

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITÉ ABDERRAHMANE MIRA -BEJAIA  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE  
DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES DE L'ENVIRONNEMENT

# Mémoire de fin de Cycle

En vue de l'obtention du diplôme de Master II en Sciences de l'Environnement

Option : Sciences Naturelles de l'Environnement

## Thème

*La restauration des écosystèmes terrestres :  
synthèse bibliographique*

Présenté par :

*M<sup>lle</sup>* TEBACHE Souad

*M<sup>lle</sup>* TEBBACHE Anissa

Membres du jury :

\* Président : *M<sup>r</sup>* Sidi Hachemi

\* Promoteur : *M<sup>r</sup>* Bekdouche Farid

\* Co – Promotrice : *M<sup>lle</sup>* Mokrane Djaouida

\* Examineur : *M<sup>r</sup>* Laimouche Abdelhafid

\* Examineur : *M<sup>r</sup>* Ait Sidhoum Djaffer

2012/2013

## *Remerciements*

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

*Ce travail n'aurait pu voir le jour sans la participation et le soutien de nombreuses personnes que nous souhaitons remercier:*

- Notre promoteur Mr BEKDOUCHE*
  - Notre Co-Promotrice Melle MOKRANE qui nous a énormément aidés avec ses conseils et remarques durant toute cette période de recherche*
  - Monsieur SIDI H. qui a bien voulu nous honorer de présider le jury*
  - Monsieur DAHMANA A. Chargé de cours à l'université de Bejaia, de nous avoir conféré des documents sur notre thème*
- nous remercions également tous les autres membres du jury : Mr LAIMOUCHE ainsi que Mr Ait SIDHOUM*

*Enfin, nous tenons à remercier notre famille qui nous a soutenues durant tout notre parcours d'étude.*

*ANISSA & SOUAD*

# Dédicaces

*Avant toute chose je tiens à remercier dieu le plus puissant pour m'avoir donné force et la patience afin de réaliser ce modeste travail que je dédie particulièrement à :*

*Mon père comme témoignage de ma reconnaissance pour ses efforts dont je serais toujours redevable et l'intérêt qu'il n'a jamais cessé de porter à mes études.*

*Ma chère mère adorée qui s'est sacrifiée pour mon éducation et ma réussite et de lui dire que tu as été pour moi ma meilleure école et mon meilleur professeur, merci pour toute les valeurs que tu ma inculquées.*

- ❖ *A ma petite sœur adorée Meriem qui a beaucoup fait pour moi*
- ❖ *A mon petit frère Walid*
- ❖ *A ma grande sœur Nabila et son mari et à leur petit ange Wassim*
- ❖ *A mon grand frère Yacine, ainsi qu'à ma belle sœur Sabrina*

*A toutes ma familles, mes amies et sans oublier ma cousine et adorable binôme Anissa qui ma supporter pendant le trajet de nos études.*


*Enfin à tous ceux qui m'aiment et me souhaitent que du bonheur.*

**QUE LE DIEU PROTEGE ET GARDE TOUT LE MONDE EN BONNE**

**SANTÉ**

**INCHA ALLAH**

*Souad*



# Dédicaces

*Avant toute chose je tiens à remercier Dieu le tout puissant pour m'avoir donné la force et la patience afin de réaliser ce modeste travail que je dédie particulièrement à :*

*Mon père comme témoignage de ma reconnaissance pour ses efforts dont je serais toujours redevable et l'intérêt qu'il n'a jamais cessé de porter à mes études*

*Ma chère mère adorée qui s'est sacrifiée pour mon éducation et ma réussite et de lui dire que tu as été pour moi ma meilleure école et mon meilleur professeur, « MERCI » pour toutes les valeurs que tu m'a inculquées*

- ❖ *A mes chères sœurs Aicha et Lila*
- ❖ *A ma très chère sœur Linda et son mari Zakari*
- ❖ *A mon grand frère Layachi*
- ❖ *A ma douce et adorable tante Noria et son mari Azzedine et leurs enfants Badis et Wassim*
- ❖ *A mes chers oncles Omar, Farid, Saddek, Mourad, Hamid, Zahir, M.Tahar ainsi leurs femmes et leurs enfants.*
- ❖ *A mon très très cher oncle Karim et son épouse Djida et leurs petits anges Alia et Mehdi*
- ❖ *A mes adorables grands parents Hachemi et Ouardia que Dieu les protègent et gardent en bonne santé inchaallah.*
- ❖ *A toute mes amies : Yasmina, Khadidja, Fatiha*
- ❖ *A ma cousine et adorable binôme souad qui m'a supporté le trajet de nos études*

*Sans oublier toute la promotion de science naturelle de l'environnement 2012/2013*

*Enfin à tous qui m'aiment et me souhaitent que le bonheur*

*ANISSA*



# Sommaire

Introduction générale .....	1
<b>Chapitre I : Ecosystème structure, fonctionnement, et évolution .....</b>	<b>3</b>
I.1 .Ecosystèmes et l'énergie.....	3
I.1.1. Définition de l'écosystème .....	3
I.1.2.Les flux d'énergie dans les écosystèmes.....	3
I.1.3.Les niveaux trophiques de la chaine alimentaire .....	4
I.1.3.1.Producteurs primaire .....	4
I.1.3.2. Consommateurs .....	4
I.1.3.3. Décomposeurs .....	4
I.1.4. Productivité d'un écosystème .....	5
I.1.4.1 .productivité primaire brute .....	5
I.1.4.2.productivité secondaire.....	5
I.1.5. Les cycles de la matière à l'intérieur des écosystèmes .....	6
I.2. Ecosystèmes et organismes vivants .....	6
I.2.1. La sélection naturelle .....	6
I.2.2. Les interactions entre les organismes .....	6
I.2.2.1.les interactions interspécifique .....	7
a)mutualisme (symbiose).....	7
b) commensalisme .....	8
c)parasitisme .....	8
d) compétitions .....	8
e) Prédation .....	8
f) neutralisme .....	8
g) Amensalisme .....	9
h) coopération .....	9
I.2.2.2.les interactions intra spécifique .....	9
I.2.3. La niche écologique .....	9
I.3. La biodiversité .....	9
I.3.1.La notion de biodiversité .....	9
I.3.2.La diversité spécifique .....	10

I.3.3. Les facteurs de la perte de la biodiversité .....	10
I.3.3.1. Perte d'habitat.....	10
I.3.3.2. Le changement climatique .....	11
I.3.3.3. Espèce envahissantes .....	11
I.3.3.4. Surexploitation .....	11
I.3.3.5. Pollution .....	11
I.3.4. Les services des écosystèmes .....	12
I.4. Les principaux biomes terrestres .....	13
I.4.1. Répartition des principaux biomes terrestres .....	14
I.4.1.1. La toundra .....	14
I.4.1.2. La taïga .....	15
I.4.1.3. La forêt décidue tempérée.....	15
I.4.1.4. Les forêts sempervirentes tempérées.....	16
I.4.1.5. Les prairies tempérées .....	16
I.4.1.6. Les biomes méditerranéens .....	16
I.4.1.7. Les déserts .....	17
I.4.1.8. Les forêts de tropicale de mousson .....	17
I.4.1.9. Les forêts équatoriales luxuriantes .....	18
I.4.1.10. Les savane .....	18
<b>Chapitre II : Les perturbations des écosystèmes .....</b>	<b>19</b>
II.1. Les différentes perturbations des écosystèmes terrestres .....	19
II.1.1. Les incendies de forêts .....	19
II.1.1.1. Importance des incendies de forêt.....	19
II.1.1.2. Causes des incendies .....	21
II.1.2. La déforestation (déboisement) .....	22
II.1.2.1. Le déboisement dans le monde .....	22
II.1.2.2. Causes de la déforestation .....	22
II.1.3. Le pâturage .....	23
II.1.4. Désertification .....	23
II.1.5. Dégradation des sols .....	24
II.1.5.1. L'érosion.....	25

II.1.5.1.1. Erosion hydrique.....	25
II.1.5.1.2. Facteurs de l'érosion hydrique .....	26
a. Les précipitations et le ruissellement .....	26
b. Le sol.....	26
c. La topographie .....	27
d. Le couvert végétal .....	27
e. Les facteurs liés aux activités agricoles .....	27
f. Les facteurs géologiques .....	28
II.1.5.1.3.Erosion éolienne .....	28
<b>Chapitre III : Méthodes et techniques de restauration des écosystèmes.....</b>	<b>30</b>
III.1.Définition .....	31
III.2.Planification de la Restauration .....	31
III.3.Evaluation des projets de restauration écologique .....	32
III.3.1.La comparaison directe .....	32
III.3.2. Analyse des attributs .....	32
III.3.3. Analyse de la trajectoire .....	32
III.4.Relation entre Pratique de la Restauration et Ecologie de la Restauration.....	33
III.5. Relation entre la Restauration et les Autres Activités .....	33
III.6. La reconstitution des milieux à partir de la régénération naturelle .....	38
III.6.1 .Broyage d'ouverture .....	38
III.6.2 .Broyage d'entretien .....	39
III.6.3.Le recépage .....	40
III.6.4.Le dessouchage .....	41
III.6.5.Enlèvement du liège brûlé .....	42
III.7.Le semis .....	42
III.8. Les reboisements et leur protection .....	43
III.9 .La restauration par brûlis contrôlés (controlled burning) .....	44
III.10. Techniques et méthodes de lutte contre l'érosion.....	45
III.10.1.Aperçu général sur l'érosion .....	45
III.10.1.1. Les effets du ruissellement .....	45
III.10.1.2. Formation des ravines .....	46
III.10.1.3. Impact de l'érosion .....	46

III.10.1.4. Quelles réponses contre l'érosion .....	47
III.10.2. Techniques de lutte contre l'érosion .....	48
III.10.2.1. Techniques de végétalisation .....	48
III.10.2.2. Le paillage-mulch .....	48
III.10.2.3. Garder le plus de végétation .....	49
III.10.2.4. Technique de L'hydromulch.....	50
III.10.2.5. Profilage – Rabotage temporaire .....	50
III.10.2.6. Utilisation de la bande enherbée .....	51
III.10.2.7. La technique des barrières .....	51
III.10.2.7.1. Barrière à sédiments .....	51
III.10.2.7.1.1. Ballots de paille .....	51
III.10.2.7.1.2. Barrières de Géotextile .....	52
III.11. Rôle des légumineuses dans la restauration après incendie et érosion .....	52
III.12. Evaluation de la réussite d'une restauration .....	54
III.13 .cas d'étude de restauration .....	55
III.13.1. Technique contre l'érosion du sol en Tunisie .....	55
III.13.2. Restauration des alpages dégradés .....	56
III.13.3. restauration des prairies d'altitude par le pâturage.....	57
III.13.4. la réhabilitation d'un site carrière en méditerranéen.....	58
III.13.5. Bilan de la restauration écologique à La Réunion.....	59
III.13.6. Restaurer l'écosystème dans la plaine de Crau .....	60
 Conclusion générale .....	 62
Références bibliographique.....	63



## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : Schéma des relations entre les différents maillons de la chaîne alimentaire. ....	5
<b>Figure 2</b> : Carte de répartition des principaux biomes terrestres .....	14
<b>Figure 3</b> : Evolution annuelle du nombre d'incendies, des superficies incendiées et du feu moyen dans 5 pays euro-méditerranéens (période 1986- 2005) .....	20
<b>Figure 4</b> : Origine des incendies causes involontaire .....	21
<b>Figure 5</b> : Schéma de l'érosion hydrique. ....	26
<b>Figure 6</b> : Schéma générale de différentes perturbations et leurs conséquences.....	29
<b>Figure 7</b> : Illustration d'une situation de la subéraie avant le passage de l'incendie .....	34
<b>Figure 8</b> : Illustration d'une situation une année après incendie au niveau de la subéraie précédente.....	34
<b>Figure 9</b> : Illustration des rejets de souches une année après incendie d'un chêne liège démasclé deux années auparavant. ....	35
<b>Figure 10a et 10 b</b> : Illustration de rejets de souche d'un arbousier (a) et d'un chêne kermès (b) .....	35
<b>Figure 11</b> : Illustration d'une pinède après incendie (a : cône ouvert sous l'effet de la chaleur, b : graine de pin, c : plantule de pin .....	36
<b>Figure 12</b> : Image de travaux de broyage de la végétation basse .....	38
<b>Figure 13</b> : Image de travaux du broyeur d'entretien.....	39
<b>Figure 14</b> : Représentation des rejets de feuillus de l'automne après incendie et recépage.....	40
<b>Figure 15</b> : Image de dessouchage au riper .....	41
<b>Figure 16</b> : Démonstration d'enlèvement du liège noir plus ou moins calciné en surface.....	42
<b>Figure 17</b> : Image des ravinements.....	46
<b>Figure 18</b> : Image des dégâts aux cultures dus à l'érosion dans une parcelle de céréales d'hiver .....	47
<b>Figure 19</b> : Image des dégâts aux cultures dus à l'érosion dans une parcelle de betterave.....	47
<b>Figure 20</b> : Sol protégé par un paillage de graminées .....	49

<b>Figure 21</b> : Image de la technique de lutte par semis et bande de végétation protectrice....	49
<b>Figure 22</b> : Démonstration d' Hydrosemencement à partir d'une unité montée sur un camion .....	50
<b>Figure 23</b> : Image de technique des ballots de paille contre l'érosion .....	52
<b>Figure 24</b> : Accumulation de sédiments dans les empreintes de sabots de vaches après 3 périodes de précipitation .....	57

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau 1</b> : Catégories des services écologiques .....	13
<b>Tableau 2</b> : Situation des forêts dans le monde.....	22

# INTRODUCTION

# Introduction générale

Le bien-être de l'humanité dépend entièrement de la nature. Le développement, dont la définition au sens large englobe les aspects sociaux, économiques et environnementaux de la croissance, vise à améliorer le bien-être de l'humanité. Malgré leurs liens inextricables, le développement et la nature ont souvent été envisagés de façon exclusive ou même mis en opposition (Ranganathan et *al.*, 2008).

Les effets conjugués de la pression anthropique croissante sur les ressources naturelles et des conditions climatiques sévères engendrent des dysfonctionnements de l'écosystème terrestre. Ces effets sont amplifiés par les modes et systèmes inappropriés d'exploitation des ressources naturelles disponibles. Cela conduit à la régression des massifs forestiers, à la diminution de la disponibilité des ressources en eau et leur pollution et à la dégradation des parcours et des sols, pouvant engendrer la désertification et la disparition de certaines espèces animales et végétales (Benbrahim et *al.*, 2004).

A quoi ressemblera le paysage dans lequel vivront nos enfants et petits-enfants en 2050? Quelles tendances discernons-nous aujourd'hui et comment notre paysage et ses prestations se modifieront-ils si l'évolution actuelle se poursuit, voire s'accélère? (Körner, 2008)

Les conséquences possibles sont : la perte de diversité biologique et de biocénoses entières, des modifications des formes de couverture du sol (forêt, champ, herbage, site construit etc.).

Face à la dégradation des milieux naturels, les projets de restauration des écosystèmes et de compensation des impacts d'aménagements se multiplient. Un outil majeur des praticiens de la restauration est l'ingénierie écologique, qui croise les connaissances techniques et scientifiques sur les milieux et espèces impactés en vue de repositionner les écosystèmes sur une trajectoire écologique choisie (Crouza, 2011).

Ce mémoire est structuré en trois grands chapitres. Dans un premier chapitre, nous présenterons l'aspect général des écosystèmes ; le deuxième est consacré à une synthèse sur les perturbations. Dans le dernier, nous faisons une synthèse sur les méthodes et techniques de restauration des écosystèmes. Pour ce faire nous citons, après la présentation des travaux de la

reconstitution naturelle, la technique de semis et la méthode du reboisement ensuite nous proposons quelque technique de lutter contre l'érosion qui est une conséquence principale de différente perturbation citée dans le mémoire.

Enfin nous évoquons des cas d'études de restauration qui ont été faite dans différente région du monde.

# CHAPITRE I

Ecosystème structure, fonctionnement et évolution

## **Chapitre I : Ecosystèmes structure, fonctionnement et évolution**

Un écosystème est l'unité de base en écologie et en restauration écologique. C'est une unité fonctionnelle de la biosphère sur une échelle de temps et d'espace donnée, constituée par des populations qui interagissent entre elles et avec l'environnement physique qui les entoure (Laugier, 2012).

Les écosystèmes sont le cadre de toute vie et de toute activité humaines. Les biens et services qu'ils nous fournissent grâce à la diversité biologique (biodiversité) sont indispensables à la durabilité de notre bien-être.

### **I.1. Ecosystème et énergie**

#### **I.1.1. Définition de l'écosystème**

L'écosystème est l'ensemble qui regroupe, d'une part, la communauté des vivants, appelée biocénose (animaux, plantes, micro-organismes), et d'autre part, l'environnement géologique, pédologique et atmosphérique, autrement dit le biotope (climat, roches, relief...). Fonctionnant selon un équilibre précis, cet écosystème peut être perturbé si l'une de ses composantes varie.

En plus du biotope et de la biocénose l'écosystème comprend également toutes les interactions biotiques d'une communauté aussi bien que les interactions entre les organismes et leur environnement abiotique (Duvignaud, 1974).

#### **I.1.2. Le flux d'énergie dans les écosystèmes**

L'énergie entre dans les écosystèmes sous forme d'énergie lumineuse (photon) dont une partie est absorbée par les plantes pendant la photosynthèse (assimilation chlorophyllienne) pour être transformée en énergie chimique qui est stockée dans les liaisons de molécules organiques sous forme de glucose. Pour obtenir l'énergie contenue dans ces molécules organiques, l'ensemble des organismes plantes, animaux et micro-organismes respirent. Quand la respiration oxyde ces molécules, elle libère de l'énergie nécessaire au travail biologique comme la réparation des tissus, la production de la chaleur du corps ou la reproduction. Une fois le travail effectué, l'énergie sort de l'organisme et se dissipe dans l'environnement sous forme de chaleur. Au final, cette énergie est irradiée dans l'espace. Une fois qu'un organisme a consommé de l'énergie, elle devient inutilisable pour tous les autres organismes. Le mouvement de l'énergie que nous venons de décrire est appelé le flux d'énergie (Berg *et al.*, 2008).

### **I.1.3.Niveaux trophiques et chaînes alimentaires**

D'un point de vue trophique, les êtres vivants peuvent être classés en trois catégories :

#### **I.1.3.1.Les producteurs primaires**

Les producteurs sont les végétaux autotrophes. Ils constituent le premier niveau trophique de l'écosystème. En effet, grâce à la photosynthèse ils élaborent la matière organique à partir de matières strictement minérales fournies par le milieu extérieur abiotique.

La biomasse ou la matière organique ainsi produite dans un écosystème est dite production primaire (Duvignaud, 1974).

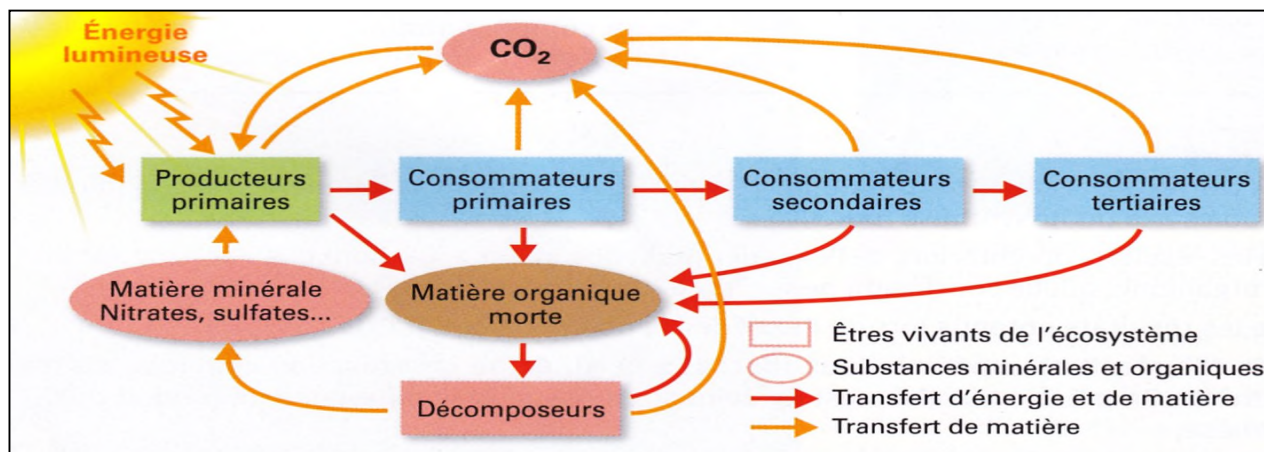
#### **I.1.3.2.Les consommateurs**

Les consommateurs sont tous hétérotrophes. Ils élaborent leur matière organique en transformant celle qu'ils prélèvent sur d'autres êtres vivants. Ils sont donc aussi producteurs (producteurs secondaires). Les consommateurs occupent un niveau trophique différent en fonction de leur régime alimentaire. On distingue trois niveaux : les consommateurs primaires qui sont principalement des phytophages ; les consommateurs secondaires qui sont des prédateurs des consommateurs primaires ; et les consommateurs tertiaires qui sont des prédateurs des consommateurs secondaires. Le plus souvent, un consommateur est omnivore et appartient donc à plusieurs niveaux trophiques (Duvignaud, 1974).

#### **I.1.3.3.Les décomposeurs**

Les décomposeurs consomment la matière organique inerte (cadavres, débris végétaux, matière organique dissoute, etc.) et sont appelés pour cela saprophages. Ce sont essentiellement des invertébrés du sol, des champignons et des bactéries. Ils accélèrent le processus de minéralisation de la matière organique assurant ainsi le caractère cyclique de la chaîne alimentaire qui lie l'ensemble de ses producteurs primaires, consommateurs et décomposeurs (Duvignaud, 1974) comme représenté dans la figure ci-dessous :





**Figure 1 : Schéma des relations entre les différents maillons de la chaîne alimentaire.**

Source : <http://lejournaldeschouettessavantes.cafe-sciences.org/articles/linsoupconnable-intelligence-des-plantes-partie-1>

#### I.1.4. Productivité d'un écosystème

##### I.1.4.1. La productivité primaire brute (PPB)

La productivité primaire brute d'un écosystème correspond au taux auquel l'énergie est capturée pendant la photosynthèse. Ces productivités primaires brutes et nettes sont appelées primaires vu que les plantes occupent le premier niveau trophique dans les réseaux trophiques.

