

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique**



Université El Hadj Lakhdar

Batna

Faculté des sciences

Département d'agronomie



Mémoire de Magistère
en Sciences Agronomiques

Option : Gestion durable des écosystèmes forestiers

Evaluation des apports des éléments biogènes par
les retombées biologiques dans une chênaie et une
pinède des Aurès

Présenté par :

Mr. BENHIZIA Toufik

Soutenu le :

devant la commission d'examen :

Mr A. BENTOUATI

MC (A)

Université de Batna :

Président

Mr. B. OUDJEHIH

Prof

Université de Batna :

Rapporteur

Mr. R. BENSAID

Prof

Université de Skikda :

Examineur

Mr. T. HAZMOUNE

MC (A)

Université de Skikda :

Examineur

Année universitaire : 2009 - 2010

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Mon adorable chère mère et reconnaissance à mon père.

Mes frères et sœurs surtout Kamel, qui n'a jamais cessé de m'encourager.

Ma perle et future femme Yasmîna.

Tous mes amis.

Ma promotion de Magistère.

Il ne faut pas penser à l'objectif à atteindre, il faut seulement penser à avancer si ainsi à force d'avancer qu'on atteint ou qu'on double ses objectifs sans même s'en apercevoir.

BERNARD Werber (la révolution des fourmis).



t o u f i k

Remerciements

Avant tout j' adresse mes remerciements à Dieu le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a donné durant toutes ces longues années d'études et pour la réalisation de ce travail que j'espère être utile.

Je tiens à remercier mon promoteur Mr. OUDJEHIH B., professeur au département d'agronomie de l'université de Batna, pour tous ses conseils, ses encouragements et la correction du manuel. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Je remercie également Mr. BENTOUATI A., Maitre de conférences au département d'agronomie de l'université de Batna, d'avoir accepté de présider le jury. Qu'il trouve ici ma respectueuse considération.

J'exprime mes remerciements et ma gratitude à MR. BENSAID R. et HAZMOUNE T., respectivement professeur et maître de conférences à l'université de Skikda, pour avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.

Mes remerciements vont à mon enseignant MR TEMAGOULT O, pour son aide, ces conseils et ces encouragements.

Enfin, je présente tous mes respects à tous ceux et celles qui m'ont aidé de près ou de loin dans la réalisation ce travail.

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
01	Les grandes classes de la matière organique dans le sol	16
02	Apport au sol d'éléments minéraux par les eaux de pluie dans différentes régions du globe en Kg / Ha / an (Référence RAPP,1989)	29
03	Apports des éléments biogènes par les eaux d'égouttements dans différents pays et sous diverses essences (en Kg/ha/an).	31
04	Valeurs moyennes des précipitations mensuelles (Ain-Skhouna 1974 – 2004)	35
05	Température mensuelle maximales, minimales et moyennes de la région de Batna (Station Ain-Skhouna 1974 – 2004)	35
06	Teneurs mensuelles et moyennes en N, P et K des eaux de pluie à découvert dans la station Hamla et Djerma. (mg / litre)	46
07	Teneurs mensuelles et moyenne en N, P et K des eaux d'égouttement dans la station Hamla et Djerma. (mg / litre)	47
08	Quantité de N, P et K apportée par les eaux de pluie à Découvert (Kg / ha) dans les deux stations (Hamla et Djerma).	48
09	Quantité de N, P et K apportée par les eaux d'égouttement sous la chênaie de Hamla et la pinède de Djerma (Kg/ ha).	47
10	Production mensuelle et totale de la litière dans la chênaie Hamla (kg MS/ ha)	52
11	Teneurs moyennes mensuelles en N, P et K de la litière totale de la chênaie Hamla. (% MS)	57
12	Teneurs moyennes des différentes fractions de litière en N, P et K, toutes périodes comprises dans la chênaie Hamla. (% MS)	58
13	Teneurs moyennes des différentes fractions de litière en N, P et K, toutes périodes comprises dans la chênaie Hamla. (% MS)	59
14	Classement par ordre d'importance de production des éléments N, P et K par différentes fractions de litière	61
15	Production mensuelle et totale de la litière dans la pinède Djerma (kg MS / ha)	64
16	Teneurs moyennes mensuelles en N, P et K de la litière totale de la pinède Djerma (% MS)	66
17	Teneurs moyennes des différentes fractions de litière en N, P et K, toutes périodes comprises dans la pinède Djerma. (% MS)	67
18	Variations de la quantité d'éléments N .P et K restituée en fonction des différentes fractions (Kg/ha)	67

