاحظات بالقرب من المزارعين، إضافة إلى تحليل فيزيائية وكيميائية للتربة من أجل المقارنة بين مختلف الأنظمة. أظهرت النتائج أنه في غياب أنظمة لاستخدام الأراضي بصفة مستدامة، أصبحت تربة المنطقة الواقعة في المنحدرات المنخفضة هشة للغاية بسبب قلة الغطاء النباتي والأنشطة البشرية السلبية، بالنظر إلى عدم وجود النظام المناسب لتطوير وإدارة التربة. يسمح الجمع بين الأشجار والأنظمة الزراعية بحماية التربة من خلال تحسين خصوبتها و تحسين الوضع الاجتماعي والاقتصادي للمزارعين. وبهذا، فإن تحليل القراءات على موارد الأشجار في المزارع، باعتبار مكافحة تآكل المياه جانب واحد فقط من الحفاظ على التربة، كان من الصعب جدا أن تتمكن من تقييم الفعالية المنتظرة للأنظمة الزراعية المختلطة بالأشجار بسبب إدارتها غير اللائقة. يجب على الأنظمة الزراعية المختلطة بالأشجار أن توفر إمكانية السيطرة على مشكل تآكل المياه و الحفاظ على خصوبة التربة لضمان زراعة مستدامة للسفوح التي تعتمد على حماية سكان الريف.

**الكلمات المفتاحية:** الزراعة المختلطة بالأشجار، سفوح الظهرة، تآكل المياه، خصوبة التربة، مناخ شبه جاف، تآكل التربة.