Les plantes respirent pour fournir de l'énergie pour leurs propres besoins et ceci agit comme une ponction sur la photosynthèse. L'énergie contenue dans les tissus des plantes, après que la respiration cellulaire ait lieu, constitue la productivité primaire nette (PPN) (Berg *et al.*, 2008).

##### I.1.4.2. La productivité secondaire

On entend par la productivité secondaire la productivité des consommateurs (herbivores, carnivores, parasites), des détritivores et des décomposeurs.

Comme pour la productivité primaire, on distinguera une production brute et, après déduction de la respiration, une productivité nette. Là encore, on prendra garde de ne pas confondre productivité nette et augmentation de biomasse, cette augmentation étant, à un niveau trophique donné, égale à la différence entre la productivité nette et la consommation par le niveau trophique supérieur.

Les décomposeurs outre une reproductivité de leur propre biomasse, sont responsables d'une décomposition extracellulaire de la matière organique morte (véritable digestion externe) rendu possible grâce à l'excrétion d'enzymes dans le milieu, oxydation dont ils tirent leur énergie (Frontier *et al.*, 1998).

### **I.1.5. Les cycles de la matière à l'intérieur des écosystèmes**

Un cycle biogéochimique est le processus de transport et de transformation cyclique d'un élément ou composé chimique entre les grands réservoirs qui sont la géosphère, l'atmosphère, et l'hydrosphère dans lesquels se retrouve la biosphère (Gall, 1995). Un tel cycle induit souvent des passages de l'état organique à l'état minéral au sein de la biosphère. Lors de ces passages c'est-à-dire de l'état organique à l'état minérale (Dajoz, 2006) qui se produisent au sein des systèmes écologiques comme dans le cas de système écologique terrestre, la circulation des éléments fait appel à quatre sortes de relations :

- 1) Relation entre la plante et l'atmosphère constituant un sous-cycle atmosphérique.
- 2) Relation qui se manifeste à l'intérieur de la plante formant un sous-cycle biochimique.
- 3) Relation entre le sol et la plante désignant un sous-cycle biologique.
- 4) Relation entre la roche et le sol déterminant un sous cycle géochimique.

Cinq cycles biogéochimiques différents (carbone, azote, phosphore, soufre et eau) sont représentatifs, ils reposent principalement sur les deux derniers sous-cycles où interviennent les sols qui sont de ce fait les pivots du fonctionnement de la biosphère terrestre. Ces cinq cycles sont particulièrement importants pour les organismes, car les substances précédemment cités sont à la base des composés chimiques des cellules (Berg et *al.*, 2008).

## **I.2. Ecosystèmes et organismes vivants**

### **I.2.1. La sélection naturelle**

Le principe de la sélection naturelle implique deux processus complémentaires ; l'existence d'une variabilité génétique héréditaire et d'un phénomène de sélection des individus les plus performant sur le plan reproducteur dans un type d'environnement donné.

Lorsque les conditions se modifient, les génotypes qui produisent les phénotypes les plus aptes à reprendre aux nouvelles contraintes ont un avantage adaptatif est sont sélectionnées au cours des générations successive.

La sélection affecte essentiellement la fréquence des gènes. Tout gène contrôlant des adaptations qui renforcent les chances de succès de la reproduction sera avantagé et sa fréquence peut alors s'accroître au cours des générations (Levêque, 2001).

### **I.2.2. Les interactions entre les organismes**

Au sein d'une biocénose, différents types d'interactions sont observés entre individus d'espèces différentes (interactions interspécifiques) ou de la même espèce (interactions intra spécifiques). Ces interactions peuvent être nuisibles, neutres ou bénéfiques (Dajoz, 1996).

### **I.2.2.1. Interactions interspécifiques**

Les principales interactions interspécifiques sont :

#### **a) Le mutualisme ou symbiose**

Le mutualisme est une interaction dans laquelle les deux partenaires trouvent un avantage, celui-ci pouvant être la protection, l'apport de nutriments, la pollinisation, la dispersion, etc.

Les interactions peuvent associer deux ou plusieurs espèces. L'association obligatoire et dissoluble entre deux espèces est une forme de mutualisme à laquelle on réserve généralement le nom de symbiose. Le terme mutualisme est réservé au cas où les deux partenaires peuvent mener une vie indépendante bien que reconnu dès le XIX<sup>ème</sup> siècle que le mutualisme n'est considéré comme un facteur écologique important que depuis peu de temps (Boucher *et al.*, 1982., Boucher, 1985). Parmi les associations symbiotiques on distingue :

#### **a.1) Mycorhize**

Les mycorhizes constituent un autre type d'association symbiotique dont le rôle est très important dans les écosystèmes terrestres car elles se rencontrent chez la plupart des espèces de plantes supérieures vivaces, en particulier chez les arbres appartenant à de nombreuses espèces propres aux forêts méditerranéennes, tempérées et boréales (Ramade, 2009).

#### **a.2) Lichens**

Les lichens sont des cryptogames résultant de la symbiose d'un champignon et d'une algue. Dans chaque cas, il est possible d'associer à un thalle d'origine cryptogamique des cellules algales.

L'importance écologique des lichens tient à ce que beaucoup de genres de ces cryptogames se comportent en « pionniers de végétation » car ils peuvent s'installer sur des milieux entièrement minéraux (Ramade, 2009).

#### **a.3) Protozoaires symbiotiques**

Les protozoaires symbiotiques se trouvent dans l'intestin postérieur des termites ou dans la panse des ruminants des protozoaires qui constituent un autre type de symbiote dont l'importance écologique n'est pas à souligner (Ramade, 2009).

**b) Le commensalisme**

Il s'agit d'une interaction entre une espèce commensale qui en tire un bénéfice, et une espèce hôte qui n'en tire ni avantage ni nuisance. Parmi les commensaux on peut citer les animaux qui s'installent et qui sont tolérée dans les gîtes des autres espèces (Dajoz, 1996).

**c) Le parasitisme**

C'est une relation interspécifique dans laquelle un des individus de l'association, le parasite vit au dépend de celui qui l'héberge, l'hôte dont il tire sa nourriture. Parmi les moyens d'exploitation le parasitisme est extrêmement répandu. On le rencontre dans les deux règnes animale et végétale et dans la plupart des groupes systématiques (Fauri et al., 2002).

**d) La compétition**

Le terme de compétition désigne une situation dans laquelle une ressource n'est pas disponible en quantité suffisante soit pour deux individus de la même espèce (il s'agit alors d'une compétition intra spécifique), soit pour deux individus d'espèce différentes (compétition interspécifique). Ce dernier type de compétition se manifeste quand deux espèces différentes utilisent une ressource commune dont la disponibilité est limitée, ou si leurs populations se gênent mutuellement pour accéder à la ressource dont elles ont besoin (Ramade, 2003).

**e) La prédation**

La prédation diffère de la compétition dans le fait qu'elle est toujours nuisible au niveau de l'individu impliqué. En effet, l'action de prédation a toujours comme conséquence la mort de la proie. Elle concerne à la fois les animaux qui mangent d'autres animaux (interactions herbivores-carnivores) et les animaux mangeant des plantes (interactions producteur-herbivore) (Miller & Ricklefus, 2005).

**f) Le neutralisme**

Le neutralisme ou l'indifférence, est une absence d'interaction. Comme le cas des chamois, les bouquetins et les mouflons dans le Mercantour (Miller & Ricklefus, 2005).

**g) Amensalisme**

L'amensalisme est une interaction dans laquelle une espèce est éliminée par une autre espèce qui sécrète une substance toxique. Dans les interactions contre végétaux l'amensalisme est souvent appelé Allélopathie (Rice, 1974).

**h) Coopération**

La coopération apparaît lorsque deux espèces forment une association qui n'est pas indispensable puisque chacun peut vivre isolément (Krebs & Davies, 1987).

**I.2.2. Interaction intra spécifique**

Les relations intra spécifiques s'établissent entre individus de la même espèce. Il s'agit souvent de phénomènes de coopération ou de compétition. Elle constitue un processus essentiel de régulation des populations. Lorsqu'une ressource indispensable n'est plus disponible en quantité suffisante, les individus qui constituent la population concernée entrent en concurrence pour ce la procurer. L'accès à la lumière ou à l'eau chez les plantes, la recherche de nourriture ou de l'espace nécessaire pour la nidification chez les animaux constituent des enjeux primordiaux de la compétition intra spécifique.

**I.2.3. Niche écologique**

La niche écologique est un concept théorique de l'écologie. Il traduit à la fois la position occupée par un organisme, une population ou plus généralement une espèce dans un écosystème, et la somme des conditions nécessaires à la viabilité d'une population de cette espèce (Choumert, 2005).

Hutchinson(1957) définit une niche écologique comme un hyper volume où chaque dimension de l'espace est une ressource alimentaire, spatiale de l'environnement. Selon cette théorie, deux espèces ne peuvent occuper une même niche écologique durablement. En effet, il en résulte une compétition et le principe de la sélection naturelle tend à favoriser celle qui est la plus adaptée à la niche, c'est à dire celle qui peut se reproduire le plus efficacement.

**I.3. La biodiversité****I.3.1. La notion de la biodiversité**

La biodiversité englobe à la fois l'ensemble des organismes vivants de la planète et les relations fonctionnelles complexes qu'ils entretiennent entre eux.

Les composantes de la diversité biologique sont organisées en plusieurs niveaux, du plus simple au plus complexe, depuis les structures chimiques qui sont les bases moléculaires de l'hérédité jusqu'aux écosystèmes. La biodiversité englobe donc les écosystèmes, les espèces, les gènes et leur abondance relative. Elle est à l'origine de tous les mécanismes qui permettent à la biosphère d'assurer en permanence des tâches de protection des sols et de régulation du climat et des fluides vitaux maintenant les paramètres de notre environnement dans des limites compatibles avec la vie (Fisher et *al.*, 2009).

### **I.3.2. La diversité spécifique**

La diversité spécifique peut être évaluée à des niveaux différents : celui de la biocénose, et celui d'un groupe systématique. La mesure de la biodiversité des biocénoses est difficile car le nombre d'espèces présentes peut dépasser le millier et même atteindre quelque dizaines de milliers dans des milieux complexes comme les forêts ; surtout les forêts équatoriales. En outre, les biocénoses n'ont pas toujours des limites nettement marquées. Les groupements qui sont définis à partir d'animaux mobiles comme les insectes et les Mammifères ou à partir d'animaux de petite taille comme les Acariens et les Protozoaires du sol ne coïncident presque jamais avec ceux qui sont définis à l'aide de la végétation. C'est donc le plus souvent dans le cadre d'un taxon comme une famille ou un ordre que la biodiversité pourra être évaluée d'une façon précise.

La mesure de la biodiversité devrait aussi tenir compte des effectifs des diverses espèces car, à un nombre égal d'espèces, un peuplement a une diversité plus élevée si toutes les espèces qui le composent ont à peu près les mêmes effectifs. C'est la raison pour laquelle on utilise des indices de diversité comme l'indice de Shannon ou d'autres indices (Magurran, 1988).

### **1.3.3. Les facteurs de la perte de la biodiversité**

La perte de la biodiversité est causée par des facteurs directs comme la destruction des habitats, les changements d'utilisation des sols, le changement climatique, les espèces envahissantes, la surexploitation et la pollution ; ainsi que par des facteurs indirects comme les lacunes en matière de gouvernance et de cadres juridiques et institutionnels en faveur de la conservation (Dajoz, 2006).

#### **I.3.3.1. Perte d'habitat**

La sécheresse, les maladies, le feu, les volcans, les séismes, de légères variations de températures ou des intempéries saisonnières sont des causes naturelles de perte d'habitat ;

mais les principales raisons de la fragmentation des habitats, de leur dégradation voire de leur disparition sont les modifications dans l'utilisation des sols par les activités humaines telles que l'agriculture, l'élevage, le développement des infrastructures, l'exploitation forestière, minière et l'urbanisation rapide (Soubeyran, 2008).

### **I.3.3.2. Le changement climatique**

La biodiversité est perturbée par le changement climatique, l'élévation de température moyenne s'accompagne d'événements météorologiques extrêmes plus fréquents, affectant le bon fonctionnement des écosystèmes. Cependant, la répartition de la faune et de la flore sauvage comme celle des espèces domestiquées sont sensibles aux facteurs climatiques tels la température et l'humidité. En Afrique, par exemple, les sécheresses plus longues et la pression sur l'habitat déjà fragilisé rendent les éléphants très vulnérables aux changements climatiques (Dajoz, 1996).

### **I.3.3.3. Espèces envahissantes**

Les espèces exotiques envahissantes sont aujourd'hui considérées comme l'une des plus grandes menaces pour la biodiversité. D'après la liste rouge de l'Union International pour la Conservation de la Nature (l'UICN), les espèces envahissantes sont la deuxième cause d'extinctions documentées d'espèces et la troisième menace à venir pour les espèces en danger d'extinction. On estime qu'elles menacent 30 % des oiseaux, 15 % des plantes, 11 % des amphibiens et 8 % des mammifères inscrits dans les catégories d'espèces menacées de la liste rouge (Baillie *et al.*, 2004). De plus, les invasions biologiques constituent une menace pour l'économie, la santé et les conditions de vie des personnes.

### **I.3.3.4. Surexploitation**

La surexploitation de la biodiversité par des activités de prélèvement, telles la chasse, la pêche et l'extraction de matières premières, constituent aujourd'hui une cause importante de régression des populations végétales et animales conduisant à l'extinction des espèces concernés (Ramade, 2005).

### **I.3.3.5. La pollution**

Les pollutions constituent une cause insidieuse, souvent clandestine mais néanmoins importante, de régression de la biodiversité. Elle exerce un effet pernicieux sur les populations d'espèces vulnérables en provoquant une diminution de leur reproduction.

La pollution des sols par les produits chimiques utilisés en agriculture et dans le traitement des forêts (pesticides) exploitées par l'industrie du bois représente une cause importante et permanente de diminution des populations de nombreuses espèces végétales ou animales (Roche et *al.*, 2005).

### **I.3.4. Les services des écosystèmes**

Par définition, les services écosystémiques sont les services offerts par l'environnement naturel au profit des populations. Il n'existe aucune méthode unique et convenue de catégorisation de tous les services écosystémiques, mais l'évaluation écosystémique du millénaire est largement acceptée et considérée comme un point de départ utile. D'après cette évaluation, les services écosystémiques peuvent être répartis en quatre catégories :

#### **a) Les services de régulation**

Les services de régulation correspondent aux fonctions indispensables remplies par les écosystèmes et auxquelles on accorde rarement une valeur monétaire sur les marchés conventionnels. Ces services comprennent la régulation du climat grâce au stockage du carbone et au contrôle des précipitations à un niveau local, le traitement des polluants grâce à une filtration de l'air et de l'eau, ainsi que la protection contre les catastrophes naturelles, comme les glissements de terrain ou les tempêtes dans les zones côtières (Ranganathan et *al.*, 2008).

#### **b) Services d'approvisionnement**

Les services d'approvisionnement fournissent des biens dont les humains peuvent se nourrir ou faire usage pour répondre à leurs besoins en matière de santé, d'abri, etc. (Limoges, 2009).

#### **c) Les services d'appui**

Les services d'appui ne procurent aucun avantage direct aux sociétés humaines, mais ils sont essentiels au fonctionnement des écosystèmes et constituent donc, indirectement, la source de tous les autres services. Des exemples incluent la formation des sols et le processus de croissance des végétaux (Limoges, 2009).

#### **d) Les services culturels**

Les services culturels ne procurent pas d'avantages matériels directs, mais ils contribuent à satisfaire les besoins et les désirs plus larges de la société et se traduisent par une volonté des gens à payer pour leur conservation. Ces services comprennent la valeur spirituelle accordée à certains écosystèmes particuliers comme les forêts sacrées, mais aussi la beauté des paysages ou des formations littorales



qui séduisent les touristes et le plaisir associé à des activités récréatives ou culturelles, ainsi que la valeur pédagogique offerte par la nature (Limoges, 2009).

Pour plus d'exemples sur le contenu de chacune des catégories de ces services écologiques voir tableau ci-dessous.

**Tableau I** : Catégories des services écologiques (Anonyme, 2005).

Services de régulation	Services d'approvisionnement	Services d'appui	Services socioculturels
- Régulation du climat Réduction des maladies, des prédateurs et des odeurs Purification de l'eau et de l'air Contrôle de l'érosion et des inondations Pollinisation -Dispersion des semences	-Nourriture Eau douce Combustible -Fibre Espèces ornementales -Animaux de compagnie Éléments biochimiques -Ressources génétiques	-Cycle des éléments nutritifs -Formation des sols -Production Primaire -Photosynthèse -Cycle de l'eau	-Spiritualité -Récréation et tourisme Esthétisme Éducation et inspiration -Sens d'appartenance -Patrimoine culturel

#### 1.4. Les principaux biomes terrestres

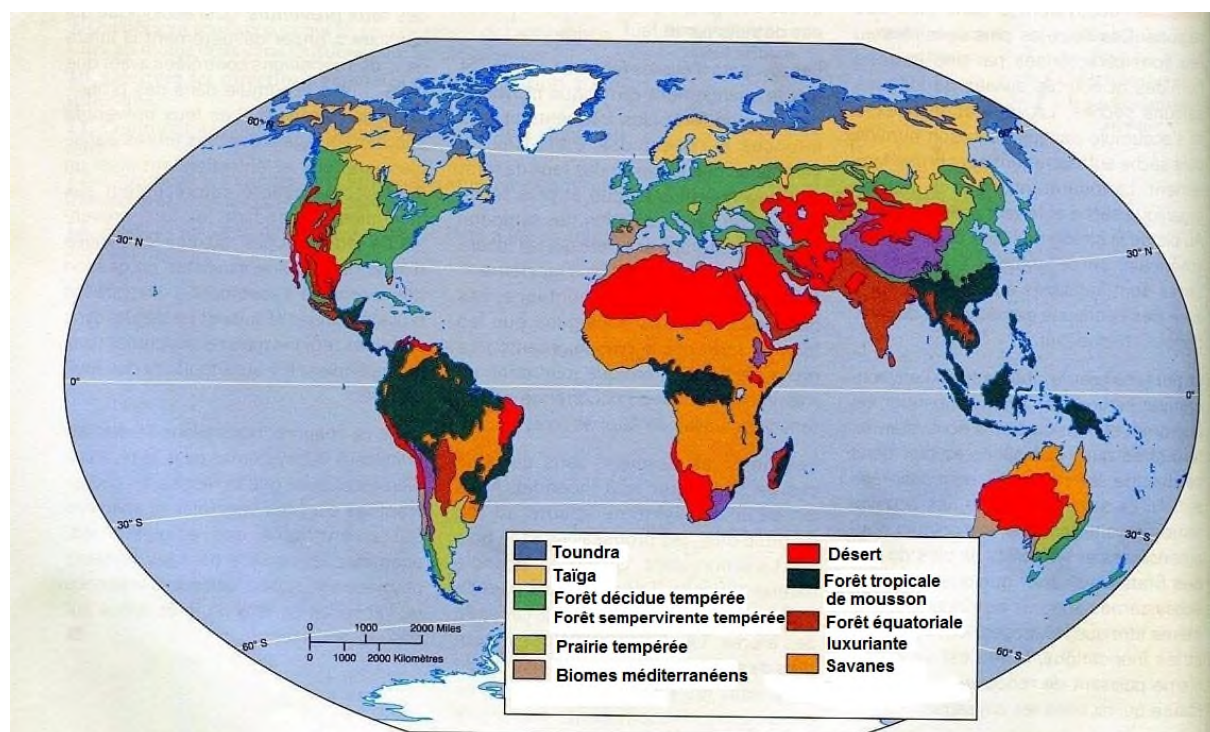
Les biomes sont définis comme les principales communautés mondiales, classées en fonction de la végétation prédominante et caractérisées par les adaptations des organismes à ce milieu particulier. Un biome (du grec bios = vie), appelé aussi aire biotique, éco-zone ou écorégion, représente donc un territoire qui se caractérise par un climat, un milieu physique, chimique et une vie spécifiques. On distingue cinq grands types de biomes : les biomes aquatiques, les forêts, la toundra, les prairies (humides notamment) et les déserts.

Dans les quatre dernières catégories, il existe de nombreuses subdivisions.

### 1.4.1. Répartition des principaux biomes terrestres

Huit grandes catégories de biomes sont présentées : la forêt ombrophile tropicale, la savane, les déserts, la prairie tempérée, la forêt décidue tempérée, la forêt sempervirente tempérée, la taïga et la toundra. Ces biomes se rencontrent dans le monde entier et occupent de vastes régions que l'on peut définir par les pluies et la température. Six autres biomes sont considérés par certains écologistes comme des sous-unités des huit principaux : la forêt de mousson, les glaces polaires, les zones montagneuses, le chaparral, la forêt sempervirente chaude et humide, et le semi-désert. Ils diffèrent notablement les uns des autres parce qu'ils ont évolués dans des régions caractérisées par des climats très différents (Berg *et al.*, 2008).

Voir figure ci-dessous :



**Figure 2** : carte de répartition des principaux biomes terrestres (Berg *et al.*, 2008)

#### I.4.1.1. La toundra

La toundra est la zone de végétation située au-delà de la limite naturelle des arbres. Cette limite passe à peu près ; dans l'hémisphère Nord, au niveau du cercle arctique (66°33' N), elle atteint 72° en Sibérie centrale et s'abaisse vers 53° au Labrador et en Alaska. Le climat est caractérisé par une période sans gel inférieure à 10°C. Le sol ne se dégèle que sur quelque décimètre de profondeur pendant le bref été, et il existe une partie gelée en

permanence, le permafrost, qui empêche le drainage des eaux et qui provoque la formation de vastes marécages (Dajoz, 2006).

Dans la toundra on trouve peu d'espèce végétale, mais chaque espèce est représentée par un grand nombre d'individus. Mousses, lichens (comme la cladonie), graminées et laïches sont dominants. Aucun arbre ou arbuste commun ne pousse accepté dans les endroits abrités, cependant les saules nains, les bouleaux nains et d'autres arbres nains sont courants. (Berg et *al.*, 2008).