19	Variations de la quantité d'éléments N .P et K restituée en fonction des différentes fractions (Kg/ha)	68
20	Quantité mensuelle et totale de N, P et K restitués au sol de la chênaie de Hamla par les pluviolessivats et la litière (Kg/ ha).	71
21	Quantité mensuelle et totale de N, P et K restitués au sol de pinède de Djerma par les pluviolessivats et la litière (Kg/ ha).	72
22	Comparaison des minéralomasses restituées au sol de la chênaie Hamla et de la pinède Djerma	73

Liste des figures

N°	Titre	Page
01	Cycle de l'azote : GILLES BORBONAISE (2005)	07
02	Transformation biologique du phosphore D'après DOMMERGUES et MANGENOT (1970).	10
03	Minéralisation du potassium GRIMME in CHELIHI, (2003)	13
04	Devenir de la matière organique d'après MOREL (1996)	25
05	Décomposition du budget des précipitations dans un écosystème	30
06	carte des situations géographiques des zones d'étude.	33
07	Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (station de Batna)	36
08	Le climagramme d'EMBERGER pour la région du BATNA	38
09	Dispositif de récupération des eaux pluviales.	39
10	Vue d'un panier collecteur de litières	39
11	Différentes fractions des retombées solides pour la chênaie	42
12	Différentes fractions des retombées solides pour la pinède	43
13	Précipitations mensuelles enregistrées à découvert dans la station de Hamla et Djerma	44
14	Précipitations mensuelles enregistrées sous couvert dans la station de Hamla et Djerma	45
15	Evolution de la fraction d'eau de pluie récupérée sous forme d'égouttement sous les deux couverts forestiers..	46
16	Comparaisons entre les teneurs moyennes en éléments biogènes dans les eaux de pluie et les eaux d'égouttement des deux stations	49
17	Classement par ordre décroissant des proportions de la litière totale 6 mois	56
18	Contribution relative des différents mois dans l'apport total de N, P et K (% du total)	62
19	Classement par ordre décroissant des proportions de la litière totale 6 mois	65
20	Contribution relative des différents mois dans l'apport total de N, P et K (% du total)	69

TABLE DE MATIERE

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction

Première partie : Étude bibliographique

I.1. Eléments biogènes et cycle biogéochimique.....	02
I.1.1. Les éléments biogènes.....	02
1.1.1.1. Définition des éléments biogènes.....	02
1.1.1.2- Facteurs de variation de la teneur des végétaux et des sols.....	02
1.1.1.3. Rôle des principaux éléments biogènes.....	02
1.1.1.4- Différentes voies d'apport des éléments biogènes en forêt.....	03
1.1.2- Cycle biogéochimique.....	03
1.1.2.1. Définitions et généralités.....	03
1.1.2.2 Cycles bios géochimiques et productivités des écosystèmes.....	04
1.1.2.2.1- Le cycle de l'azote.....	06
1.1.2.2.2- Le cycle de phosphore.....	07
1.1.2.2.3- Le cycle de potassium.....	08
II.1. La matière organique du sol.....	14
1.2.1 - Définitions et généralités.....	14
1.2.2 -Les différentes fractions de la matière organique.....	14
1.2.3 - Forme de la matière organique.....	16
1.2.4 - Différentes catégories de substances organiques du sol.....	17
1.2.5-Dynamique de la matière organique.....	17
1.2.6- Rôle de la matière organique.....	18
1.2.7- La teneur des sols en matière organique.....	19
III.1. Les retombées biologiques.....	21
1.3.1- Les retombées solides.....	22
1.3.2-Les retombées liquides.....	28
1.3.2.1-Le phénomène de pluviolessivage.....	29
1.3.2.2-Appports des éléments biogènes par les eaux d'égouttement.....	31
1.3.2.3 Origine des apports des éléments biogènes.....	32