#### **I.4.1.2. La taïga (forêt boréale)**

La taïga est une ceinture de forêts qui borde la toundra au sud et qui constitue 31% des forêts du globe. Elle est bien développée au Canada (où elle est connue sous le nom de forêt laurentienne), et dans le nord de l'Australie. Son climat est caractérisé par quatre mois d'été dont la température moyenne est supérieure à 10 °C ce qui permet l'installation de la forêt. Mais les hivers sont longs : six mois à moins de 0 °C, et l'enneigement dur de 160 à 200 jours par an (Dajoz, 2006).

Ce biome n'est pas adapté à l'agriculture à cause de sa courte période de végétation et de son sol carencé en minéraux. Il produit cependant du bois de charpente, du bios à pâte pour les produits dérivés du papier, des fourrures d'animaux et d'autres sous-produits. La taïga est la première source au monde de bois industriel et de fibres de bois. (Berg et *al.*, 2008).

#### **I.4.1.3. La forêt décidue tempérée**

Des saisons marquées (étés chauds et hivers froids) caractérisent la forêt décidue tempérée, que l'on trouve dans les zones tempérées où il tombe 750 à 1500 mm de pluie par an.

Les forêts décidues tempérées du nord-est et du centre-est des Etats-Unis sont dominées par des feuillus à bois dur, comme le chêne, le noyer d'Amérique ou Hickory, l'érable et le hêtre qui perdent leur feuillage chaque année.

A l'origine ces forêts abritaient un certain nombre de grands mammifères, comme les pumas, les loups et les bisons, qui ont maintenant disparu, en plus des cerfs, des ours et de nombreux petits mammifères et oiseaux.

Dans le monde entier, les forêts décidues tempérées furent parmi les premiers biomes à être transformés à des fins agricoles. En Europe et en Asie, beaucoup de sols qui étaient à l'origine recouverts de forêts de feuillus, ont été cultivés pendant des milliers d'années selon

des méthodes de culture traditionnelles sans que leur fertilité ne baisse substantiellement (Berg et *al.*, 2008).

#### **1.4.1.4. Les forêts sempervirentes tempérées**

Les forêts sempervirentes tempérées s'étendent le long de la côte au nord-ouest des Etats-Unis au sud-est de l'Australie et sur le littoral du Chili. Dans ce biome les précipitations, annuelles sont élevées, plus de 1270 mm et sont accrues par la condensation de l'eau provenant du brouillard côtier dense. Les hivers sont doux et les étés frais.

La végétation dominante de la forêt sempervirente tempérée d'Amérique du nord est composée d'arbres gigantesques à feuilles persistantes comme l'Hemlock (*tsuga heterophylla*) le Douglas, (*pseudotsuga menziesii*), etc.

C'est également un des écosystèmes les plus complexes au monde en termes de richesse spécifique. Nous devons éviter la surexploitation des forêts primaires (forêts qui n'ont jamais été coupées) car un tel écosystème met des centaines d'années à se développer (Berg et *al.*, 2008).

#### **1.4.1.5. Les prairies tempérées**

Dans les prairies tempérées, les étés sont chauds, les hivers sont froids et les précipitations souvent variables. En moyenne, les précipitations annuelles sont de 250 à 750 mm.

Le sol des prairies contient une proportion considérable de matière organique parce que les parties aériennes des graminées meurent chaque hiver et enrichissent le sol en matière organique.

Les prairies tempérées à herbe courtes ou *short grass prairie* s'étendent dans des régions qui reçoivent moins de précipitations que dans les prairies humides tempérées. Des graminées de 40cm de hauteur maximum forment la végétation dominante des prairies à herbes courtes. La végétation est moins abondante que dans des prairies plus humides et le sol nu apparaît de temps en temps. (Berg et *al.*, 2008).

#### **1.4.1.6. Les biomes méditerranéens**

Certains milieux tempérés ont des hivers doux avec des précipitations abondantes et des étés secs.

La végétation des écosystèmes méditerranéens est remarquablement similaire dans les différentes régions du monde, même si les espèces sont différentes.

Beaucoup de plantes résistent au feu et poussent mieux pendant les mois qui suivent un incendie. Une telle repousse est possible car le feu libère des éléments minéraux nutritifs qui proviennent des parties aériennes des plantes qui ont brûlé.

Les cerf-mulets, les rats des bois, les tamias sont caractéristiques du chaparral (biome méditerranéen situé au sud de Californie). La faune méditerranéenne quand à elle ne comporte ni cerfs ni chevreuils mais de nombreux insectes et reptiles comme le lézard vert, le lézard ocellé et la couleuvre.

#### **I.4.1.7. Les déserts**

Le climat du désert très chaud dans les journées (30 à 50°C) et très sèches (moins de 250 mm de précipitations annuelles).

Les plantes sont basses généralement des herbacées et le taux de recouvrement est faible, entre 10 et 50%, selon les conditions d'orientation, de vent, d'humidité du sol et d'ensoleillement (Carlesso & Galland, 2010)

Les réseaux trophiques dans les régions désertiques sont plus complexes qu'on le croit généralement. Des interactions inhabituelles entre espèces, comme le cannibalisme ou la prédation, ne sont pas rares (Polis, 1991).

L'étude fine des espèces qui cohabitent dans une zone aride de l'état de Washington a montré que chaque espèce choisit un ensemble d'espèces végétale bien déterminé et que le partage des ressources assure la séparation des niches écologiques et évite la compétition (Rogers et *al.*, 1988).

#### **I.4.1.8. Les forêts tropicale de mousson**

Les forêts de mousson sont des forêts tropicales, humides ou saisonnières trouvées principalement en Asie (Inde/Sri Lanka jusqu'à la Chine), l'Afrique de l'ouest et de l'est, l'Australie Septentrionale, et l'est du Brésil. Dans ce type de forêt il y a 2 saisons distinctes : une sèche, plus fraîche et une saison humide. Ces forêts ont tendance à être moins diverses et a plus petites en taille d'arbre comparées aux forêts tropicales équatoriales typiques.

Les forêts de mousson du monde entier sont extrêmement menacées par le déboisement pour l'agriculture, surtout en Afrique de l'ouest, où plu de 90% des forêts tropicales côtières et des forêts de mousson ont été éclaircies. (Rhett, 2009).

**I.4.1.9. forêts équatoriales luxuriantes**

On trouve les forêts équatoriales luxuriantes dans les régions où les températures sont chaudes tout au long de l'année et où il pleut presque tous les jours. Les précipitations annuelles varient entre 2000 et 4500 mm. La majeure partie de ces précipitations provient de l'évapotranspiration (perte de vapeur d'eau par transpiration) des arbres de la forêt, eau restitué dans ce milieu sous forme de pluie. Ces forêts sont situées en Amérique centrale et du sud, en Afrique et en Asie du sud-est.

La forêt ombrophile tropicale est un écosystème très productif c'est-à-dire que les plantes captent beaucoup d'énergie par photosynthèse. Malgré un sol pauvre en élément minéraux nutritifs, la productivité de ce milieu est très forte, du fait de l'abondance de lumière et de précipitations. (Berg *et al.*, 2008).

Les forêts ombrophiles se caractérisent par une diversité spécifique maximale, stratification complexe et une biomasse sur pied très importante (Ramade, 2009).

**I.4.1.10. Les savanes**

La savane est installée dans les régions avec des précipitations faibles ou saisonnières et une longue saison sèche. Dans la savane tropicales les températures varient peu toute au long de l'année et les saisons sont régulées par les précipitations et non par la température comme c'est le cas des prairies tempérées. Ces précipitations annuelles varient entre 760 et 1500 mm

Les arbres et les graminées peuvent résister aux incendies, grâce par exemple à un système racinaire souterrain étendu qui assure leur survie pendant la saison sèche.

Les savanes sont en train d'être rapidement converties en pâturages pour le bétail et autres animaux domestiques qui remplacent les grands troupeaux d'animaux sauvage. (Berg *et al.*, 2008).

## CHAPITRE II

### Les perturbations des écosystèmes

## **Chapitre II : Les perturbations des écosystèmes**

Les perturbations constituent des événements discrets dans le temps, souvent imprévisibles, agissant à toutes les échelles d'espace et affectant une majorité d'écosystèmes terrestres (Pickett et *al.*, 1999 ; White & Jentsch, 2001). De nombreux articles ou ouvrages tentent de recenser et d'analyser les effets des perturbations sur la structure et le fonctionnement de différents systèmes écologiques, les communautés de plantes notamment (Cordonnier, 2004).

### **II.1. Les différentes perturbations des écosystèmes terrestres**

#### **II.1.1. Les incendie de forêts**

##### **II.1.1.1. Importance des incendies de forêt**

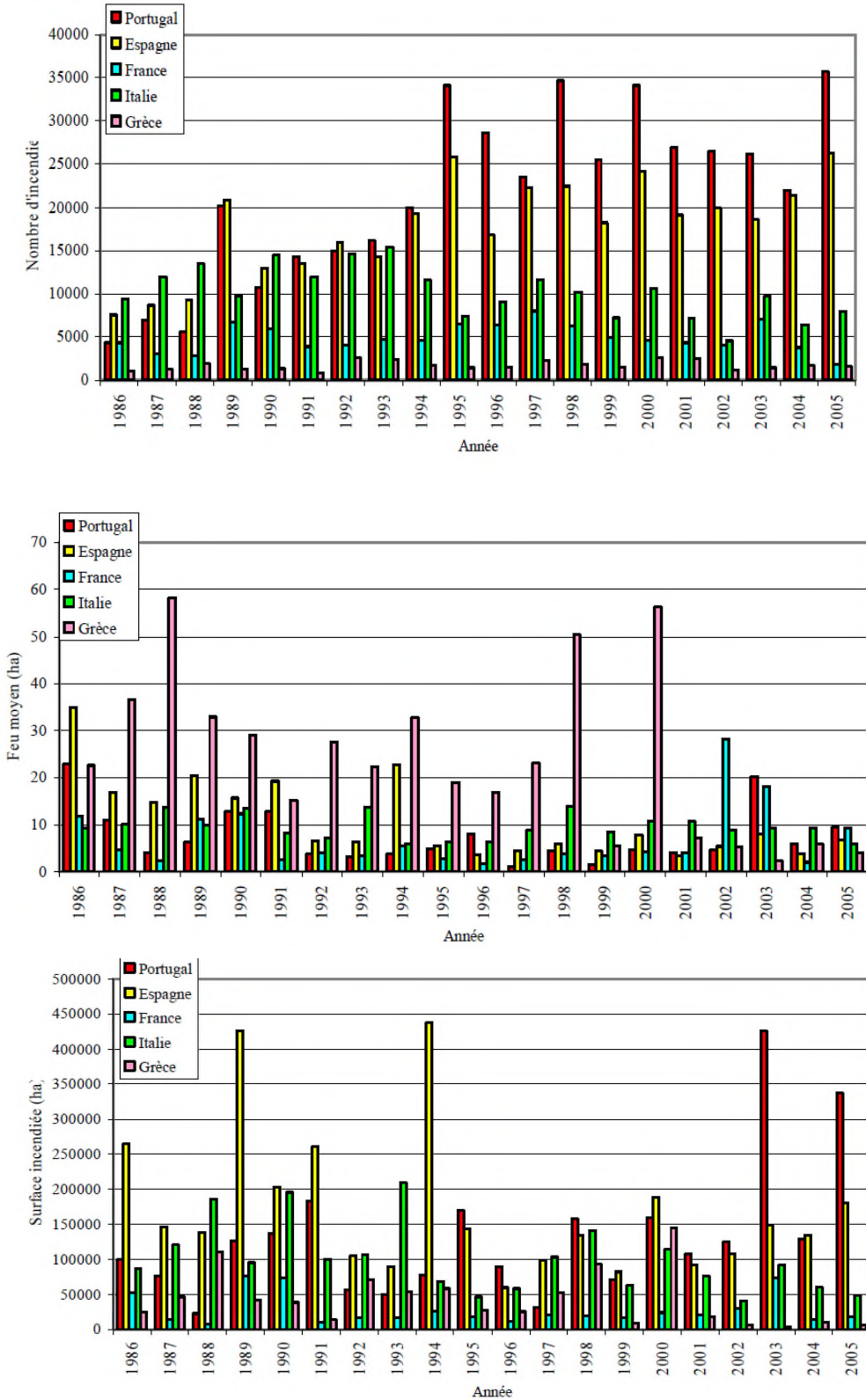
Chaque année, des millions d'hectares boisés sont ravagés par les incendies, occasionnant des pertes économiques considérables pour leur extinction et faisant d'immenses pertes en bois et dans certaines situations des vies humaines.

L'incendie touche toutes les régions du globe en allant des zones les plus chaudes aux plus froides. Les graves incendies qui se sont déclarés dans différentes parties du monde ont attiré l'attention internationale au cours des années 90, notamment ceux des années 1997 et 1998, dont la fumée a recouvert de vastes régions du bassin Amazonien, de l'Amérique centrale, du Mexique et de l'Asie du Sud Est, perturbant la navigation aérienne et maritime, et engendrant de graves problèmes de santé qui ont fait échos dans le monde entier. Depuis les feux n'ont malheureusement pas reculé, bien au contraire, les chiffres sont de plus en plus alarmants engendrant des pertes colossales de tout ordre (Bekdouche, 2010).

Les forêts du bassin méditerranéen comptent parmi les plus incendiées (Hessas, 2005) puisque le climat méditerranéen génère un ensemble de conditions critiques, propices à l'éclosion des incendies de forêts (Varela, 2004).

D'après Meddour-Sahar et *al.*, (2006), en ce qui concerne l'évolution du feu moyen selon les années dans les cinq pays euro-méditerranéens, à l'évidence, il ressort que c'est la Grèce qui rencontre les plus grandes difficultés pour circonscrire les départs du feu avant qu'ils ne dégénèrent en grands incendies (24,72 ha/feu pour la période étudiée), avec trois valeurs maximales hors du commun (58,22 ha en 1988, 56,2 en 2000 et 50,43 en 1998) ! Il s'agit actuellement de la valeur la plus élevée. Lorsqu'un feu démarre en Grèce, il a le temps de brûler près de 25 ha avant que les pompiers le maîtrisent, alors qu'en France, il ne brûle en moyenne que moins de 7 ha par feu.





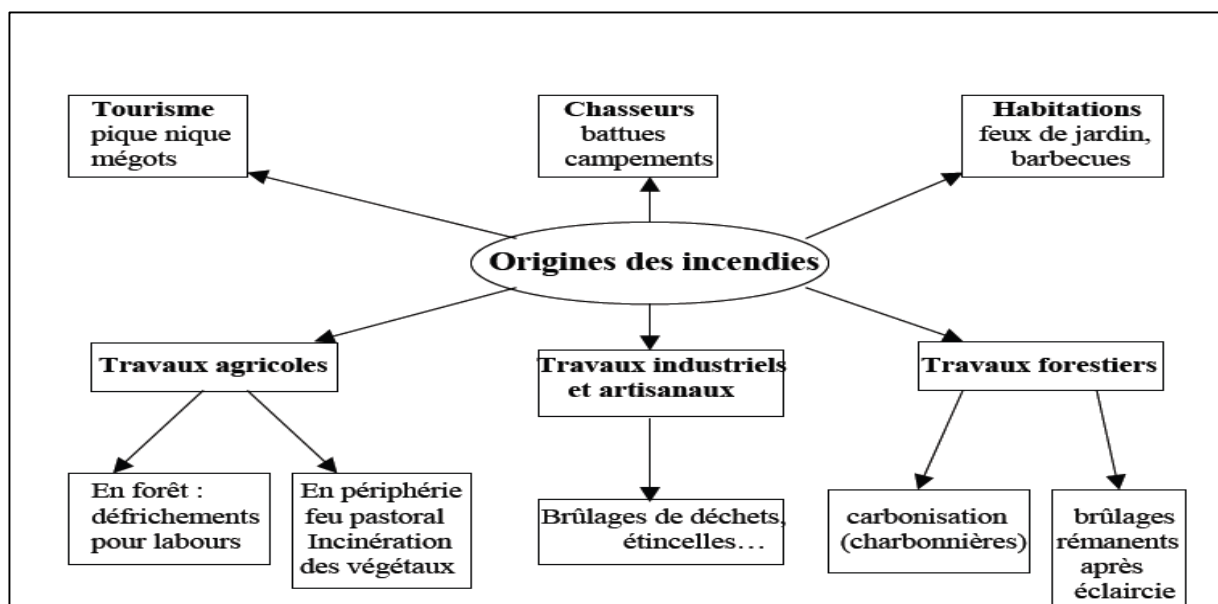
**Figure 3 :** Evolution annuelle du nombre d'incendies, des superficies incendiées et du feu moyen dans 5 pays euro-méditerranéens (période 1986-2005).

### II.1.1.2. Causes des incendies

Les causes naturelles (foudres) sont très rares. Les causes les plus fréquentes sont dues à des imprudences commises à l'occasion de travaux agricoles ou forestiers : brûlage de sarments de vigne, de rémanents de cultures diverses ....sans oublier les accidents liés au débroussaillage qui, pourtant, est réalisé dans un but de protection de la forêt contre l'incendie : plusieurs grand incendies sont due à des accidents de débroussaillage.

Autre cause très importante : les feux volontaires. Plusieurs sortes sont à distinguer : les feux pastoraux sont très utilisés dans certains régions (Corse, Cévenne), ils ont pour bute de détruire les végétaux ligneux qui envahissent les parcours sous pâturés (cistes et bruyères du maquis corse, genêts des Cévennes), afin de favoriser temporairement la pousse d'une herbe consommable par troupeaux extensifs qui se maintiennent dans ces régions. Il arrive assez souvent que de tels feux prennent plus d'ampleur que prévu.

Enfin dans certaines zones rurales, des feux mis par vengeance, souvent liée à des conflits de chasse, peuvent avoir lieu.les imprudences dues aux touristes (cigarettes jetées non éteintes, barbecues....)Sont des causes serte présentes mais qu'il ne faut pas surestimer. (Montgolfier, 1991).



**Figure 4 :** Origine des incendies causes involontaire (Hessas, 2005)

## II.1.2. La déforestation (déboisement)

### II.1.2.1. Le déboisement dans le monde

L'importance de la déforestation varie beaucoup d'un continent à l'autre et même d'un pays à l'autre d'une même région du monde en fonction du degré de développement et toutes choses égales par ailleurs, de la motivation des peuples pour la conservation des forêts selon leurs traditions ou leur culture. De façon générale, on constate qu'au cours des dernières décennies la déforestation s'est amplifiée de façon préoccupante dans le tiers-monde, alors qu'à l'opposé, les surfaces boisées ont eu tendance à se maintenir voire à s'accroître dans la plus part des pays développés par la réalisation de plantation (Ramade, 2005).

D'après Bao (2012), la déforestation nette est la déforestation en prenant compte la reforestation qui se traduit par un gain de plus de 2.2 millions d'ha/an net en Asie (*Chine, Inde, Vietnam*) et une perte nette importante de l'intensité de forêt en Amérique du Sud et en Afrique respectivement à -4 millions d'ha/an et -3.4 millions d'ha/an (Tableau II).

**Tableau II : Situation des forêts dans le monde**

Déforestation	Situation des forêts	Reboisement	Déforestation nette 2000/2010
Amérique Nord et centrale	<i>Stabilité</i>		
Amérique du Sud	<i>Déforestation</i>		- 4 millions d'ha/an
Afrique	<i>Déforestation</i>		- 3,4 millions d'ha/an
Asie	<i>Déforestation et reboisement</i>	+ 2,2 millions d'ha/an net (Chine, Inde, Vietnam)	
Europe	<i>Toujours en extension</i>		
Océanie	<i>Recul</i>		Par sécheresse en Australie

(Source : FAO utilisé dans le rapport de Le Guen)

### II.1.2.2. Causes de la déforestation

Les nouvelles terres cultivables furent et demeurent aujourd'hui encore un facteur primordial de déforestation, bien d'autres facteurs concourent pour accentuer le phénomène.

L'emploi du bois comme combustible ou comme matière première représente une importante cause de destruction des forêts (Ramade, 2005).

La déforestation est un acte humain et souvent irréversible et la lutte contre ce fléau est parmi les moins coûteuses des politiques de lutte contre le changement climatique et pourtant l'humanité est incapable d'arrêter l'hémorragie à cause de la surconsommation, et la

mondialisation de l'économie qui expose tout les forêts ainsi que les forêts tropicales à la pression du marché international (Bao, 2012).

### **II.1.3. Le pâturage**

Le pâturage est un mode de gestion des prairies permanentes très largement répandu. Il est considéré comme un déterminant majeur de la biodiversité (Collins et *al.*, 1998) et des processus écosystémiques (Van Wijnen et *al.*, 1999) dans les espaces des prairies.

La pratique d'un pâturage intensif sur des surfaces limitées a conduit ailleurs à une réduction importante de la diversité floristique et à la perte d'espèces patrimoniales (Van Wieren, 1995).

L'empreinte de l'élevage est perceptible un peu partout dans les différentes régions du Maroc, Héritage d'un passé où l'élevage extensif constituait un élément principal du système économique traditionnel et où l'espace non cultivé était plus étendu, favorisant ainsi la vraie pâture pour des troupeaux nombreux et variés. Actuellement, les parcours sont, en général, incapables de répondre aux besoins du cheptel. Ainsi, sur 32 millions d'hectares de parcours permanents que compte le pays (forêts comprises), 8 millions d'hectares sont fortement dégradés, et seuls 4 millions sont faiblement dégradés et produisent en moyenne 90 unités fourragères (UF)/ha/an (Benbrahim et *al.*, 2004).

Selon Benabdelli (1996), dans les forêts naturelles, le pâturage constitue un facteur de dégradation redoutable par son agressivité et les dégâts qu'il cause à la végétation et au sol. Dans les reboisements, les effets sont plus graves, pour des raisons liées aux spécificités des peuplements artificiels qui diffèrent des formations naturelles.

L'impact de la pâture sur la biodiversité végétale est assez controversé (Achard et *al.*, 2001 ; Daget et Poissonet, 1997 ; Hiernaux, 1998 ; Nosberger et *al.*, 1998). Il est tantôt considéré comme un facteur favorable à l'augmentation de la biodiversité, tantôt comme un facteur d'homogénéisation de la flore et des paysages (Botoni et *al.*, 2006).

### **II.1.4. Désertification**

Elles constituent le terme ultime de la dégradation des écosystèmes terrestres. Sous l'effet de la déforestation, du surpâturage et aussi de la dégradation des sols consécutive, la désertification figure parmi les plus graves catastrophes causées par l'action de l'homme sur les habitats naturels (Ramade, 2005).

La désertification est une forme particulière de dégradation des sols (mais pas la seule), elle touche spécifiquement les zones arides, semi-arides et sèches subhumides.

Les facteurs à l'origine de la désertification sont les variations climatiques et surtout les activités humaines, en particulier celles résultant d'une surexploitation du sol résultant de la pauvreté.

Les zones sèches couvrent près de la moitié de la surface terrestre de la planète. La désertification a un impact négatif sur les moyens d'existence de millions de personnes à travers le monde qui dépendent des bienfaits que les écosystèmes des zones sèches peuvent leur procurer.

Dans les zones sèches, la rareté de l'eau limite la production de récoltes agricoles, de fourrage, de bois ainsi que d'autres services que les écosystèmes fournissent aux hommes. Les zones sèches sont par conséquent fort vulnérables aux pressions humaines croissantes ainsi qu'à la variabilité du climat, surtout dans les zones sèches subsahariennes et d'Asie centrale (Greenfact, 2005).

La désertification provoque de profondes modifications écologiques affectant le couvert végétal et l'ensemble des communautés vivantes des zones concernées. Sous l'effet conjugué de la sécheresse et de la fragilité des sols concernés, les terres sont vite la proie de l'érosion et transformées peu à peu en dune de sable. Ce phénomène a été particulièrement marqué en Afrique au cours des dernières décennies aux franges nord et sud du Sahara (Ramade, 2005).

### **II.1.5- Dégradation des sols**

Le sol est une ressource naturelle indispensable et précieuse à bien des points de vue : ses fonctions sont multiples, à la fois économiques, sociales et environnementales. Le sol permet l'agriculture, accueille et offre l'espace nécessaire à l'habitat et aux diverses activités humaines, stocke lui-même d'autres ressources naturelles (eau, minerais, ressources et combustibles fossiles). Véritable pool génétique, il accueille l'habitat de nombreuses espèces vivantes et constitue le compartiment intermédiaire entre l'hydrosphère et l'atmosphère (Anonyme, 2002). De nombreux auteurs ont constaté la dégradation du sol après défrichage et culture (Roose, 1983).

La qualité des sols s'est fortement dégradée cette dernière décennie à l'échelle de la planète, particulièrement dans les pays touchés par la désertification et la sécheresse. Près de 1,2 milliards d'individus y sont tributaires du sol pour subvenir à leurs besoins quotidiens de base (énergie, alimentation, habitat...) et sont aujourd'hui touchés de plein fouet par les risque

de désertification. La désertification touche un sixième de la population mondiale, 70 % des 5,2 milliards d'hectares de terres arides (soit 3,6 milliards d'hectares) et un quart de toute la surface émergée du globe. En Europe, dans certaines régions du sud, en Espagne, au Portugal, en Grèce, 60 % du territoire présente des risques de désertification (Anonyme, 2002).

La dégradation des sols est également causée par des phénomènes géographiquement plus circonscrits mais dont les effets peuvent devenir des préoccupations plus planétaires. C'est le cas du déversement de rejets polluants, ponctuels mais aussi diffus (agriculture) qui contaminent les sols et les sous sols. L'urbanisation, l'aménagement d'infrastructures, l'occupation des espaces 'encore vides', la suppression des couverts végétaux, lorsque non rationalisés, sont également des facteurs forts de dégradation des fonctions du sol (Anonyme, 2002).

Les effets environnementaux de la dégradation du sol sont, à la fois locaux (érosion des sols, dégradation de la fertilité et de la structure des sols, pollutions des nappes souterraines) et globaux (appauvrissement de la biodiversité, réduction de la capacité des sols à fixer le carbone, pollution des eaux internationales). Ils sont également fortement sociaux, la dégradation des sols fragilise les populations pauvres, leur retirant parfois leur dernier moyen de subvenir de manière autonome à leurs besoins, accroissant les risques épidémiques, freinant le développement de bien des régions (Anonyme, 2002).

### **II.1.5.1 .L'érosion**

L'érosion est un phénomène naturel qui façonne la surface de la terre depuis son origine. Très active au cours de certaines périodes géologiques, son action est aujourd'hui modérée, un équilibre s'étant instauré entre morphogenèse et pédogenèse. En parallèle, s'est développée avec l'apparition de l'homme l'érosion anthropique. Celle-ci s'est amplifiée avec la croissance des besoins des populations humaines et l'adaptation plus ou moins réussie de leurs techniques (Roose et Noni, 1998).

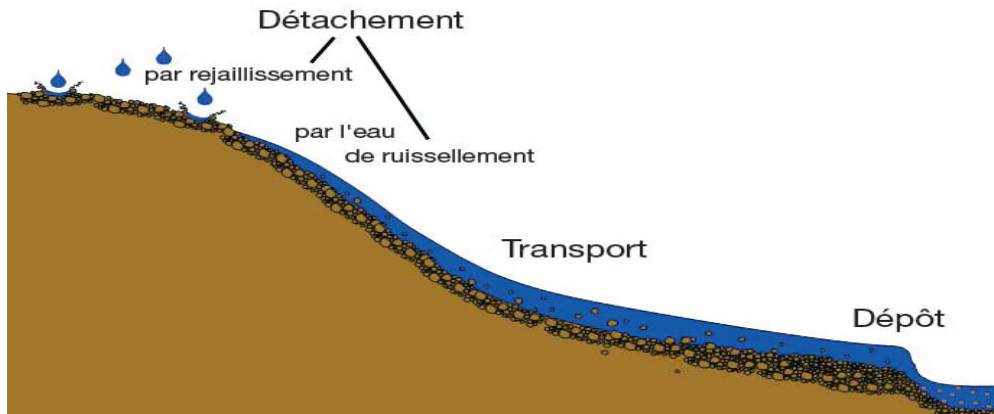
#### **II.1.5.1.1 Erosion hydrique**

Selon Dautrebande et *al.*, (2006), avant de pouvoir être transportées, les particules individuelles organiques ou minérales (sables, limons, argiles) ou petits agrégats doivent être détachées du sol. Ce détachement se produit principalement par :

- l'impact des gouttes de pluie sur le sol « rejaillissement »,
- le « frottement » qu'exerce l'eau de ruissellement à la surface du sol.

Une fois détachées, les particules sont transportées :

- principalement par l'eau de ruissellement,
- dans une bien moindre mesure par bonds successifs sur des pentes fortes lors du rejaillissement.



**Figure 5** : Schéma de l'érosion hydrique (Dautrebande et *al.*, 2006).

### II.1.5.1.2. Facteurs de l'érosion hydrique

#### a. Les précipitations et le ruissellement

L'agressivité des précipitations vis-à-vis des sols dépend surtout de leur intensité (généralement exprimée en litres par seconde et par mètre carré ou en millimètres par heure).

L'intensité de la pluie qui tombe compte beaucoup plus que la quantité totale tombée. Plus les pluies sont intenses (orages estivaux par exemple), plus elles sont «érosives» et favorisent l'arrachement des particules de sol (et un petit peu leur déplacement).

L'agressivité des eaux de ruissellement dépend de leur vitesse d'écoulement : plus elle est élevée, plus l'arrachement et la mise en boue des particules seront favorisés ; ensuite, la capacité de transport des flux sera un élément essentiel du mouvement des terres vers l'aval (Dautrebande et *al.*, 2006).

#### b. Le sol

L'action de l'érosion sur le sol dépend :

- de sa granulométrie : les sols les plus fragiles pour ce critère sont les sols de type limoneux ;
- de sa structure : des agrégats stables seront plus résistants à l'arrachement et à l'entraînement par l'eau ;

- globalement, de la perméabilité des couches de surface : lorsque la perméabilité des couches de surface est faible, elle favorise une fréquence de saturation accrue du sol superficiel et donc un ruissellement de surface plus conséquent.

- L'humidité du sol est également un paramètre à ne pas négliger pour ses conséquences sur le risque d'érosion : plus le sol est humide avant un évènement pluvieux, plus le ruissellement sera favorisé. Cette humidité dépend des conditions climatiques, du sol et du développement de la végétation (Dautrebande et *al.*, 2006).

### **c. La topographie**

#### **- La pente des terrains**

La pente joue un rôle important sur la vitesse du ruissellement d'autant plus que la longueur de parcours est importante (accumulation progressive des flux). La combinaison « longueur-pente » d'une parcelle est donc un paramètre incontournable du problème érosif. Une parcelle longue mais de pente moyenne peut être globalement aussi sensible à l'érosion qu'une parcelle plus courte sur pente forte.

#### **- La concentration des eaux de ruissellement**

Que ce soit naturellement ou bien artificiellement, du fait du travail du sol ou des aménagements, certaines parcelles présentent une topographie ou une microtopographie créant un réseau de concentration progressive des flux, de telle sorte que les eaux de ruissellement boueuses s'y rassemblent, accroissant à l'aval le risque de dommages lié aux inondations et aux flux et dépôts boueux (Dautrebande et *al.*, 2006).

### **d. Le couvert végétal**

Un principe simple, plus un sol est couvert, plus ce couvert est dense et permanent et plus ce sol sera protégé du pouvoir érosif des gouttes de pluie et des flux de ruissellement. L'augmentation de la capacité d'infiltration due au complexe « sol-végétation » de sols bien drainés de même qu'une densité de racines élevée contribuent à limiter ces effets (Dautrebande et *al.*, 2006).

### **e. Les facteurs liés aux activités agricoles**

Plusieurs facteurs liés aux activités agricoles peuvent influencer l'érosion hydrique :

#### **- Le travail du sol**

Plusieurs facteurs peuvent entrer en considération dans le cadre de l'évaluation de l'impact du travail du sol sur l'érosion hydrique des sols.



- Un travail du sol qui affine trop le sol en surface (préparation du semis, etc.) est à proscrire car il favorise la mise en boue lors de précipitations subséquentes. Le sol très humide favorise également la mise en boue,
- Les sols labourés de manière appropriée (sol ressuyé, époque et modalités adéquates) voient en général leur capacité d'infiltration améliorée. Cependant le labour peut les rendre plus sensibles à l'érosion, surtout sur les terrains en pente,
- certains sols ont une meilleure capacité d'infiltration pour un travail du sol limité, d'autres pas : dans le second cas, restant plus compacts et plus cohésifs en surface, les sols pourront être moins fragiles (érodibilité moindre) mais ils risquent cependant d'être plus fréquemment agressés suite à l'accroissement du ruissellement (érosivité globalement plus élevée). (Dautrebande et *al.*, 2006).

#### - Les machines agricoles

Les traces de roues inhérentes au passage des machines agricoles peuvent favoriser la concentration des rigoles d'eau de ruissellement et accentuer ainsi le problème de l'érosion et des boues.

#### f. Les facteurs géologiques

Les facteurs géologiques sont souvent intrinsèques aux massifs de sols ou de roches, ils affectent sa stabilité mais aussi sa résistance à la dégradation en fonction de la présence de Matériaux fragiles, altérés, cisailés ou fissurés qui se nomment matériaux favorables à la rupture.

L'altération est un processus lent qui dégrade les matériaux. La raison première de cette altération est les conditions climatiques, en particulier le rôle de l'eau sous toutes ses formes. Par exemple, la production d'argile d'altération dans un massif rocheux a un impact négatif sur la stabilité de celui-ci (Pollet, 2004).

La tectonique induit d'importantes contraintes dans le massif rocheux, surtout dans les secteurs où il existe de grands accidents du type chevauchement. Les mouvements tectoniques provoquent aussi de nombreux séismes, surtout en milieu montagneux. Ces séismes engendrent la fragilisation des formations rocheuses par l'apparition de fractures (Martins-campina, 2005).

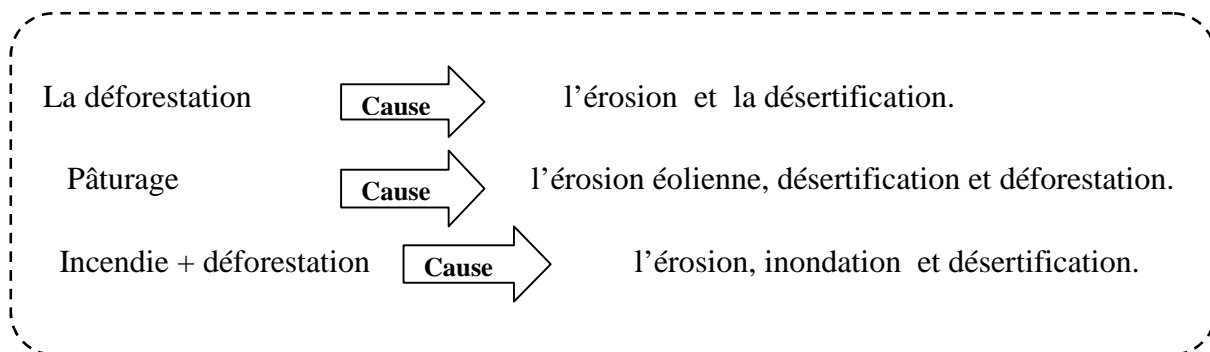
#### II.1.5.1.3. Erosion éolienne

L'érosion éolienne est à la fois une conséquence de la dégradation de l'environnement et un des processus majeurs de la désertification (Mainguet & Chemin, 1991). Elle est un des

mécanismes les plus traumatisants de la dégradation environnementale, notamment par l'appauvrissement textural et minéral des sols et par le déplacement par le vent de volumes élevés de sable.

Invisible dans ses premiers stades et alors difficile à déceler, elle ne devient perceptible pour les non-spécialistes que lorsqu'elle atteint un stade sévère, malaisé à juguler, comme pour l'ancienne cité caravanière de Chinguetti (Mauritanie, classée au patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 1996) presque totalement ensevelie sous le sable et aujourd'hui partiellement désensablée grâce à un projet de sauvegarde. En 2005, il y avait cependant encore jusqu'à 5 mètres de sable dans certaines ruelles de l'agglomération (Mainguet & Dumay, 2006).

L'érosion éolienne en zone sahélienne constitue une menace, non pas à cause de l'invasion des sables mais à cause de son impact sur la productivité des terres et sur la santé humaine (Biielders et *al.*, 2004).



**Figure 6 : Schéma générale de différentes perturbations et leurs conséquences.**

## CHAPITRE III

### Méthodes et techniques de restauration des écosystèmes

### **Chapitre III : Méthodes et techniques de restauration des écosystèmes**

L'humanité doit répondre à une demande croissante des besoins de ses populations, dans un environnement modifié voire dégradé par ses activités passées. Changement climatique, perte de la fertilité des sols agricoles, diminution de la fonctionnalité des écosystèmes, érosion de la biodiversité, les nombreuses pressions qui s'exercent demandent une réponse concertée et éclairée des acteurs et décideurs au niveau mondial et une déclinaison locale des réponses apportées (Barot et *al.*, 2011).

Dans un contexte global de perturbations anthropiques toujours croissantes des écosystèmes naturels et semi-naturels, l'unique conservation de ces écosystèmes ne suffit plus. La restauration écologique peut ainsi se révéler un complément essentiel à la conservation (Cristofolie et *al.*, 2009).

La perturbation d'un écosystème consiste en un (des) évènement(s) altérant – dans le temps et dans l'espace – les relations entre les organismes vivants et leurs habitats (Wali, 1987). Ces perturbations peuvent être d'amplitude et de nature diverses. Bien que nombre d'habitats soient intrinsèquement dynamiques (Burel et *al.*, 1999) et subissent des perturbations naturelles les actions humaines sont à présent à l'origine de la majeure partie des perturbations.

La dégradation de ces écosystèmes s'accélère du fait de l'artificialisation des sols. En conséquence, la conservation des espaces naturels ne suffit plus, et un effort de « réparation » doit être porté sur les surfaces dégradées, par nécessité ou par éthique, selon les regards (Cristofoli & Mahy, 2009).

Cette dégradation fait référence à des changements subtils ou graduels qui réduisent l'intégrité et la santé écologique. Le dommage fait référence à des changements importants et manifestes dans un écosystème. Un écosystème est détruit lorsque la dégradation ou le dommage supprime toute vie macroscopique et généralement abîme l'environnement physique (Anonyme, 2011).

Certains écosystèmes peuvent être restaurés conformément à la théorie de l'équilibre unique de la succession et du modèle de restauration de « dégradation inversée ». Il s'agit de cas où la détérioration est faible et ne requiert que peu ou pas de réparation des conditions abiotiques du site, ou bien de cas où les environnements sont particulièrement rudes (haute montagne de zones tempérées par exemple où la diversité végétale est faible (Clewel & Aronson, 2010)).

Dans le cadre de ce mémoire, nous tenterons de présenter une revue bibliographique des propositions de techniques et de méthodes de restauration des écosystèmes terrestres notamment après incendies dans l'optique d'une conservation des écosystèmes en luttant contre l'érosion hydrique.

### **III.1. Définition**

La restauration écologique est définie comme « le processus par lequel on accompagne le rétablissement d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit » (Clewell & Aronson, 2010). Cette notion, développée aux Etats-Unis dans les années 1970, vise donc à assister ou initier le repositionnement d'un écosystème sur sa trajectoire écologique initiale. Un des enjeux de la restauration consiste à caractériser cette trajectoire, à choisir un écosystème de référence qui s'entend comme « une approximation de l'état souhaitable, une norme choisie parmi plusieurs états alternatifs possibles et accessibles par une succession d'étapes appelée trajectoire » (Le Floch & Aronson, 1995).

La restauration peut par la suite être passive, si elle compte sur les processus naturels et la colonisation spontanée, ou active, si le cours des interventions est dirigé par l'homme. La restauration écologique consiste donc en une action intentionnelle tandis que l'écologie de la restauration « fournit des concepts clairs, des modèles, des méthodologies et des outils pour aider les praticiens dans leurs pratiques ». On parlera par ailleurs de réhabilitation si le but est la réparation des processus (par exemple de la productivité de l'écosystème) sans s'attacher de façon particulière aux communautés biotiques liées au milieu. La gestion consistera elle à « des actions intervenant sur des milieux non dégradés ou déjà restaurés », dans le but de maintenir le milieu dans un état défini (Clewell & Aronson, 2010).

### **III.2. Planification de la Restauration**

Selon l'International Primer on Ecological Restoration, (2004) les plans pour les projets de restauration comprennent, au minimum, les points suivants :

- un raisonnement clair sur pourquoi la restauration est nécessaire,
- une description écologique du site désigné pour la restauration,
- une énonciation des buts et objectifs du projet de restauration,
- une désignation et une description de la référence,
- une explication sur comment la restauration proposée va s'intégrer au paysage et à ses flux d'organismes et de matériaux,

- des plans explicites, des calendriers et des budgets pour la préparation du site, les activités d'installation et de mise en route, incluant une stratégie pour faire de promptes corrections à mi-course,
- des standards de performance bien développés et explicitement établis, avec des protocoles de suivi grâce auxquels le projet peut être évalué,
- des stratégies pour une protection et un maintien à long-terme de l'écosystème restauré,
- les objectifs et les protocoles pour le suivi et l'évaluation du projet doivent être incorporé au départ.

### **III.3. Evaluation des projets de restauration écologique**

Trois stratégies existent pour mener une évaluation : la comparaison directe, l'analyse des attributs et l'analyse de la trajectoire.

#### **III.3.1. La comparaison directe**

Les paramètres sélectionnés sont déterminés ou mesurés sur les sites de restauration et dans le site référence. Si la description de la référence est minutieuse, 20 à 30 paramètres peuvent ainsi être comparés, incluant à la fois les aspects du biote et de l'environnement abiotique. Cela peut rendre l'interprétation ambiguë quand les résultats de certaines comparaisons sont proches et d'autres non. La question se pose – combien de paramètres doivent avoir les mêmes valeurs et à quel point ces valeurs doivent-elles être proches pour que les buts de la restauration soient atteints ? L'approche la plus satisfaisante serait de sélectionner soigneusement une suite cohérente de traits qui décrivent collectivement un écosystème complètement mais aussi succinctement.

#### **III.3.2. Analyse des attributs**

Les attributs sont évalués selon une liste de données quantitatives et semi-quantitatives du suivi et d'autres inventaires utiles pour juger le degré selon lequel chaque but a été atteint.

#### **III.3.3. Analyse de la trajectoire**

C'est une stratégie prometteuse, encore peu développée, pour interpréter de nombreux jeux de données comparatives. Dans cette stratégie, les données collectées périodiquement sur le site de restauration sont analysées pour déterminer les tendances. Celles qui mènent vers la condition de référence confirment que la restauration suit sa trajectoire attendue.

#### **III.4.Relation entre Pratique de la Restauration et Ecologie de la Restauration**

Selon l'International Primer on Ecological Restoration, (2004) ; la restauration écologique est la pratique de restaurer les écosystèmes, faite par les opérateurs et gestionnaires des sites de projets spécifiques, tandis que l'écologie de la restauration est la science sur laquelle se base la pratique. L'écologie de la restauration fournit idéalement des concepts clairs, des modèles, des méthodologies et des règles pour les praticiens en support pour leur pratique. Parfois le praticien et l'écologue de la restauration sont une même personne – le lien entre la pratique et la théorie. Le domaine de l'écologie de la restauration ne se limite pas seulement à un service direct pour la pratique de la restauration. Les écologues de la restauration peuvent avancer une théorie écologique en utilisant des sites de projets de restauration comme aires expérimentales. Par exemple, les informations provenant des sites de projet peuvent être utiles pour résoudre des questions se rapportant aux habitudes de rassemblement des communautés biotiques. De plus, les écosystèmes restaurés peuvent servir de références pour définir des aires désignées pour la conservation de la nature.

#### **III.5.Relation entre la Restauration et les Autres Activités**

La restauration écologique est une des nombreuses activités qui s'efforcent de modifier le biote et les conditions physiques dans un site et qui sont fréquemment confondues avec la restauration. Ces activités comprennent la récupération, la réhabilitation, la mitigation, l'ingénierie écologique et différentes sortes de gestion des ressources, que sont la flore et la faune sauvage, la pêche et la gestion de l'habitat, l'agroforesterie et la foresterie. Toutes ces activités peuvent s'entrecroiser et sont parfois qualifiées de restauration écologique. Par rapport aux autres types d'activités, la restauration nécessite généralement plus d'assistance post-installation pour satisfaire tous ces critères.