Deuxième partie : Matériel et méthodes

2.1- Situation et caractéristiques des zones d'étude.....	33
2.1.1. Situation géographique.....	33
2.1.2- Caractéristique géologiques et pédologique.....	33
2.1.3- les formations végétales présentes.....	34
2.1.4. Caractéristiques climatiques.....	35
2.2. Matériel.....	38
2.2.1. Récipient de recueil des eaux de pluie.....	39
2.2.2- Dispositif de récolte des retombées solides.....	39
2.3- Méthode.....	40
2.3.1- Disposition des récipients à découvert et sous couvert.....	40
2.3.2- Quantification et filtrage des eaux recueillies.....	40
2.3.3- Traitement et quantification des retombées des litières.....	40
2.3.4. Méthodes de dosage des éléments biogènes N,P et K.....	43

troisième partie : Résultats et discussions

3.1- APPORTS DES ELEMENTS BIOGENES PAR LES RETOMBEES LIQUIDES.....	45
3.1.1- Quantités des précipitations recueillies à découvert et sous couvert.....	45
3.1.2- Teneur en N, P et K des eaux de pluie et d'égouttement.....	49
3.1.3- Minéralomasse apportée par les retombées liquides.....	53
III.2- APPORTS DES ELEMENTS BIOGENES PAR LES RETOMBEES SOLIDES.....	56
3.2.1- Station de chêne vert de Hamla.....	56
3.2.1.1- Production mensuelle et totale des différentes fractions de litière.....	56
3.2.1.2- Teneur en éléments biogènes de la litière.....	59
3.2.1.3- Apports au sol des éléments minéraux par les différentes fractions de litière.....	61
3.2.1.4- Variations mensuelles des apports des éléments minéraux.....	63
3.2.2- Station de pin d'Alep de Djerma.....	65
3.2.2.1- Production mensuelle et totale des différentes fractions de litière.....	65
3.2.2.2- Teneurs en élément minéraux des litières du pin d'Alep.....	67
3.2.2.3- Apports au sol des éléments minéraux par les différentes fractions de litière.....	69
3.2.2.3-- Variations mensuelles des apports des éléments minéraux.....	71

3.3-MINERALOMASSE TOTALE RESTITUEE AU SOL PAR LES EAUX	
D'EGOUTTEMENT ET LA LITIERE.....	73
3.3.1- Station de chêne vert de Hamla.....	73
3.3.2- Station de pin d'Alep de Djerma.....	74
3.4- COMPARAISON ENTRE LES DEUX STATIONS.....	75
Conclusion.....	77
Références bibliographiques	

Introduction

INTRODUCTION

A la différence des agro-écosystèmes caractérisés par des apports artificiels d'énergie ou d'engrais, les écosystèmes forestiers assurent généralement par eux mêmes leurs besoins en éléments nutritifs.

Les éléments minéraux retournent au sol par deux principales sources :

- Les feuilles qui sont restituées au sol contiennent une quantité très importante de ces éléments.

- Les pluviolessivats (eau d'égouttement et de ruissellement) et les eaux de pluies qui participent avec des quantités non négligeables BONNEAU (1992), GAUQUE LINETAL (1992).

Plusieurs travaux concernant les écosystèmes forestiers ont été réalisés partout dans le monde. On peut citer ceux relatifs aux retombées biologiques liquides de RAPP (1969 et 1971). VILLECOURT (1975) et de GLOGNAN et TOUFFET (1980) qui ont étudiés le phénomène du pluviolessivage (retombées liquides). RAPP (1967), BOURAS (1990) et AISSI (1991) et ont travaillé sur les retombées solides.