Parmi les perturbations affectant les forêts méditerranéennes, les incendies occupent une place prépondérante et leur rôle dans la dynamique végétale s'avère souvent majeur (Trabaud & Lepart, 1980 ; Barbero *et al.*, 1987 ; Trabaud, 1987).

Face aux incendies de forêts, les végétaux présentent deux stratégies majeures pour se restaurer : le rejet de souche ou la production d'un nombre important de semences dont la germination est souvent stimulée par le feu. Ces deux catégories de végétaux renferment des pyrophytes (Kuhnholz-Lordat, 1958).

On distingue des pyrophytes passifs et des pyrophytes actifs :

- pyrophytes passifs: il s'agit d'espèces "résistantes" à l'action du feu, capables de supporter un traumatisme thermique assez important. Nous citons comme exemples, le chêne liège en zone méditerranéenne et le mélèze en zone montagneuse. Ce chêne ne présente ses caractéristiques de résistance que si son écorce est suffisamment épaisse. Il est en effet assez sensible aux températures élevées dans les années qui suivent l'enlèvement du liège (démasclage).

Les images ci-dessous représentant une subéraie à forte densité brûlée avant et après incendie, nous renseignent sur la résistance du chêne liège au passage du feu à travers ses différentes réactions.



**Figure 7:** Illustration d'une situation de la subéraie avant le passage de l'incendie.

Le terrain a fait l'objet d'une opération de débroussaillage et les végétaux coupés ont été laissés au sol. La présence diffuse de ces rémanents caractérisés par un haut niveau d'inflammabilité a favorisé la diffusion de l'incendie.



**Figure 8 :** Illustration d'une situation une année après incendie au niveau de la subéraie précédente.

Des chênes liège, tout en montrant les marques du passage du feu (liège brûlé et parties apicales des branches mortes), présentent des repousses vigoureuses sur les branches



qui assurent la restauration du feuillage. Cette vigueur s'explique par des conditions climatiques favorables : hiver doux et été assez pluvieux.



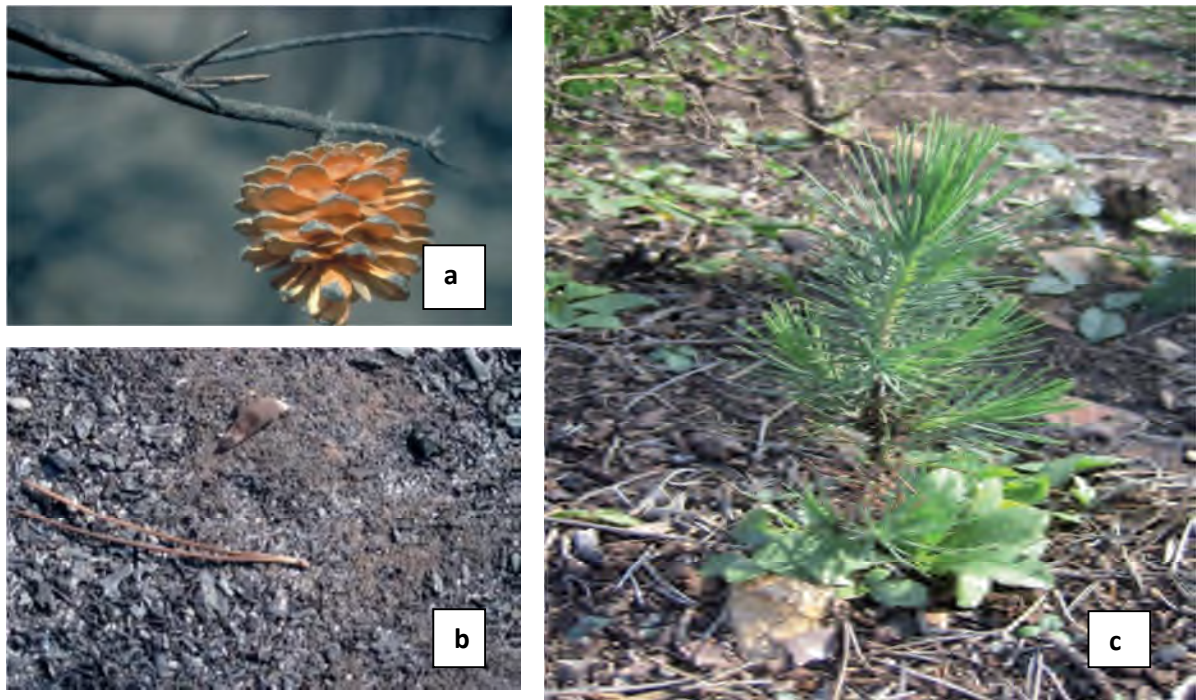
**Figure 9** : Illustration des Rejets de souches une année après incendie d'un chêne liège démasclé deux années auparavant.

La figure n°9 précédente montre un sujet démasclé deux années avant le passage du feu, celui-ci présente des rejets de souches, la souche mère étant complètement calcinée. La couche de liège très mince ne peut pas assurer le rôle protecteur contre l'incendie. Contrairement, au niveau du sujet représenté sur la figure n°8, la couche de liège est assez épaisse puisque le démasclage est vieux de 15 ans, ce qui a assuré l'isolation thermique.

- pyrophytes actifs : il s'agit d'espèces végétales capables de se reproduire rapidement après le passage du feu. On distingue deux stratégies de reproduction après incendie :
- reproduction végétative à partir de drageons racinaires et de rejets de souches. De nombreuses espèces d'arbustes méditerranéens (arbousier, bruyère ...) et certains chênes (vert, kermès – Figures 10a et 10b) entrent dans cette catégorie ;



**Figure 10a et 10b** : Illustration de rejet de souche d'un arbousier(a) et d'un chêne kermès (b).  
Reproduction par graines produites en très grand nombre après un incendie. C'est le cas de certains pins méditerranéens (Pin maritime, Pin d'Alep ...) et les cistes.



**Figure 11** : illustration d'une pinède après incendie (a : cône ouvert sous l'effet de la chaleur, b : graine de pin, c : plantule de pin).

Suite à l'effet de la chaleur générée par l'incendie, les cônes de certains résineux s'ouvrent (figure 11a), laissant s'échapper des graines (figure 11b) qui germent par la suite pour donner de jeunes plantules (figure 11c) qui se développent pour donner de nouveaux arbres. La forêt de pins se reconstitue alors par de petits semis qui vont pousser plus lentement que les rejets des feuillus.

L'avantage de pyrophytes actives est leur capacité à reconstituer rapidement une couverture dense du sol après un incendie. Néanmoins, ils constituent souvent des communautés très combustibles (cistaie, pinède, garrigue à chêne kermès ...) bien que certaines puissent présenter à terme une résistance au feu collective (de par la structure du peuplement qu'elles constituent : futaies de chêne vert ou de cèdre ...).

Les actions de restauration doivent donc être prises avec discernement afin de favoriser, lorsque cela est possible, la constitution de peuplements moins sensibles au feu. Hetier (2000) a proposé une chaîne décisionnelle simplifiée de l'après feu permettant d'orienter le choix vers l'établissement d'un plan de restauration (pour reconstituer à l'identique), de réaménagement (pour organiser le site différemment) ou de réhabilitation (Pour affecter à de nouvelles vocations) ou vers le suivi et éventuellement l'accompagnement de l'évolution naturelle des milieux.

Les espèces se régénérant par voie végétative ont un rôle déterminant après l'incendie, puisque les rejets se développent plus rapidement que les germinations et occupent donc plus vite le même espace ; leur persistance tend donc à limiter les effets de perturbations (Bond & Midgley, 2001).

La régénération par voie végétative constitue un processus réitératif du schéma de croissance de l'individu parental. Ses modalités sont variées, puisqu'elle peut se réaliser chez les ligneux à partir des souches, des racines ou plus rarement des troncs et branches alors protégées par une écorce épaisse comme chez *Quercus suber* (Grime, 2001).

La capacité de reprise de souche après perturbations des ligneux a longtemps été considérée comme un syndrome majeur lié à la méditerranée (Mooney & Dunn, 1970), mais elle se retrouve aussi dans d'autres communautés non-méditerranéennes, par exemple au sud du Mexique (Valiente-banuet et al., 1998 ; Lloret et al., 1999).

Il convient cependant de distinguer les ligneux qui rejettent puissamment de souche (*Quercus ilex* par exemple) de ceux dotés de capacités de rejeter bien plus limitées (*Quercus pubescent*). Il semble au cours de l'histoire que les incendies répétés aient contribué à sélectionner au niveau des écosystèmes forestiers dominés par des espèces sclérophylles un lot d'espèces dont les stratégies adaptatives se traduiraient par diverses réponses exogènes (adaptation à des sols fortement appauvris par le feu où le stress hydrique est marqué) et endogènes (rejets de souche, protection des troncs, existence de lignotubers, organes souterrains de survie, graines à cuticules épaisses) (Naveh, 1975). D'autres ligneux rejetant mal depuis la souche, comme *Celtis australis* sont caractéristiques de vieilles forêts méditerranéennes (Pons & Verne, 1971).

Chez les espèces incapables de produire de rejets, l'alternative principale réside dans une production rapide et importante de semences, qui devront être dispersées à une certaine distance (au moins quelques dizaines de mètres) afin de recoloniser les terres incendiées (Izhaki et al., 2000). Les semences du sol regroupent les diaspores enfouies dans le sol qui seront aptes à donner naissance à un nouvel individu. On distingue une banque transitoire de semences composée de graines qui ne survivent pas à la seconde saison de germination suivant la fructification, tandis qu'une banque permanente de graine représentant des graines demeurant viables dans l'habitat au-delà de la seconde saison de germination (Baskin & Baskin, 2001).

La dissémination des graines ou des spores est un phénomène évolutif complexe (Ronce et *al.*, 2001) qui dépend de cinq type de dissémination des végétaux supérieurs et ils sont définis en fonction de l'agent vecteur mis en œuvre :

- ✓ Anémochorie : dissémination par le vent.
- ✓ Autochorie : les végétaux assurent eux même la dispersion.
- ✓ Barochorie : elle regroupe toutes les diaspores non directement adaptées à la dissémination et pour lesquelles aucun agent de dispersion n'est connu. A maturité, sous l'effet de leur poids, les diaspores tombent au sol, entraînées par leur pesanteur (glands des *Quercus* par exemple).
- ✓ Hydrochorie : elle a trait aux espèces dont les diaspores nécessitent la présence de l'eau.
- ✓ Zoochorie : les diaspores sont transportées par les animaux (Ridley, 1930., Molinier & Müller, 1938., Van der pijl, 1982).

### **III.6. La reconstitution des milieux à partir de la régénération naturelle**

Les peuplements forestiers peuvent se reconstituer à partir de la régénération naturelle issue de graines, de bourgeons ou de rejets de souche. Dans ce cas, l'action de l'homme va donc se limiter à favoriser cette régénération ou même à ne rien faire. Plusieurs types de travaux peuvent être réalisés (Grogno, 2004).

#### **III.6.1. Broyage d'ouverture**

Est un broyage mécanique de la végétation basse à l'aide de broyeurs forestiers.



**Figure 12** : image des travaux de broyage de la végétation basse.

Les objectifs du broyage de la végétation basse des peuplements forestiers sont :

- Permettre la réalisation des travaux de régénération du peuplement dans de bonnes conditions d'accès,
- Limiter la repousse de la végétation concurrente et faciliter le développement des espèces sélectionnées par diminution de la concurrence hydrique et un meilleur accès à la lumière,
- Enrichir et protéger le sol. En effet, cette opération laisse au sol un broyat qui joue un rôle très positif de protecteur contre l'érosion et contre l'évaporation de l'eau du sol. Cette nécromasse se décomposera progressivement pour enrichir en matière organique et en humus l'horizon superficiel du sol,
- Provoquer le drageonnement grâce à l'action sur le sol des tracteurs,
- Améliorer la qualité paysagère du site (Grogno, 2004).

### III.6.2. Broyage d'entretien



**Figur13.** Image des travaux du broyeur d'entretien.

Le broyage d'entretien est nécessaire au bout de 4 à 5 ans pour éliminer les repousses souvent vigoureuses du maquis tout en conservant les jeunes brins des espèces forestières comme le montre la figure n°13 dans une subéraie.

Les objectifs de cette opération sont les suivants :

- Eviter la repousse de la broussaille pour limiter les risques de propagation d'incendie, favoriser la régénération et réduire la concurrence vis-à-vis de l'espèce que l'on souhaite favoriser. En effet, même si les grandes espèces du maquis ont été précocement éliminées par dessouchage, il faut s'attendre à un fort développement des pyrophytes actives, telles que les différents Cistes, le Calycotome épineux, le Cytise, etc.
- Favoriser les espèces herbacées.

Mentionnant la difficulté de ce genre d'interventions dans des milieux à topographie accidentée (qui ne permettent pas l'accès aux engins plus encombrants) et en présence de pierres et rochers qui peuvent gravement endommager les machines. En outre, pour les feuillus, cette opération peut endommager les souches (Grogno, 2004).

### III.6.3. Le recépage



**Figure 14** : Représentation des rejets de feuillus de l'automne après incendie et recépage.

Le recépage consiste à couper au ras du sol, à l'aide d'une tronçonneuse, les arbres considérés comme morts ou devant mourir dans les prochains mois. Ces arbres doivent être préalablement repérés et marqués à la peinture par des techniciens. Après la coupe des arbres, leur houppier doit être démantelé grossièrement et dispersé sur le sol. Il peut également être utilisé pour constituer des fascines (Grogno, 2004). La technique de fascinage est mise en œuvre principalement dans les secteurs où l'on craint une forte érosion (Marsol, 2004), c'est justement le cas des milieux incendiés.

L'objectif de cette opération est de favoriser la pousse de rejets à partir de la souche et de drageons à partir des racines encore vivantes. De plus, cette opération peut être bénéfique d'un point de vue phytosanitaire, car les arbres moribonds peuvent être la cible d'attaques parasitaires, qui vont ensuite pouvoir se propager à des arbres sains (Grogno, 2004). Nous pouvons également citer d'autres avantages comme :

- Production de tubercules assurée.
- Technique simple, peu onéreuse et facilement reproductible.
- Boutures disponibles en peu de temps (N'zué Boni et *al.*, 2005).

### III.6.4. Le dessouchage

Le dessouchage consiste à extraire toute la souche, y compris la majeure partie de son système racinaire. C'est une opération brutale qui perturbe le sol sur une surface plus importante que celle qu'occupait la souche.

Réalisé au râteau débroussaillier sur tracteur à chenilles, l'arrachage se fait en poussée horizontale ce qui décape le sol autour de la souche de la même façon qu'une lame de bull. Aussi, cette technique ne peut s'envisager que sur sol sec sableux ou caillouteux pour limiter les extractions de terre collée aux racines. Les souches extraites doivent ensuite être regroupées et/ou incinérées (Hoellinger, 1987).



**Figure 15** : Image de Dessouchage au riper.

L'objectif du dessouchage est de supprimer ou de diminuer la densité des grandes espèces qui composent le maquis (Arbousier, Bruyère arborescente, Lentisque, etc.) afin de faciliter les entretiens ultérieurs et de limiter la concurrence exercée sur l'espèce que l'on souhaite favoriser (Grogno, 2004).

### III.6.5. Enlèvement du liège brûlé



**Figure 16** : Démonstration d'enlèvement du liège noir plus ou moins calciné en surface.

L'objectif de cette opération est de produire du liège exploitable lorsque les arbres qui ont échappé au feu ont reconstitué leur houppier et que leur flux de sève descendante permet le décollement des planches de liège, soit 6 ans après l'incendie ou parfois davantage (Grogno, 2004).

### III.7. Le semis

Le semis a été historiquement mené en utilisant des graminées. Des graines sont généralement étendues à l'aide d'avions sur des superficies larges afin de retenir au maximum le sol et de ralentir le processus érosif. Le choix des graminées annuelles a été expliqué par le fait que ce sont des plantes à croissance rapide et dont le taux de germination est élevé formant ainsi un écran assez important protégeant le sol de l'érosion. Cette technique est plus particulièrement utile dans le cas des milieux dénudés par les incendies les rendant très vulnérables aux pluies durant les premiers mois suivants la perturbation. Beyers (2004), écrit que le semis après feu réduit le mouvement des sédiments dans un bon nombre de situations. Ce qui est par contre négatif dans l'utilisation des graminées exogènes est le fait qu'elles peuvent supplanter les espèces indigènes ou naturalisées, y compris des semis d'arbustes et d'arbres, hypothéquant ainsi le processus de restauration. Nous verrons plus loin que l'utilisation d'espèces endogènes aux communautés ayant les caractéristiques des graminées aboutit à des résultats de restauration meilleure.



### III.8. Les reboisements et leur protection

Le mot reboisement est réservé aux travaux ayant en vue de reconstituer une forêt plus ou moins disparue ou d'en créer de nouvelles en terrains nus (Boudy, 1952).

Sur les terrains peuplés de résineux traversés par le feu, et dans certaines conditions, il peut être bénéfique de réaliser un reboisement.

L'intervention de reboisement étant très complexe et coûteuse, il faut toujours la soumettre à une évaluation attentive et ne la réaliser qu'en des cas exceptionnels.

Ce genre de projets nécessite un plan de culture et de protection contraignant couvrant une période d'au moins cinq ans pour garantir la consolidation de l'intervention et pour prévenir l'invasion d'espèces non appropriées. Après incendie, les techniques de reboisement ne se différencient pas des plantations "traditionnelles". Le reboisement suit les phases suivantes :

- 1) Elimination de la végétation brûlée par coupe et enlèvement ou par broyage. La préparation du sol varie selon le degré de destruction des peuplements et le risque d'érosion de la parcelle à reboiser (terrassements en banquettes, sur les pentes, si absence de rochers).
- 2) Préparation du terrain, avec la réalisation de trous (Grogno, 2004).
- 3) Choix des espèces à planter : lors des interventions de restauration telles que les reboisements ou le remplacement des essences, il est souhaitable, si possible, d'utiliser des essences autochtones ou ayant une grande valeur écologique. Le choix des essences à planter résulte de l'analyse du milieu (conditions stationnelles et aspect paysager) et des objectifs à atteindre (Grogno, 2004).

Dans le cas des forêts boréales naturelles, la dégradation est un constat soulevé déjà depuis plusieurs décennies. La restauration écologique des habitats forestiers dégradés tend à reproduire les perturbations naturelles afin de reconduire l'écosystème vers sa trajectoire d'origine. Ce travail complexe nécessite de connaître au préalable les conditions requises pour que l'écosystème retourne vers sa dynamique naturelle (Fournier, 2012).

Le feu joue un rôle important dans l'écologie de la forêt boréale, (Viro, 1974., Lynham et al., 1998). L'étude du développement de la régénération naturelle a montré que la restauration par brûlis contrôlé était favorable au développement d'essences feuillues, signe de retour de la dynamique naturelle boréale et tout particulièrement pour l'espèce *Populus tremula* désignée comme habitat préférentiel pour plusieurs coléoptères présents sur la liste rouge UICN (Fournier, 2012).

Comme le souligne l'étude de Toivanen et al. (2009), brûler des jeunes stades de succession permet aux arbres encore vivants de développer des mécanismes de résistance

contre les insectes indésirables tel que l'*Ips typographus* sur l'épicéa. Leurs populations restent ainsi stables et ne risquent pas de coloniser et d'endommager les forêts gérées à proximité. D'après le Finnish Statistical Yearbook of Forestry (2011), la catégorie d'âge 0-40 ans est la plus représentée en Finlande soit 35% de toutes les forêts. Le fait que la restauration puisse être réalisée dans cette catégorie d'âge représente un atout considérable. Il est donc recommandé d'utiliser la méthode de restauration par brûlis car elle est bien plus efficace pour récupérer les attributs de l'écosystème.

### **III.9. La restauration par brûlis contrôlés (controlled burning)**

La méthode de restauration par brûlis contrôlés est aussi fréquemment utilisée en Finlande mais dans une moindre mesure due au coût technique et humain onéreux qu'exige cette méthode.

Le choix du site est la première étape de la restauration. Dans ce cas précis, le choix est effectué par rapport au réseau national des zones prioritaires de restauration par brûlis contrôlé. Le site est aussi choisi en fonction de son niveau de dégradation de l'écosystème suite aux inventaires forestiers nationaux. Ainsi, si le site présente un manque de bois mort au sol, une structure régulière et une absence d'espèces végétales et animales protégés celui-ci sera éligible pour la restauration par brûlis contrôlé.

Pour augmenter les chances de démarrage de l'incendie, un ajout de bois mort est effectué l'hiver précédant la méthode du brûlis. Les conditions techniques pour la réalisation de cette méthode sont très exigeantes et respecte des critères précis. Ainsi, le sol et la végétation doivent être secs avant le brûlis et sont l'objet d'un test de combustibilité. De même, le vent ne doit pas dépasser 5 m/s et ceci dans la direction choisie pour la restauration. Aucun vent violent ne doit être prédis pour le lendemain de la restauration. D'autre part, une bande sans végétation de 15 à 20 m autour de la zone à brûler doit être réalisée pour éviter la propagation de l'incendie. Des arrosages autour de la zone à brûler sont aussi opérés avant et jusqu'à la fin du feu. A noter aussi qu'une patrouille aérienne survole la zone incendiée jusqu'à l'extinction complète du feu ou jusqu'à ce que l'accumulation des précipitations atteigne 10 mm (Similä et Junninen, 2012).

### **III.10. Techniques et méthodes de lutte contre l'érosion**

#### **III.10.1. Aperçu général sur l'érosion**

Les sols constituent un compartiment fondamental des écosystèmes : leur dégradation a en général des impacts majeurs sur tous les autres compartiments et porte gravement atteinte à la composition et à la diversité de la flore et de la faune, ainsi qu'aux cycles de l'eau et des nutriments (Antipolis, 2003).

La dégradation du sol est souvent une première étape avant que l'érosion se manifeste de façon évidente, car il n'est pas nécessaire que le sol soit enlevé pour que sa productivité baisse. Une exploitation excessive par exemple, peut détruire la structure et en conséquence la capacité de rétention de l'eau (Kuypers et *al.*, 2004). En effet, les sols notamment en région méditerranéenne sont en général fragiles, et ce pour plusieurs raisons : les fortes précipitations irrégulières et souvent violentes favorisent l'érosion (Antipolis, 2003). Ces fortes pluies provoquent un ruissellement considérable. Les effets de ce dernier et de l'érosion sont très fortement aggravés lorsque le sol a été dénudé (labours, surpâturage, incendie de forêt récent...) (Roose, 1991).

L'érosion est un phénomène naturel qui façonne la surface de la terre depuis son origine. Très active au cours de certaines périodes géologiques, son action est aujourd'hui modérée, un équilibre s'étant instauré entre morphogenèse et pédogenèse. En parallèle, s'est développée avec l'apparition de l'homme l'érosion anthropique. C'est ainsi que les défrichements, les cultures, les pâturages et l'urbanisation ont été accompagnés par une érosion accélérée (de 10 à 700 t / ha / an), mille fois plus rapide que l'érosion naturelle, et par une augmentation très nette du ruissellement (de 20 à 80 %) et de l'aridité au niveau des sols (Roose, 1994; Neboit, 1991).

##### **III.10.1.1. Les effets du ruissellement**

La hauteur des pluies, combinée à leur intensité favorise le ruissellement et l'érosion en ravine. Le ruissellement varie de façon moins sensible que l'érosion. Il est nettement plus élevé sur sol nu que sous cultures. Les plus faibles ruissellements se produisent lorsque les pluies tombent après une période sèche. Le ruissellement commence généralement après 22 mm de pluie si le sol est sec ou après 4 mm si le sol est humide, encroûté ou compact (Arabi & Roose, 1993).

### III.10.1.2. Formation des ravines

Les ravines sont des entailles profondes et irrégulières du relief, provoquées par l'accumulation et l'écoulement d'une grande quantité d'eau qui doit être évacuée en un temps court. Leur profondeur peut dépasser parfois plusieurs mètres (Kuypers et *al.*, 2004).



**Figure 17:** Image des ravines. (RAPPEL ,2003)

### III.10.1.3. Impact de l'érosion

L'érosion implique un transfert de matière et parfois de fertilité d'un lieu à un autre. Les impacts sont de natures différentes, d'une part sur le lieu même où se produit l'érosion, avec ablation de matériaux, et d'autre part sur les lieux où ces matériaux sont redéposés. Ces derniers se situent à l'aval dans les bassins versants (érosion hydrique), ou dans le lit des vents dominants (érosion éolienne) (Roos, 1991). Les figures 18 et 19 illustrent des exemples de dégradation du couvert végétal par l'érosion hydrique.



**Figure 18 :** Image des Dégâts aux cultures dus à l'érosion dans une parcelle de céréales d'hiver (Dautrebande et *al.*, 2006).



**Figure 19:** Image des dégâts aux cultures dus à l'érosion dans une parcelle de betterave. (Dautrebande et *al.*, 2006).

#### III.10.1.4. Quelles réponses contre l'érosion ?

La maîtrise de l'érosion reste de nos jours une préoccupation importante des aménageurs (Poncet, 1995). L'érosion hydrique notamment, causée par des perturbations naturelles ou anthropiques est à l'origine de plusieurs problèmes menaçant divers enjeux : le maintien des sols sur les versants, la protection des habitations ou des infrastructures, le fonctionnement des barrages hydroélectriques etc. Face à ces enjeux, les gestionnaires des milieux sensibles doivent trouver des stratégies opérationnelles de maîtrise de l'érosion. Pour

cela, la recherche peut permettre d'apporter des solutions, sous la forme de méthodes et de techniques (Schlaepfer et *al.*, 2002).

### **III.10.2. Techniques de lutte contre l'érosion**

Il existe de nombreuses méthodes pour empêcher ou limiter les impacts de l'érosion, du transport de sédiments et de la sédimentation, notamment pour améliorer la fertilité des sols (Abrinord, 2008).

#### **III.10.2.1. Technique de végétalisation**

Elles utilisent la végétation pour protéger le sol contre l'érosion, améliorer sa structure et par conséquent sa fertilité. Pour arrêter la dégradation du couvert végétal et favoriser sa restauration, diverses solutions sont envisageables en fonction de la nature du couvert et de la cause de la dégradation. Lorsqu'il s'agit de terrains agricoles, ces mesures combinées avec une bonne gestion du sol peuvent réduire le détachement et le transport des particules. Parmi les techniques les plus connues on peut citer le paillage (Morgan, 1996). Certaines méthodes permettent de protéger les semences ou encore d'accélérer le processus de végétalisation (Abrinord 2008).

#### **III.10.2.2. Le paillage-mulch**

La paille avec ou sans mélange de graines de graminées généralement est épanchée sur la surface du sol pour le protéger de la pluie battante et réduire le ruissellement. C'est une excellente méthode notamment pour la fertilité des sols.

De nombreux matériaux notamment le papier, les copeaux de bois, paille de blé et de riz, le tissu naturel et synthétique ont été utilisés comme paillis. Le paillis de paille par exemple réduit le taux d'érosion après les incendies de forêt de 50 à 94% (Bautista et *al.*, 1996).

Le paillage présente de nombreux avantages :

- graine directement introduite dans le sol, sans passer par le labour.
- adaptée aux sols vulnérables ayant subi de graves problèmes d'érosion.
- diminue fortement la consommation de carburante d'intrants (engrais, pesticides ...

Il a également des inconvénients comme la plus grande difficulté à limiter le développement des mauvaises herbes, ce qui obligerait à utiliser plus de désherbants. Normalement, les mauvaises herbes ne poussent pas sur le sol recouvert d'un vrai tapis dense

qu'est le couvert végétal. Mais dans certains cas, on observe le développement de buissons et de jeunes arbres dans les lisières forestières, poussant les agriculteurs, à réutiliser de nouveau les pesticides.



**Figure 20:** Image d'un sol protégé par un paillage de graminées.

**Source :** CIRAD, <http://agroecologie.cirad.fr>

### III.10.2.3. Garder le plus de végétation

Conserver une bande de végétation dense ou en créer une (semence) est une méthode préventive qui, à peu de frais, permet souvent d'éviter des travaux majeurs, coûteux et fastidieux. Son rôle c'est de protéger le sol contre l'impact des gouttes de pluie et ralentir l'écoulement des eaux de ruissellement (Abrinord 2008).



**Figure 21:** Image de la technique de lutte par semis et bande de végétation protectrice.

**Source :** CIRAD, <http://agroecologie.cirad.fr>

#### III.10.2.4. Technique de L'hydromulch

L'hydromulch est un traitement de réhabilitation relativement nouveau, il est disponible avec de nombreuses combinaisons de matériaux poisseux (collant), des polymères, des fibres liées, graines, etc. Qui, lorsqu'il est mélangé avec de l'eau et appliqué à la surface du sol, il forme une matrice qui peut réduire l'érosion et favoriser la croissance des plantes et améliorer le milieu d'ensemencement.



**Figure 22:** Démonstration d'hydro semencement à partir d'une unité montée sur un camion.

**Source :** [http://hydroseeding-scheier.com/wp-content/uploads/.../scheier\\_flexterra\\_f.pdf](http://hydroseeding-scheier.com/wp-content/uploads/.../scheier_flexterra_f.pdf)

Si on ajoute un paillis à l'eau et aux semences et un agent poisseux le mélange peut être projeté plus loin que s'il ne comprend que des semences et de l'eau (hydro semence). L'hydro semence et l'hydro paillage sont principalement pratiqués en bordure de route.

#### III.10.2.5. Profilage – Rabotage temporaire

Le profilage et le rabotage des pentes sont des techniques préventives de contrôle de l'érosion. Le profilage d'un terrain consiste à en diminuer la longueur de pente et le rabotage temporaire consiste à créer des marques de chenilles perpendiculaires à la pente.

Le rôle du rabotage est de Créer des obstacles à l'écoulement, celui du profilage c'est de diminuer la longueur de pente et la vitesse d'écoulement.



### III.10.2.6. Utilisation de la bande enherbée

La bande enherbée constitue une couverture végétale du sol pouvant assurer une grande protection contre l'érosion :

- elle permet d'améliorer l'infiltration des eaux de ruissellement grâce au système racinaire des graminées et protège le sol contre l'impact des gouttes de pluies grâce au feuillage,
- elle protège également le sol contre l'arrachement des particules de terre grâce à l'armature racinaire.

Elle présente également des inconvénients comme toutes les techniques :

- perte d'efficacité en cas de tassement (animaux ou engins),
- inefficacité en cas de drainage de la parcelle ou de collecte des écoulements par des fossés transversaux,
- interception des flux de N et P limités si la bande enherbée est étroite.

### III.10.2.7. La technique des barrières

Différentes structures naturelles et artificielles ont été utilisées pour fournir des barrières mécaniques pour ralentir le ruissellement, favoriser l'infiltration, piéger les sédiments et réduire ainsi le mouvement des sédiments. Les matériaux utilisés sont généralement disposés en gradins échelonnés afin d'éliminer les longs trajets d'écoulement ininterrompu (Robichaud et *al.*, 2000 ; Wagenbrenner et *al.*, 2006).

Ces techniques de barrières contre l'érosion sont conçues pour diminuer le ruissellement énergétique et érosif, augmenter l'infiltration et réduire la sédimentation (l'érosion hydrique) et empêcher l'avancé du vent (l'érosion éolienne).

#### III.10.2.7.1. Barrière à sédiments

La disposition de barrières à sédiments est une méthode curative efficace et simple d'installation. De plus, les barrières sont réutilisables et peuvent être fabriquées de plusieurs façons.

##### III.10.2.7.1.1. Ballots de paille

Des ballots de paille et d'autres tiges végétales peuvent être étendus sur un site pour offrir une couverture immédiate, c'est une excellente méthode de protection contre l'impact de la pluie et permet de retenir l'humidité pour favoriser l'établissement de la végétation.

Les ballots sont faciles à transporter dans une camionnette et à stocker sur place. Dans le cas de forte pluie inattendue, les ballots peuvent servir comme mesure d'urgence pour

recouvrir rapidement et facilement les aires exposées, y compris les empilements de terre (Clayton, 2007).



**Figure 23** : Image de technique des ballots de paille contre l'érosion. (RAPPEL, 2003)

#### III.10.2.7.1.2. Barrières de Géotextile

Les barrières de géotextile ou barrières à limon ralentissent l'eau de ruissellement et favorisent les dépôts des sédiments. Avec les barrières à limon, les sédiments qui se déposent sont retenus du côté amont des structures, il est donc nécessaire de retirer ses sédiments soit à la main ou à l'aide d'équipement. Si les barrières sont mal entretenues elles risquent de ne plus remplir leur rôle, annulant ainsi tous les bénéfices qu'elles avaient apportés.

Il s'agit d'une technique temporaire, une fois le rôle des barrières est assuré, elles devraient être enlevées de façon appropriée (Clayton, 2007).

#### III.11. Rôle des légumineuses dans la restauration après incendie et érosion

Parmi les végétaux qui recolonisent rapidement les milieux incendiés, nous avons les légumineuses et les cistes. La reprise rapide des légumineuses est accomplie par la germination massive des graines durant les toutes premières années de la succession post-incendie, à partir de leur banque de semences du sol dont la levée de la dormance est assurée soit par le choc thermique (Auld & O'Connell, 1991., Keeley & Bond, 1997., Hanley & Fenner, 1998., Herranz *et al.*, 1998), soit par l'insolation forte des milieux dénudés (Bazzaz, 1998) ou encore par la fumée produite par la combustion de la végétation (Crosti *et al.*, 2006; Dayamba *et al.*, 2008). L'effet additif du choc thermique et de la fumée dégagée lors de la combustion de la végétation sur la levée de la dormance de la banque de graines du sol de certaines espèces des sites incendiés a été démontré (Roy & Sonié, 1992., Thanos *et al.*, 1992., Doussi & Thanos, 1994., Pérez-Fernandez & Rodriguez Echeverria, 2003., Thomas *et al.*, 2003., Crosti *et al.*, 2006., Scott *et al.*, 2010).

Les légumineuses jouent de multiples rôles dans la dynamique des communautés végétales. Ce sont les premiers mois après les perturbations (incendies, coupes forestières, défrichage, labours et etc.) des milieux qui présentent les risques d'érosion les plus forts en raison de la dénudation quasi-totale des paysages. Ce sont les premières pluies de l'automne qui occasionnent les grands dégâts dans le cas où la couverture de la végétation n'est pas encore assurée, c'est pour cette raison que la reprise rapide et massive des légumineuses est salutaire. La dénudation des paysages accompagnée de fortes précipitations occasionnant des changements dans les propriétés du sol sont parmi les principales raisons de l'érosion hydrique accélérée (Pardini *et al.*, 2004; De Luis *et al.*, 2005). La perte du sol superficiel et par conséquent la lenteur dans la régénération de la végétation peut inhiber la formation de la matière organique du sol et l'installation des espèces, favorisant ainsi l'intensification des processus érosifs (Andreu *et al.*, 1996). Dans une étude sur la dynamique des légumineuses après incendie dans une pinède à *Pinus halepensis* et dans une subéraie, (Bekdouche *et al.* 2011) proposent deux espèces pour d'éventuels programmes de restauration. En effet, en raison de leur régénération rapide et massive et de leur biomasse importante, *Scorpiurus muricatus* pour la subéraie et *Hedysarum coronarium* pour la pinède peuvent donner d'excellents résultats dans la lutte contre l'érosion hydrique durant les premiers mois succédant aux sinistres.

De même que les légumineuses annuelles, les espèces herbacées vivaces jouent également un rôle très important dans la protection des sols contre l'érosion hydrique en raison de leur réinstallation rapide, peu après les perturbations grâce à la germination de leurs graines et aux diverses repousses végétatives (Beyers, 2009). C'est pourquoi ces espèces sont préférées dans les programmes de restauration des paysages après perturbations. Les graminées vivaces sont généralement utilisées en raison de leur croissance plus rapide et de leur taux de survie élevé, elles dominent habituellement les premières étapes des successions végétales dans les écosystèmes méditerranéens (De Luis *et al.*, 2005). Toutefois, la mise en place des graminées exogènes empêche la réinstallation des herbacées endogènes et plus particulièrement les annuelles; ce qui peut avoir un impact sur l'identité des communautés à long terme en érodant de ce fait la biodiversité végétale (Beyers, 2004). L'utilisation des herbacées endogènes comme les légumineuses permet de pallier à cet inconvénient et permet également d'enrichir rapidement le milieu en azote par la fixation symbiotique avec les bactéries du genre *Rhizobium* (Arianoutsou & Thanos, 1996., Borin *et al.*, 2004., Johnson *et al.*, 2004., Goergen & Chambers, 2009).

### III.12. Evaluation de la réussite d'une restauration

Dans tout projet de restauration, il est important de définir des objectifs clairs et précis. Ces objectifs peuvent être définis à différentes échelles écologiques : Populations, communautés, processus écologiques et services de l'écosystème. Le suivi des restaurations est essentiel pour en évaluer le succès et évaluer la réalisation de leurs objectifs. Malheureusement, un suivi insatisfaisant des projets de restauration est assez délicat (Lake, 2001).

Avant de quantifier la réussite d'une restauration écologique, il convient de préciser ce qu'est une restauration considérée comme réussie. Selon l'International Primer on Ecological Restoration, (2004), un écosystème s'est régénéré (restauré) lorsqu'il possède les neuf attributs suivants :

- l'écosystème restauré contient un ensemble caractéristique d'espèces de l'écosystème de référence qui procure une structure communautaire appropriée,
- l'écosystème restauré est constitué pour la plupart d'espèces indigènes,
- tous les groupes fonctionnels nécessaires à l'évolution continue et/ou à la stabilité de l'écosystème restauré sont représentés ou, s'ils ne le sont pas, les groupes manquant ont la capacité à le coloniser naturellement,
- l'environnement physique de l'écosystème restauré est capable de maintenir des populations reproductrices d'espèces nécessaires à sa stabilité ou à son évolution continue le long de la trajectoire désirée,
- l'écosystème restauré fonctionne en apparence normalement lors de sa phase écologique de développement et les signes de dysfonctionnement sont absents,
- l'écosystème restauré est intégré comme il convient dans une matrice écologique plus large ou un paysage, avec qui il interagit par des flux et des échanges biotiques et abiotiques,
- les menaces potentielles du paysage alentour sur la santé et l'intégrité de l'écosystème restauré ont été éliminées ou réduites autant que possible,
- l'écosystème restauré est suffisamment résilient pour faire face à des événements normaux de stress périodiques de l'environnement local, ce qui sert à maintenir l'intégrité de l'écosystème,
- l'écosystème restauré se maintient lui-même au même degré que son écosystème de référence et a la capacité à persister indéfiniment sous les conditions environnementales existantes.

### III.13. Cas d'étude de restauration

#### III.13.1. Technique contre l'érosion du sol en Tunisie

Dans une étude sur l'efficacité de différentes techniques de lutte contre l'érosion hydrique réalisée par Slim et Ben Jeddi (2011) en Tunisie, dans différents niveaux de pente, le Sulla (*Hedysarum coronarium*) présente les pertes d'eau par ruissellement les plus faibles, suivies de la jachère non travaillée, puis du blé.

Le Sulla du Nord est une espèce bisannuelle, allogame à faible degré d'autogamie (Grimaldi, 1961). Les tiges sont dressées, cylindriques et pleines. A l'état naturel, sa hauteur varie de 0,3 à plus de 1,5 m. Son système racinaire est puissant, pivotant ou fasciculé, et peut atteindre 2 m de profondeur (Bigourdan, 1933).

\*A forte pente (12 %), le couvert de Sulla réduit le ruissellement d'eau de 6,3 à 6,8 fois respectivement par rapport à la jachère non travaillée et au blé.

\*Une meilleure conservation de l'eau est alors observée pour le sol couvert par *Hedysarum coronarium*. La culture de blé contribue à l'infiltration d'eau la plus faible, particulièrement en pente de 12 %.

\*Au bout d'une heure de pluie artificielle, et pour les différents niveaux de pente, la culture d'*Hedysarum coronarium* présente les valeurs les plus faibles en vitesse de ruissellement d'eau, suivie par la jachère non travaillée et la culture de blé. Par rapport à une jachère non travaillée et à 12 % de pente, *Hedysarum coronarium* réduit de 10 fois la quantité de terre érodée.

\*Le semis d'*Hedysarum coronarium* peut donc être considéré comme une culture protectrice et conservatrice du sol. Avec son système racinaire fasciculé en surface et traçant en profondeur, l'espèce contribue davantage à une meilleure rétention des particules colloïdales du sol. Cette particularité explique entre autre le faible niveau d'érosion aussi bien liquide (eau ruisselée) que solide (charge solide). L'humus produit par le couvert d'*Hedysarum coronarium* améliore la cohésion du sol, sa teneur en matière organique et minérale et augmente, par conséquent, sa fertilité.

### III.13.2. Restauration des alpages dégradés

Les alpages sont des systèmes herbacés complexes qui conjuguent une grande richesse biologique avec une diversité des pratiques pastorales (Bornard *et al.*, 2004 ; Jouglet *et al.*, 1992). Dans un monde de plus en plus urbanisé, les montagnes avec leurs alpages constituent des centres d'attraction majeurs pour le tourisme et les loisirs.

La végétation des alpages est détruite ou profondément perturbée lors de la construction des pistes de ski. De plus, les horizons superficiels du sol sont décapés et les processus d'érosion se développent rapidement en raison des fortes pentes

Les opérations de la restauration de ces milieux dégradés doivent comporter plusieurs étapes successives afin de garantir le succès de la restauration (Dinger, 1997) :

- terrassements pour la lutte contre le ruissellement de surface,
- travail du sol (avec apports d'amendements organiques ou chimiques),
- semis (à la volée ou par hydro-seeding),
- entretien des parcelles restaurées.

Les semences utilisées pour la restauration sont composées d'espèces et de variétés allochtones plus ou moins bien adaptées aux conditions de la montagne. Dans tous les cas, la grande majorité de ces espèces présente une bonne valeur fourragère. On retrouve parmi les mélanges actuels différentes variétés de fétuque rouge (*Festuca rubra* L.), de fléole des près (*Phleum pratense* L.), de dactyle (*Dactylis glomerata* L.), de ray-grass anglais (*Lolium perenne* L.), de trèfle blanc et de trèfle violet (*Trifolium repens* L., *T. pratense* L.), de lotier (*Lotus corniculatus* L.) et de sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop.) (Isselin-Nondedeu et Bédécarrats, 2006).

La restauration effective de la structure et du fonctionnement des alpages est difficile (Forbes & jefferies, 1999., Urbanska, 1997). Les dynamiques de reconstitution de la végétation sont lentes ; le taux de couverture végétale ainsi que les niveaux de diversité sont souvent faibles, même après de nombreuses années. Il faut par exemple une trentaine d'année après le semis pour retrouver une prairie comportant 50-60% des espèces présentes dans les prairies pâturées adjacentes (Isselin-Nondedeu & Bédécarrats, 2002). Les causes sont multiples : contraintes climatiques, sols facilement érodables sur les fortes pentes, déficit de la banque de graines.

### III-13.3. Restauration des prairies d'altitude par le pâturage

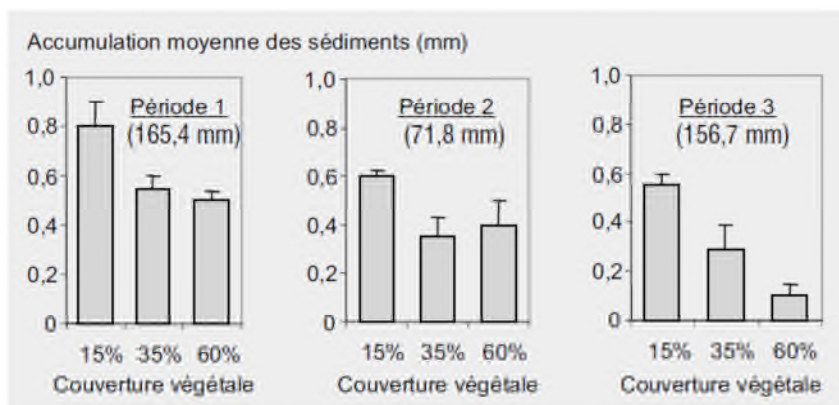
Nous présentons le cas de la restauration des prairies d'altitude faite par Isselin-Nondedeu et Bédécarrats (2002) dont les parcelles étudiées se situent sur le domaine skiable de la plaine en Savoie, dans les Alpes du Nord, en bordure du massif de la Vanoise.