La présente étude s'inscrit dans la recherche sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers. Elle vise à évaluer la quantité des retombées solides et liquides, ainsi que et leurs apports en éléments minéraux N, P et K dans deux écosystèmes forestiers des Aurès, une pinède à pin d'Alep (*Pinus halpensis* MILL) à Djerma et une chênaie à *Quercus Ilex* à Hamla, situées au niveau du parc national de Belezma.

Le présent travail a pour but également de déterminer la biomasse produite par les différentes fractions de litières et sa variation mensuelle au cours de la période allant de novembre à Avril.

Le contenu du manuscrit est organisé en trois parties :

La première est consacrée à une revue bibliographique sur les éléments biogènes et cycles biogéochimiques, la matière organique du sol et les retombées biologiques (liquides et solides)

La deuxième partie traite de la situation et de la caractérisation des stations étudiées, du matériel utilisé et des méthodes suivies.

La troisième regroupe les résultats obtenus et leur interprétation

Première partie
Etude bibliographique

Chapitre I

Eléments biogènes et

Cycle biogéochimique

I.1- ELEMENTS BIOGENES ET CYCLE BIOGEOCHIMIQUE

1.1.1- les éléments biogènes

1.1.1.1-Définition

Les éléments biogènes sont des éléments indispensables à la vie des plantes. Les principaux éléments sont représentés par l'azote, le phosphore, le potassium et le calcium (CLEMENT et TOUFFET, 1986).

1.1.1.2- Facteurs de variation de la teneur des végétaux et des sols

Chez les végétaux, la teneur en éléments biogènes varie avec l'espèce et le type et l'âge des parties de l'arbre (RAPP, 1971 et LANIER et al, 1976), ainsi qu'avec les conditions de nutrition (HELLER, 1969).

Dans les sols, l'importance de ces éléments est fonction du type de sols, de l'espèce végétale (RAPP, 1971) et les conditions de minéralisation (LANIER et al, 1976).

1.1.1.3- Rôle des principaux éléments biogènes

L'azote un composant fondamental de la matière vivante, il est nécessaire en grande quantité pour l'élaboration de nombreux composés organiques des végétaux, tels que les acides aminés, les protéines, les acides nucléiques, les pigments chlorophylliens et certaines enzymes (LANIER et al, 1976).

Le phosphore est indispensable en quantité assez importante. Il intervient sous forme de composés minéraux et organiques. Il agit à différents niveaux au cours des processus d'anabolisme et de catabolisme et commande le cycle énergétique. Il joue également un rôle au cours de la photosynthèse, dans le métabolisme des protéines, glycolyse et la synthèse des enzymes (LANIER et al, 1976).

Le potassium est nécessaire en quantité importante, il est indispensable à la physiologie des arbres. Il intervient dans la photosynthèse au niveau de la glycogénèse et la synthèse des protéines. De plus, il augmente la pression osmotique favorisant l'absorption de l'eau et protégeant le végétal contre toutes les formes de flétrissement (LANIER et al, 1878).

Le calcium joue un rôle dans le métabolisme. Il est indispensable pour le développement des tissus (LANIER et al., 1976) et augmente l'activité lombricienne qui s'accompagne de quelques modifications des caractéristiques de la matière organique (TOUTAIN, DIAGNE et al., 1987).

1.1.1.4- Différentes voies d'apport des éléments biogènes en forêt

D'après la définition de OVINGTON (1968) in DUVIGNEAUD (1982), on peut déduire que les apports en éléments biogènes dans la forêt se font par cinq voies :

- Par les litières
- Par fixation des micro-organismes.
- Par décomposition de la roche mère.
- Par pluviolessivage de la végétation
- Par les précipitations

Il est à noter que la concentration en éléments biogène de la forêt apportés par les précipitations varie d'une région à l'autre en fonction de sa distance par rapport à la mer, des activités industrielles, de la nature du sol et de l'intensité des pluies (LECOURT, 1975) ; RAPP, 1969 ; FORGEARD et al, 1979).

1.1.2- Cycle biogéochimique

1.1.2-1 Définitions

L'économie des éléments nutritifs dans l'écosystème forestier extensif est très particulier et consiste à une succession de mécanismes qui tendent à rendre optimale le pool des éléments disponibles, c'est le cycle biogéochimique des éléments nutritifs.