L'ensemble des parcelles retenues pour les études sont réparties dans l'étage bioclimatique du subalpin moyen à supérieur, entre 1900 m et 2400 m d'altitude. Les expositions sont globalement de nord, nord-est, à est. Les précipitations moyennes sur le site d'étude sont de 1165 mm avec une température moyenne annuelle de 2,7°C.

Trois principaux substrats géologiques sont présents sur l'ensemble du domaine : des quartzites compactes acidifiantes ; des gypses friables alcalinisants et des serpentinites aux propriétés intermédiaires.

Isselin-Nondedeu et Bédécarrats (2002) ont présentés la synthèse de résultats d'études expérimentales dans lesquelles ils ont analysé les conséquences du pâturage sur des prairies subalpines en cours de restauration, dans le but d'examiner les effets sur le sol et sur la végétation en place. Ils ont mesuré l'accumulation de sédiments et de matériaux à l'intérieur des empreintes de sabots laissées par les vaches sur le sol de plusieurs pistes de ski. Ces pistes sont caractérisées par de fortes pentes de l'ordre de 30 à 35° sur un substrat très friable (gypse, cargneule).

Les résultats ont mis en évidence que les empreintes de sabots se comportaient comme des pièges à sédiments (Figure 24) et ceci quel que soit le recouvrement de la végétation et le cumul des précipitations.



**Figure 24:** Accumulation de sédiments dans les empreintes de sabots de vaches après trois périodes de précipitations.

**\*Effet sur le sol :** Si le piétinement augmente l'érosion en déstabilisant le sol, les résultats montrent que ce phénomène peut être contrebalancé par l'effet de piégeage des empreintes. Par ailleurs, le moteur du mouvement des sédiments sur les pentes est l'eau qui ruisselle en surface. Celle-ci peut être piégée plus ou moins longtemps par les empreintes de sabots pour former des micros "retenues d'eau". Cette situation est une conséquence directe d'une augmentation de la compaction du sol et d'une diminution localisée de sa perméabilité. Dans ces conditions, la quantité d'eau de ruissellement de surface et, en conséquence, l'érosion à l'échelle de la parcelle sont réduites (Gutterman, 2003). ce qui peut expliquer que certaines zones pâturées pouvaient fournir moins de sédiments que les prairies abandonnées (Tasser *et al.*, 2003).

**\*Effet sur la végétation :** Les résultats obtenus sur ce site d'étude montrent ainsi que les empreintes de sabots jouent un rôle :

- Dans les modèles de dispersion des graines, comme cela a été montré en milieu semi-aride (Gutterman, 1997),
- Dans la régénération de certaines espèces, en permettant par la suite aux graines piégées de germer. L'analyse des banques de graines viables ainsi que les observations de nombreuses germinations *in situ* dans les empreintes de sabots contredisent les observations faites dans les prairies d'altitude. Notamment (Stammel & Kiehl, 2004) ont montré que les empreintes de sabots laissées par le bétail dans des pelouses calcaires n'avaient pas d'effets significatifs sur la régénération des plantes,
- Les herbivores participent également à la dispersion des plantes. Par exemple, les fruits, les épis et les graines ingérés sont excrétés *via* les fèces et sont ainsi disséminés (Fischer *et al.*, 1996., Stiles, 2000). Le passage au travers du tractus intestinal favorise également le pouvoir germinatif de certaines espèces, notamment les légumineuses. Le transport des graines peut aussi être assuré sur de plus ou moins grandes distances par la fourrure des bovins ou des ovins (Couvreur *et al.*, 2004 ; Fischer *et al.*, 1996). Ces processus de colonisation favorisent l'accroissement de la diversité biologique des prairies (Traba *et al.*, 2003).

#### **III.13.4. La réhabilitation d'un site carrière en méditerranée**

Cas de la carrière d'Artimes (Grèce) exploitée pour ses calcaires durs pour cimenterie. En raison du fait que la carrière d'Artimes se situe dans un environnement naturel et touristique du type méditerranéen d'énormes efforts ont été menés durant la réhabilitation du site pour préserver le paysage original et protéger l'écosystème nature propre aux zones



méditerranéennes. Avant toute chose, 400 000 tonnes de matériaux inertes furent transportés près de l'installation de manières à élever des monticules de 10 à 12 m de haut et 1500 m de long. Ces monticules furent recouverts de terres fertiles et ensuite planté d'arbres tels que l'Eucalyptus et l'Acacia. Ces barrières arbustives furent érigées pour protéger les environs immédiats du bruit et améliorer la qualité esthétique du paysage.

Dans la carrière à ciel ouvert, la technique d'extraction générait des fronts de taille de 10 m de haut pour 6,5 m d'épaisseur en banquette. L'excavation près de la surface topographique se réalisait au moyen d'engins mécaniques, donc sans tirs, pour éviter les perturbations qui pouvaient se produire dans les sols et zones de plantations. Les sols de surface, décapés pour permettre l'accès aux calcaires recherchés, sont maintenant réutilisés et placés le long des fronts raides pour former des pentes douces propices à l'écoulement des eaux puis à leur retenue au pied des fronts.

Une pépinière d'une capacité de 40 000 à 50 000 plants par an a été créée pour végétaliser ces nouveaux fronts recouverts de sols. En supplément à l'arrivée automatique d'eau, les plantes ont été fertilisées et supportées par des tuteurs durant 4ans.

La variété des plants et l'emploi de sols indigènes ont permis leur auto-multiplication et la réapparition d'une biodiversité locale : plus de 11 espèces de plantes, 6 variétés spécifiques de fleurs, 15 espèces d'oiseaux et d'animaux terrestre (Brodtkom, 2001).

### **III.13.5. Bilan de la restauration écologique à la Réunion**

Depuis les années 1980, des opérations de restauration écologique sont entreprises à la Réunion afin d'assurer la conservation à long terme des écosystèmes indigènes terrestres. Ces opérations se sont multipliées dans les années 1990 pour devenir une composante majeure de la gestion forestière dans les années 2000.

Concernant une grande diversité de milieux, ces opérations interviennent principalement après des incendies et des travaux de lutte contre les espèces végétales invasives. Excepté quelques initiatives en terrain privé, la majorité de ces opérations a lieu en forêt publique (100000 ha), et en particulier au sein des réserves biologiques et naturelles (35 000 ha environ). Elles sont mises en œuvre principalement par le service forestier local (Office National des Forêts). Des associations mettent également en œuvre des travaux de restauration dans les espaces Naturels Sensibles acquis par le Département.

En 2004, un inventaire des opérations de restauration écologique entreprises par l'ONF a été réalisé. Ces chantiers de restauration ont été initiés suite à différents types de perturbations telles que les invasions par les plantes exotiques, les incendies, les cyclones et la

coupe de bois. Les chantiers de lutte contre les plantes invasives ciblent de nombreuses espèces. Les méthodes de lutte utilisées ont déjà fait l'objet d'un bilan en 2003 et ont fait l'objet d'un ouvrage intitulé : "Etat des méthodes de lutte mises en œuvre par l'Office National des Forêts à la Réunion" (Hivert, 2003).

Après l'élimination initiale de la plante invasive cible, des plantations d'espèces indigènes sont effectuées ou la régénération naturelle est favorisée. Ensuite, des contrôles réguliers sont effectués afin de maintenir les espèces exotiques à un faible niveau d'invasion et permettre à la végétation indigène de se rétablir.

En majorité, l'élimination des plantes exotiques est suivie systématiquement d'une plantation d'espèces indigènes, dont les plants sont produits en pépinière. La plantation reste donc un "réflexe" du forestier même si la régénération naturelle aurait été suffisante pour reformer un couvert. La raison la plus souvent invoquée est le gain de temps procuré par la plantation, en particulier face aux plantes exotiques qui ont une croissance très rapide (Triolo, 2005).

### **III.13.6. Restaurer l'écosystème dans la plaine de Crau**

Le travail souligne le fait qu'il est important de mettre au point des techniques capables d'accélérer la dynamique végétale, permettant ainsi la restauration de la communauté végétale de l'écosystème impacté. En tant que mesure accompagnatrice du projet, la technique de restauration de transfert de foin a pu être testée sur cet écosystème (réserve naturelle de la Crau) (Coiffait-Gombault et *al.*, 2011).

La technique de transfert du foin consiste à prélever des graines sur l'écosystème de référence par l'intermédiaire d'une fauche des parties supérieures de la végétation et d'une aspiration des résidus de la fauche. Afin de prélever un maximum de graines de la végétation potentielle, cette collecte a lieu durant la période où les végétaux produisent le maximum de semences. Les graines accompagnées de débris de végétaux constituent donc les foins, qui sont ensuite transférés sur l'écosystème à restaurer au moment des premières pluies automnales, période la plus favorable pour le semis en conditions climatiques méditerranéennes. Nous avons donc procédé à la dispersion de 112 grammes de foins sur des surfaces de 0,16m<sup>2</sup>(soit 700g /m<sup>2</sup>) sur la zone impactée par les canalisations et sur la steppe. Sur trois sites étudiés pour le suivi de la faune et de la flore, des relevés de végétation ont ensuite été effectués pendant trois ans (2007,2008,2009) afin d'évaluer la réussite de ce protocole expérimentale.

L'utilisation de la technique de transfert sur les zones impactées a permis d'augmenter la richesse en espèces végétales six mois après l'épandage des foins pour atteindre une richesse comparable à celle de la steppe à l'issue du suivi (trois ans après l'épandage).

Les résultats obtenus montrent que l'utilisation de cette technique permet une accélération de la succession végétale vers la communauté steppique de référence grâce à la réintroduction d'espèces caractéristiques de la steppe et notamment des espèces structurantes tel que le thym. Néanmoins il est important de poursuivre les suivis de la régénération de ces sites perturbés et restaurés puisque certaines espèces steppique restent toujours absentes de ces sites. Parmi ces espèces le *brachypode rameux* ne semble cependant pas pouvoir recoloniser le milieu impacté à cause de sa faible capacité de reproduction sexuée. L'absence de cette espèce semble problématique pour la régénération totale de l'écosystème puisqu'elle domine l'écosystème par son recouvrement, ce qui engendre une perte dans la structure de la communauté mais aussi dans son fonctionnement (Coiffait-Gombault et *al.*, 2011).

# CONCLUSION GENERALE

## Conclusion générale

L'écosystème est un ensemble de végétaux, d'animaux et de micro-organismes qui interagissent les uns avec les autres et avec leur environnement non vivant.

Les écosystèmes peuvent subir des dégradations plus ou moins graves causées par des phénomènes naturels, mais l'action anthropique reste la première cause de dégradation des différents compartiments de l'écosystème. Dans le cadre de ce mémoire, nous avons présenté essentiellement celles touchant les sols et la végétation. La majorité des perturbations enclenchent des phénomènes érosifs plus ou moins importants. De ce fait, nous avons orienté notre synthèse sur l'érosion et les méthodes permettant de minimiser son impact sur les écosystèmes.

Diverses méthodes de restauration des écosystèmes sont présentées, nous citerons le mulching avec divers matériaux, le semis ou revégétatisation des milieux et l'installation de barrières de différentes natures pour lutter contre le transport des particules de sol.

D'autres techniques peuvent donner également des résultats positifs dans la limitation des phénomènes érosifs. Nous citons particulièrement le pâturage qui malgré ses effets néfastes sur la régénération des peuplements forestiers par exemple, permet un piégeage des particules de sol au niveau des empreintes de sabots des animaux, ce qui minimise le transport par ruissellement.

La restauration des écosystèmes est une opération indispensable si l'on désire sauvegarder notre biodiversité spécifique, populationnelle et écosystématique. Les programmes de conservation ne suffisent pas toujours, il est indispensable d'agir pour restaurer ou réhabiliter les paysages dégradés.

# BIBLIOGRAPHIE

## Références bibliographiques

- ❖ ABRINORD. (2008).– Contrôle de l'érosion et question des fossés. Document complémentaire à la formation et support technique à la visite terrain. <http://WWW.abrinord.qc.ca>.
- ❖ ACHARD, F., HIERNAUX, P. & BANOIN, M. (2001). – Les jachères naturelles et améliorées en Afrique de l'Ouest. In : Floret C., Pontanier R., Eds. De la jachère naturelle à la jachère améliorée. Le point des connaissances. Vol. 2. Montrouge, France, John Libbey Eurotext., p. 201-239.
- ❖ ANDREU, V., RUBIO, J.L., FORTEZA, J. & CERNI, R. (1996). – Post-fire effects on soil properties and nutrient losses. *Int. J. Wildland Fire.*, 6: 53-58.
- ❖ ANONYME. (2011). – Restauration écologique : nécessité de construire des indicateurs pour un suivi efficace. CDU 01-AMENAG EAU00 – 70490.
- ❖ ANONYME. (2002).– Dégénération des sols et désertification .Dossier d'information pour Johannesburg. Sommet mondial sur le développement durable. Fiche., 18,3p.
- ❖ ANONYME. (2005).– Assessment Millinnium ecosystem assessment Synthesis report [Rapport], Washington.D .C, USA. Island Press.
- ❖ ANTIPOLIS, S. (2003). – Les menaces sur les sols dans les pays méditerranéen. Plan bleu.n° 2., p 70.
- ❖ ARIANOUTSOU, M. & THANOS, C.A. (1996).–Legumes in the fire-prone Mediterranean regions: an example from Greece. *Int. J. Wildland Fire.*, 6: 77 - 82.
- ❖ AULD, T.D. & O'CONNELL, M.A. (1991). – Predicting patterns of post-fire germination in 35 eastern Australian Fabaceae. *Aust. J. Ecol.*, 16: 53 - 70.
- ❖ BAILLIE, J.E.M., HILTON-TAYLOR, C. & STUART, S.N. (2004). –IUCN Red list of Threatened Species. A Global Species Assessment. UICN.Gland, Switzerland and Cambridge, UK. Xxiv+., 191 p.
- ❖ BAO, C. (2012). – Ethique de la lutte contre la déforestation. Université d'Auvergne., 22p.
- ❖ BARBERO, M., BONIN, G., LOISEL, R., MIGLIORETTI, F. & QUEZEL, P. (1987a).– Impact of forest fires on structure and architecture of medoterranean ecosystems. *Ecol. Medit.*, 13,39-50.
- ❖ BAROT, S., LATA, J.C. & LACROIX, G. (2011).–Meeting the relational challenge of ecological engineering within ecological sciences. *Ecological Engineering*, doi: 10.1016/j. Ecoleng.04.006 .11 pp, in press.
- ❖ BASKIN, C.C. & BASKIN, J.M. (2001).–Seeds. Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic press, San Diego., 666p.
- ❖ BAUTISTA, S., BELLOT, J. & VALLEJO, V.R. (1996). –Mulching treatment for post fire soil conservation in a semiarid ecosystem. *Arid Soil Res. Rehabil.*, 10: 235-242.
- ❖ BAZZAZ, F.A. (1998). – Plants in changing environments: Linking physiological, population, and community ecology, Cambridge. University Press., 320 p.
- ❖ BEKDOUCHE, F., SAHNOUNE, M., KROUCHI, F. ACHOUR, S. GUEMATI, N. & DERRIDJ, A. (2011). –The contribution of legumes to post-fire regeneration of *Quercus suber* and *Pinus halepensis* forests in northeastern Algeria. *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, vol., 66: 29-42.
- ❖ BEKDOUCHE, F. (2010).– Evolution après feu de l'écosystème suberaie de kabylie (nord algerien), Tizi – ouzou. Thèse Doc. Ecologie forestière., 175p.
- ❖ BENABDELI, K. (1996). – Aspects physionomico - structural et dynamique des écosystèmes forestiers face à la pression anthropozoogène dans les monts de Tlemcen et les monts de Dhaya (Algérie septentrionale occidentale). Thèse Doct. Etat en Biol. 2T. Univ. S.B.Abbès., 356 p.

## Références bibliographiques

- ❖ BENBRAHIM, F.K., ISMAILI, M., BENBRAHIM, F.S. & TRIBAK, A. (2004). –Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation : impact du phénomène au Maroc., 15 (4) : 307-20.
- ❖ BERG, L.R., HASSENZAHL, D.M & RAVEN, P.H. (2008).– Environnement. 6ème édition. Publié par arrangement avec wiley., 687p.
- ❖ BEYERS, J.L. (2004). – Post fire seeding for erosion control: Effectiveness and impacts on native plant communities. *Conserv. Biol.*, 18: 947 - 956.
- ❖ BEYERS, J.L. (2009). – Non-native and native seeding. In: A. CERDA & P.R. ROBICHAUD (eds). *Fire effects on soil and restoration strategies*. *Land.*, 321-336pp.
- ❖ BIELDERS, C., RAIOT J-L. & KARLHEINZ, M. (2004).–L'érosion éolienne dans le Sahel nigérien : influence des pratiques culturales actuelles et méthodes de lutte n° 1, vol., 15. 19-32P.
- ❖ BIGOURDAN, R. (1933).–Culture du Sulla. *La Tunisie agricole.*, 34 : 156-60.
- ❖ BOND, W.J. & MIDGLEY, J.J. (2001). – Ecology of sprouting in woody plants : the persistence niche. *Trends Ecol.Eol.*, 16,45-51.
- ❖ BORING, L.R., HENDRICKS, J.J., WILSON, C.A. & MITCHELL, R.J. (2004).– Season of burn and nutrient losses in a longleaf pine ecosystem. *Int. J. Wildland Fire*, 13: 443 - 453.
- ❖ BORNARD, A., BASSIGNANA, M., BERNARD-BRUNET, C., LABONNE, S., & COZIC, P. (2004). –La diversité végétale des alpages des Alpes internes françaises et italiennes. Influence du milieu et des pratiques, *Fourrages*, 178, 153-170.
- ❖ BOTONI, E., DAGET, P. & CESAR J. (2006). –Revue Élev. Méd. vét. Pays trop., 59 (1-4) :31\_38.
- ❖ BOUCHER, D.H. & al. (1982). –The écology of mutualisme . *Ann. Rev. Eco. Syst.*, 13p 315-348.
- ❖ BOUCHER, D.H. (1985). –The biology of mutualisme ecology and evolution. Groom helm, London.
- ❖ BOUDY, P. (1952) – Guide du forestier en Afrique du nord. Edition n°211. La maison rustique, Paris., 505 p.
- ❖ BRODKOM, F. (2001). –Les bonnes pratiques environnementales dans l'industrie extractive européenne. Hors –Série n°1 (guide de référence)., p64.
- ❖ BUREL, F. & BAUDR, J. (1999).– *Écologie du paysage. Concepts méthodes et applications*. Paris : Lavoisier Tec & Doc.
- ❖ CARLESSO, M. & GALLAND, C. (2009).– Les grands biomes terrestres.
- ❖ CHOUMERT, G. (2005).–Rapport de stage d'option scientifique. Modélisation de scénarios d'évolution de la biodiversité.
- ❖ CLEWEL, F.L. & ARONSON, A. (2010).– la restauration écologique.cdu 00 env – james actes sud, Arles, 64797.
- ❖ COIFFAIT-GOMBAULT, C. & al. (2011).–Hay transfer promotes establishment of Mediterranean steppe vegetation on soil disturbed by pipeline construction. *Restoration Ecology*,vol, 19, n°201., 214-222p.
- ❖ COLLINS, S.L., KNAPP, A.K., BRIGGS, J.M., BLAIR, J.M. & STEINAUER, E.M. (1998). –Modulation of diversity by grazing and mowing in native tallgrass prairie. *Science.*, 280: 745- 747.



## Références bibliographiques

- ❖ CORDONNIER, T. (2004). –Perturbations, diversité et permanence des structures dans les écosystèmes forestiers. These doctorat. Docteur de l'engref., 259P.
- ❖ COUVREUR, M., CHRISTIAEN, B., VERHEYEN, K., HERMY, M. (2004) –Large herbivores as mobile links between isolated nature reserves through adhesive seed dispersal. *App. Veg. Sci.*, 7, 229-236.
- ❖ CRISTOFOLI, S. & al. (2009).–Colonization credit in restored wet heathlands. *Restoration Ecol.*, doi: 10.1111/j.1526- 100.2008.00495.x., in press.
- ❖ CRISTOFOLI, S. & MAHY, G. (2009).– Restauration écologique : contexte, contraintes et indicateurs de suivi.
- ❖ CROSTI, R., LADD, P.G., DIXON, K.W. & PIOTTO, B. (2006). – Post-fire germination: The effect of smoke on seeds of selected species from the central Mediterranean basin. *Forest. Ecol. Manag.*, 221: 306 – 312.
- ❖ CROUZAT, E. (2011). – Caractérisation des techniques d'ingénierie écologique employées en faveur de la biodiversité. Mémoire. Université Joseph Fourier., 38P.
- ❖ DAGET, P. & POISSONET, J. (1997). –Biodiversité et végétation pastorale. *Revue Elev. Méd. Vét. Pays trop.*, 50 : 141-144.
- ❖ DAJOZ, R. (1996).–précis d'écologie. 6<sup>ème</sup> édition., p551.
- ❖ DAJOZ, R. (2006).– précis d'écologie.8<sup>ème</sup> édition, Paris., p631.
- ❖ DAUTREBANDE, S., CORDONNIER, H., THIRION, M. & BIELDERS, P.R.C. (2006).–Lutter contre l'érosion des terres. N° 12. Une collection de la direction générale de l'Agriculture .44p.
- ❖ DAYAMBA, S.D., TIGABU, M., SAWADOGO, L. & ODEN, P. (2008). – Seed germination of herbaceous and woody species of the Sudanian savanna-woodland in response to heat shock and smoke. *Forest. Ecol. Manag.*, 256: 462 - 70.
- ❖ DE LUIS, M., RAVENTOS, J. & GONZALES-HIDALGO J.C. (2005). –Factors controlling seedling germination after fire in Mediterranean gorse shrublands. Implications for fire prescription. *J. Environ. Manage.* , 76: 159 - 166.
- ❖ DINGER, F. (1997).–Végétalisation des espaces dégradés en altitude. Cemagref éditions, Grenoble.
- ❖ DOUSSI, M.A. & THANOS C.A. (1994). –Post-fire regeneration of hardseeded plants: ecophysiology of seed germination. In: D.X. VIEGAS (eds). *Proceedings of the 2nd International Conference on Forest Fire Research*. Coimbra, Portugal., pp. 1035 – 1044.
- ❖ DUVIGNAUD, P. (1974).–La synthèse écologique. Edition Doin, Paris., 380P.
- ❖ FAURI, C & al. (2002).–Ecologie approche scientifique et pratique
- ❖ FISCHER, S.F. POSCHLOD, P. & BEINLICH, B. (1996).–Experimental studies on the dispersal of plants and animals on sheep in calcareous grasslands. *J. Appl. Ecol.*, 33, 1206-1222.
- ❖ FISHER & al. (2009).–defining and classifying ecosystem services for decision making [Article] //Ecological economics., 68(3). PP .643-653.
- ❖ FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE. (2011). –Finnish Statistical Yearbook of Forestry. 84p.
- ❖ FORBES, B.C. & JEFFERIES, R.L. (1999). –Revegetation of disturbed arctic sites : constraints and applications. *Biol. Conserv.*, 88, 15-24.

## Références bibliographiques

- ❖ FOURNIER, J.E. (2012).–Impacts écologiques de deux méthodes de restauration en forêt boréale. Rapport de stage. Master 2 Ecologie-Environnement., pp38.
- ❖ FRONTIER, S., PICHOD- VIALE, D. (1998).–Ecosystème structure. Fonctionnement. Evolution 2<sup>ème</sup> Editin.
- ❖ GALL, J.C. (1995). –Paléoécologie paysage et environnement disparus. Mosson.
- ❖ GOERGEN, E.M. & CHAMBERS, J.C. (2009). – Influence of a native legume on soil N and plant response following prescribed fire in sagebrush steppe.In. J.Wildland Fire., 18:665-75.
- ❖ GREENFACT. (2005).–Dégradation des Ecosystèmes., 79p. <http://www.greenfacts.org/>.
- ❖ GRIME, J.P. (2001).–Plant strategies,vegetation processes,and ecosystem properties. J.Wiley & Sons, Chichester., 417 p.
- ❖ GROGNOU, A. (2004).– Que faire dans les zones incendiées ? Présentation, dans «Forêt Méditerranéenne. tome XXV. n°4 ., pp 319-322.
- ❖ GUTTERMAN, Y. (1997).–Ibex diggings in the Negev Desert highlands of Israel as microhabitats for annual plant. Soil salinity, location and digging depth affecting variety and density of plant species. J. Arid. Environ., 37, 665-681.
- ❖ GUTTERMAN, Y. (2003). –The influences of animal diggings and runoff water on the vegetation in the Negev Desert of Israel. Isr. J. Plant Sci., 51, 161-171.
- ❖ HANLEY, M.E. & FENNER, M. (1998). – Pre-germination temperature and the survivorship and onward growth of Mediterranean fire-following plant species. *Acta Oecol.*, 19: 181 -187.
- ❖ HERRANZ, J.M., FERRANDIS, P. & MARTINEZ-SANCHEZ, J.J. (1998). – Influence of heat on seed germination of seven Mediterranean *Leguminosae* species. *Plant Ecol.*, 136: 95 -103.
- ❖ HESSAS, N. (2005).– Evaluation cartographique et évolution diachronique par télédétection du risque incendie de forêt. Simulation de la propagation du feu dans le bassin versant du Paillon, Nice. Alpes – Maritimes. These Doc. Université grenoble i. Discipline : Géographie Physique., 438P.
- ❖ HETIER, J.P. (2000). –Les questions à se poser pour définir une stratégie de l'après feu. Dans Forêt Méditerranéenne tome XXI, n° 3., pp 301-302.
- ❖ HIERNAUX, P. (1998). –Effets of grazing on plant species composition and spatial distribution in rangelands of the Sahel. *Plant Ecology.*, 33: 387-399.
- ❖ HIVERT, J. (2003). –Plantes exotiques envahissantes : état des méthodes de lutte mises en œuvre par l'Office National des Forêts à La Réunion. ONF Saint Denis, La Réunion.
- ❖ HOELLINGER, G. (1987). –Adaptation des techniques d'exploitation aux forêts sinistrées. Revue forestière française. 4/87., Spécial chablis. [http://bois.fordaq.com/fordaq/news/incendies\\_for%C3%AAAt\\_AsieduSud-Est\\_ONU\\_1760.html](http://bois.fordaq.com/fordaq/news/incendies_for%C3%AAAt_AsieduSud-Est_ONU_1760.html)
- ❖ HUTCHINSON, G.E. (1957).–Concluding remarks. Cold Spring Harbor Sym Quantitative. Biol., 22: 415–427.
- ❖ ISSELIN-NONDEDEU, F. & BEDECARRATS, A. (2006).–Concilier le pâturage avec la restauration écologique des prairies d'altitude. Fourrages., 188 : 511-523.

## Références bibliographiques

- ❖ ISSELIN-NONDEDEU, F. & BEDECARRATS, A. (2002). –De la restauration des écosystèmes perturbés à la restauration de la biodiversité : l'exemple des pistes de ski, la Plagne, Savoie. Proc. French-speaking meetings of biodiversity conservation (JFCB), Villeurbanne (France), pp 50-52.
- ❖ IZHAKI, I. & NE'EMAN, G. (2000). –soil seed banks in Mediterranean pine forests. In : G. Ne'eman, & L. Trabaud. (Eds). Ecology, biogeography and of pinus halpensis and P. brutia forest ecosystems in the Mediterranean Basin .Backhuys publishers, Leiden., pp.167-181.
- ❖ JOHNSON, D.W., SUSFALK, R.B., CALDWELL, T.G., MURPHY, J.F., MILLER, W.W. & WALKER, R.F. (2004). – Fire effects on carbon and nitrogen budgets in forests. Water Air Soil Poll: Focus., 4: 263 - 275.
- ❖ JOUGLET, J.P., BORNARD, A. & DUBOST, M. (1992). –Eléments de pastoralisme montagnard. Rapport Cemagref, Grenoble.
- ❖ KEELEY, J.E. & BOND, W.J. (1997). – Convergent seed germination in South African fynbos and California chaparral. Plant Ecol., 133: 153 – 167.
- ❖ KÖRNER, C & al. (2008). –Ecosystèmes terrestres. Les changements climatiques et la Suisse en 2050. Botanisches Institut, Université de Bâle., 25-40p.
- ❖ KREBS, J.R & DAVIES, N.B. (1987). –Introduction to behavioural ecology sinauer associated. Mass.
- ❖ KUHNHOLTZ-LORDAT, G. (1958). –L'écran vert. Mém. Mus. nation. Hist. Nat, nouv. Sér. B. Botanique ., 9,1-276+16pl .h.-t.
- ❖ KUYPERS, H., MOLLEMA, A. & TOPPER, E. (2004). –la protection des contre l'érosion dans les tropiques. 3éme edition., 99p.
- ❖ LAKE, P.S. (2001). – On the maturing of restoration: linking ecological research and restoration. Ecol. Manage. Restoration., 2 :110-115.
- ❖ LAUGIER, R. (2012). – De la restauration écologique au génie écologique. Synthèse documentaire.
- ❖ LE FLOC'H, E & ARONSON, J. (1995). –Ecologie de la restauration : Définition de quelques concepts de base. Natures, Sciences et Sociétés., 3, 29-35.
- ❖ LEVEQUE, C. (2001). – Ecologie. De l'écologie à la biosphère., p502.
- ❖ LIMOGES, B. (2009). – Biodiversité. Services écologiques et bien-être humain. Le naturaliste canadien no 2., 133p.
- ❖ LLORET, F., VERDU, M., FLORES-HERNANDEZ, N. & VALIENTE-BANUET, A. (1999). –Fire and resprouting in mediterranean ecosystems : insight from an external biogeographical region, the mexical shrublad. Am.J .Bot., 86 :1655-1661.
- ❖ LYNHAM, T.J., WICKWARE, G.M. & MASON, J.A. (1998). – Soil chemical changes and plant succession following experimental burning in immature jack pine. Can. J. Soil Sci., 78 (1) : 93–104.
- ❖ MAGURRAN, A.E. (1988). –Ecological diversity and its measurement Groom helm, London.
- ❖ MAINGUET, M. & CHEMIN, M.C. (1991). –Wind dégradation on the sandy soils of the Sahel of Mali and Niger and its part in désertification. Acta Mechanica., 2 :113-30.
- ❖ MAINGUET, M. & DUMAY, F. (2006). –Combattre l'érosion éolienne : un volet de la lutte contre la désertification. Les dossiers thématiques du CSFD. N°3. CSFD/Agropolis, Montpellier, France., 44 p.

## Références bibliographiques

- ❖ MARSOL, L. (2004). –Réhabilitation écologique de la mare temporaire méditerranéenne de Catchéou après incendie. Dans «Forêt Méditerranéenne». tome XXV. n°4., pp 337-346.
- ❖ MARTIN-CAMPINA, B. (2005). –Le rôle des facteurs géologiques et mécaniques dans le déclenchement et des instabilités gravitaires : exemple de deux glissements de terrain des pyrénées atlantique (vallée d'ossau et vallée d'ape). Thèse Doctorat d'état en science ce la terre et de la mer. Université bordeaux 1, France., 252p.
- ❖ MEDDOUR-SAHAR, O., DERRIDJ, A & MEDDOUR, R. (2006). –Bilan des incendies de forêt dans le bassin méditerranéen : Cas du Portugal, l'Espagne, la France, l'Italie et la Grèce, (Période 1986-2005). Edition : Cellule de communication. Vice Rectorat des relations extérieures de l'UMMTO., 8P.
- ❖ MILLER, L. & RICKLEFUS. (2005). –Ecology. 4<sup>ème</sup> edition. Published by W .H. Freeman and CO , New York., P821.
- ❖ MOLINIER, R.E. & MÜLLER, P. (1938). –La dissémination des espèces végétales. Rev .gén .Bot . , 50,1-178.
- ❖ MONTGOLFIER, J. (1991). –Les feux de forêts : idées fausses et idées justes. Vol 2., 183-188p.
- ❖ MOONEY, H.A. & DUNN, E.L. (1970). –Convergent evolution of mediterranean climate evergreen sclerophyll shrubs. Evolution., 24 :292-303.
- ❖ MORGAN, R.P.C. (1996) –Soil erosion and conservation-2nd ed.-Harlow(GBR), Longman., 198p.
- ❖ N'ZUE, B., ZOHOURI, G.P., SEKOU, D. & YAPI-GNAORE, V. (2005). –Le recépage du manioc, une technique rapide de multiplication Centre national de recherche agronomique., p2.
- ❖ NAVEH, Z. (1975). –The evolutionary significance of fire in the Mediterranean region. Vegetatio 29 :199-208.
- ❖ NEBOIT, R. (1991). –L'homme et l'érosion, Université de Clermont-Ferrand., 34 : 269p.
- ❖ NOSBERGER, J., MESSERLI, M. & CARLEN, C. (1998). –Biodiversity in grassland. Ann. Zootech., 47: 383-393.p. 393 – 410.
- ❖ PARDINI, G., GISPERT, M. & DUNJO, G. (2004). – Relative influence of wildfire on soil properties and erosion processes in different Mediterranean environments in NE Spain. Sci. Total Environ., 328: 237 - 246.
- ❖ PÉREZ-FERNANDEZ, M.A. & RODRIGUEZ-ECHEVERRIA, S. (2003). – Effect of smoke, charredwood and nitrogenous compounds on seed germination of 10 species from woodland incenral-western Spain. J. Chem. Ecol., 29: 237 – 251.
- ❖ PICKETT, S.T.A., WU, J. & CADENASSO, M.L. (1999). –Patch dynamics and the ecology of disturbed ground. Dans Ecosystems of the world: ecosystems of disturbed ground. L.R.Walker ed. Elsevier Science. Dossier incendies de forêt - Etat des lieux en Asie du Sud-Est par l'ONU.
- ❖ POLIS, G.A. (1991). –The ecology of desert communities. The Univ.Of Arizona Press,Tucson.
- ❖ POLLET, N. (2004). – Mouvements gravitaires rapides de grandes masses rocheuses : Apports des observations de terrain à la compréhension des processus de propagation et dépôt. Thèse ENPC. Application aux cas de La Madeleine (Savoie, France), Flims (Grisons, Suisse) et Köfels (Tyrol,Autriche)., 252p.
- ❖ PONCET, A. (1995). –Restauration et conservation des terrains en montagne. Office national des forêts., 1000p.

## Références bibliographiques

- ❖ PONS, A. & VERNE, J.L. (1971). – Une synthèse nouvelle de l'histoire du chêne vert (*Quercus ilex* L.). *Bull.Soc.bot.fr.* 118 :841-850.
- ❖ RAMADE, F. (2005). – *Elément d'écologie, écologie appliquée*. 6<sup>ème</sup> édition, Paris –sud (orsay). , 862p.
- ❖ RAMADE, F. (2003). – *Elément d'écologie, ecologie fondamentale*. 3<sup>ème</sup> édition. Edition DUNOD.
- ❖ RAMADE, F. (2009). – *Elément écologie. Ecologie fondamentale*. 4<sup>ème</sup> édition. Edition DUNOD., p689.
- ❖ RANGANATHAN, J & al. (2008). – *Service des écosystèmes (guide à l'attention des décideurs)*. world ressources institue.
- ❖ RAPPEL (Regroupement des Associations Pour la Protection de l'Environnement des Lacs et des cours d'eau de l'Estrée et du haut bassin de la st-François). (2003). – *Lutte à l'érosion sur les sites de construction ou de sol mis à nu*. Sherbrooke., p29.
- ❖ RHETT, A. (2009). *Les forêts tropicales : types de forêts*. <http://fr.mongabay.com/rainforests/0103.htm>
- ❖ RICE, E.L. (1974). – *allelopathy*. Academic press, New York.
- ❖ RIDLEY, H.N. (1930). – *The dispersal of plants throughout the word*. L.Ashford, reeve and Co., 744p.
- ❖ ROBICHAUD, P.R. (2000). – *Fire effects on infiltration rates after prescribed fire in northern Rocky Mountain forests, USA*. *J. Hydrol.*, 231-232: 220-229.
- ❖ ROCHE, H., BUIT, A. & RAMADE. F. (2002). – *Relationship between persistent organic chemicals residues and biochemical constituents in fish from a protected area. The french National nature reserve of camargue*. In *Comp. Biochem. physiol.*, C 133.
- ❖ ROGERS, L.E. & al. (1988). – *Diets of darkling beetles (coleoptera :Tenebrionidae) within a shrub-steppe*.
- ❖ ROOSE, E. (1991). – *Conservation des sols en zones méditerranéennes. Synthèse et proposition d'une nouvelle stratégie de lutte antiérosive : la GCES-Cahiers ORSTOM. Série Pédologie* .vol. XXVI, n°2.
- ❖ ROOSE, E. J. (1983). – *Ruissellement et érosion avant et après défrichage en fonction du type de culture en Afrique occidentale*. Université d'Orléans .Cah. O.R.S.T.O.M. Sér. Pédol. Vol. XX,n° 3., 327-339.
- ❖ ROOSE, E. (1994). – *Introduction à la GCES*, Bull. Pédol. de la FAO, n° 70, Rome., 420p.
- ❖ ROOSE, E. & NONI, G. (1998). – *Apport de la recherche à la lutte antiérosive Bilan mitigé et nouvelle approche*. *Etude et Gestion des Sols.*, 5, 3 :181-192p.
- ❖ ROY, J. & SONIÉ, L. (1992). – *Germination and population dynamics of *Cistus* species in relation to fire*. *J. Appl. Ecol.*, 29: 647 - 655.
- ❖ SCHLAEPFER, R., IORGULESCU, I. & GLENZ, C. (2002). – *Management of forested landscapes in mountain areas: an ecosystem-based approach*. *Forest Policy and Economics.*, 4 : 89-99.
- ❖ SCOTT, K., SETTERFIELD, S., DOUGLAS, M. & ANDERSEN, A. (2010). – *Soil seed banks confer resilience to savanna grass-layer plants during seasonal disturbance*. *Acta Oecol.*, 36: 202 – 210
- ❖ SER. (2004). *The SER (Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group) international primer on ecological restoration*. [http://www.ser.org/content/ecological\\_restoration\\_primer.asp,12/03/2013](http://www.ser.org/content/ecological_restoration_primer.asp,12/03/2013)
- ❖ SIMILÄ, M., & JUNNINEN, K. (2012). – *Ecological restoration and management in boreal forests – best practices from Finland*. *Metsähallitus.*, 50 p.

## Références bibliographiques

- ❖ SLIM, S. & BEN JEDDI .F. (2011).–Protection des sols des zones montagneuses de Tunisie par le sulla du Nord (*Hedysarum coronarium* L.). *Secheresse.*, (22) : 117 – 124.
- ❖ SOUBEYRAN, Y. (2008).–Espèces exotiques envahissantes dans les collectivités françaises d’outre-mer., P204.
- ❖ STAMMEL, B. & KIEHL, K. (2004).–Do hoof prints actually serve as a regeneration niche for plant species in fens?. *Phytocoenologia.*, 34 : 271-286.
- ❖ STILES, E.W. (2000).–"Animals as seed dispersers", *Seeds : the ecology of regeneration in plant communities*, ed. M. Fenner. ABI Publishing, New York. pp.111-124.
- ❖ TASSER, E., MADER, M. & TAPPEINER, U. (2003).–Effects of land use in alpine grasslands on the probability of landslides. *Basic Appl. Ecol.*, 4 :271-280.
- ❖ THANOS, C.A., GEORGHIOU, K., KADIS, C. & PANTAZI, C. (1992). – *Cistaceae: a plant family with hard seeds*. *Israel J. Bot.*, 4: 251 – 2.
- ❖ THOMAS, P.B., MORRIS, E.C. & AULD, T.D. (2003).– Interactive effects of heat shock and smoke on germination of nine species forming soil seed banks within the Sydney region. *Austral Ecol.*, 28: 674 – 683
- ❖ TOIVANEN, T., LIIKANEN, V. & KOTIAHO, J.S. (2009).–Effects of forest restoration treatments on the abundance of bark beetles in Norway spruce forests of southern Finland. *Forest Ecology and Management.*, 257 : 117-125.
- ❖ TRABA, J., LEVASSOR, C., & PECO, B. (2003).–Restoration of Species Richness in Abandoned Mediterranean Grasslands : Seeds in Cattle Dung .*Restor. Ecol.*, 11 :378-384.
- ❖ TRABAUD, L., LEPART, J. (1980).–Diversity and stability in garrigue ecosystems after fire. *Vegetatio.*, 43,49-57.
- ❖ TRABAUD, L. (1987).–Dynamics after fire of sclerophyllous plant communities in the Mediterranean basin. *Ecol. Medit.*, 13 :25-37.
- ❖ TRIOLO, J. (2005).–Guide pour la restauration écologique de la végétation indigène ., 91p.
- ❖ URBANSKA, K.M. (1997).–Restoration ecology research above the timberline : colonization of safety islands on a machine-graded alpine ski run, *Biodivers. Conserv.*, 6 :1655-1670.
- ❖ VALIENTE-BANUET, A., FLORES-HERNANDEZ, N., VERDU, M. & DAVILA, P. (1998).–The chaparral vegetation in mexico under nonmediterranean climate : the convergence and Madrean-Tethyan hyp otheses reconsidered.*Am.J.Bot.*, 85 :1398-1408.
- ❖ VAN DER PIJL, L. (1982).–Principales of dispersal in higher plants.*Springer-verlag, berlin, Heidelberg &New-York.*, 215p.
- ❖ VAN WIEREN, S.E. (1995).–The potential role of large herbivores in nature conservation and extensive land use in Europe. *Biological Journal of the Linnean Society.*, 56: 11-23.
- ❖ VAN WIJNEN, H.J. & VAN DER WAL, R. (1999).–The impact of herbivores on nitrogen mineralization rate: consequences for salt-marsh succession. *Oecologia.*, 118: 225-251.
- ❖ VARELA, M.C. (2004).–Le chêne-liège et les incendies de forêts : le cas portugais. *Ingénieur des Eaux et Forêts. Estação Florestal Nacional, Portugal .Coordinatrice internationale du réseau «Sylviculture du Chêne-liège» de la FAO Silva Mediterranea.* 9p.
- ❖ VIRO, D.J. (1974).–Effects of forest fire on soil. In: Kozłowski, T.T., Ahlgren, C.E. (Eds.). *Fire and Ecosystems*. Academic Press, New York and London., pp7–45.

## Références bibliographiques

- ❖ WAGENBRENNER, J.W., MACDONALD, L.H. & ROUGH, D. (2006). –Effectiveness of three post fire rehabilitation treatments in the Colorado Front Range. *Hydrol. Process.* 20:2989-3006.
- ❖ Wali, M.L. (1987).–The structure, dynamics, and rehabilitation of drastically disturbed ecosystems. In: Khoshoo T.N., ed. *Perspectives in environmental management*. New Delhi, India: Oxford and IBH Publishing., 163-183.
- ❖ WHITE, P.S. & JENTSCH, A.A. (2001).–The search for generality in studies of disturbance and ecosystems dynamics. *Progress in Botany.*, 62: 399-449.

## **Résumé**

Face à la dégradation des milieux naturels, les projets de restauration des écosystèmes et de compensation des impacts d'aménagements se multiplient. Un outil majeur des praticiens de la restauration est l'ingénierie écologique, qui croise les connaissances techniques et scientifiques sur les milieux et espèces impactés en vue de repositionner les écosystèmes sur une trajectoire écologique choisie.

La restauration des écosystèmes est une opération indispensable si l'on désire sauvegarder notre biodiversité spécifique, populationnelle et écosystémique. Les programmes de conservation ne suffisent pas toujours, il est indispensable d'agir pour restaurer ou réhabiliter les paysages dégradés.

**Mot -clé : écosystème, dégradation, restauration des écosystèmes, ingénierie écologique, biodiversité**

## **Abstract**

Faced with the deterioration of the natural environment, the ecosystem restoration projects and compensation arrangements of impacts are increasing. A major tool of restoration practitioners is ecological engineering, which crosses the technical and scientific knowledge on the environment and species impacted to reposition ecosystems on an ecological path chosen.

Ecosystem restoration is an essential operation if we want to save our biodiversity species, population-based ecosystemic. Conservation programs are not always sufficient, it is necessary to act to restore or rehabilitate degraded landscapes.

**Key word: ecosystem degradation, ecosystem restoration, ecological engineering, biodiversity**