Le fonctionnement minéral de l'écosystème forestier est caractérisé par deux types de relations (NYS et al, 1995).

-Relations sol-plantes : Elles relatent les effets de la fertilité du sol sur la nutrition et par conséquent sur la production.

-Relations plantes-sol : Concernent les effets de la végétation sur le fonctionnement du sol.

Sur le plan éco- pédologique, le cycle biogéochimique désigne le retour annuel à la surface du sol au sein de la litière, d'une grande partie d'éléments prélevés en profondeur par les racines, composant les pertes dues à l'absorption racinaire et les différentes migrations d'éléments chimiques (DUCHAUFOR, 1977).

D'après NYS et JABIOL (1995), le cycle biogéochimique représente la circulation permanente des éléments minéraux entre les compartiments de l'écosystème : Les végétaux et les horizons du sol prospectés par les racines. Les éléments prélevés au sol, servent à l'élaboration de la biomasse annuelle et pérenne. Une partie de ces éléments est fixée définitivement (immobilisation), une autre est restituée au sol (litière et sécrétion). Une part importante des besoins de peuplements provient du transfert direct par voie interne des organes âgés vers les organes de croissance.

Le cycle possède des connections avec l'extérieur ; ce sont les apports atmosphériques et les éléments produits par l'altération des minéraux, mais également les pertes par drainage en dehors de la zone racinaire, l'érosion et les pertes gazeuses, (pertes de N par dénitrification et CO₂).

1.1.2-2 Cycles biogéochimiques et productivités des écosystèmes

La biodégradation des litières joue un rôle très important dans la lixiviation des cations. Les monovalents sont lixiviés pendant l'hiver, alors que les bivalents et le manganèse migrent pendant le printemps et l'été (VEDY et BRUCHERT, 1979, in BENMESSOUDA, 1999).

Lorsque les litières disparaissent rapidement, les éléments minéraux présents dans les feuilles s'incorporent rapidement aux horizons de surface où ils s'accumulent sous une forme assimilable. Ainsi, les retombées biologiques servent à activer et à améliorer l'efficacité des cycles biogéochimiques. Elles assurent donc une forte productivité vitale. Lorsque le turn-over de la litière est lent, les éléments restent stockés dans les couches F et Ii, la matière organique soluble issue des litières percole dans les horizons sous-jacents en altérant les minéraux. Il résulte une diminution de la réserve chimique des sols et donc de la productivité (TOUTAIN, 1981).

L'efficacité du cycle biologique de divers cations contenus dans les litières est résumée par DUCHAUFOR (1988) comme suit:

- Lorsque la quantité de l'élément étudié dans la litière est faible par rapport aux réserves mobilisables du sol, on conclue à une mobilisation chimique de cette réserve par altération et Compléxation. Il y a une tendance au « lessivage ».
- Quand la quantité de l'élément contenu dans la litière est élevée par rapport aux réserves mobilisées du sol, on déduit qu'il y a une mobilisation biologique pouvant être forte ou faible:
 - Si l'activité biologique est forte, l'humification est rapide et la surface du sol s'enrichit en cet élément.
 - Si l'activité biologique est faible, l'humification reste lente et il ne peut se produire une accumulation superficielle de l'élément.
 - Le prélèvement (ou absorption) s'effectue par les éléments par les racines. Il peut être réel (les éléments sont prélevés effectivement du sol pour élaborer les tissus de l'accroissement) ou apparent (la masse totale des éléments retenus dans l'accroissement annuel de la biomasse mais dont une partie seulement est prélevée au sol, le reste provient des « transferts internes » NYS (1987).

Le prélèvement réel = [masse des éléments nécessaires à l'élaboration annuelle des tissus ligneux + masse des éléments nécessaires à l'élaboration des feuilles] - [les transferts internes issus des parties ligneuses + les transferts issus de la masse foliaire].

- Le retour (ou restitution) au sol. Il se produit par la chute des litières, les eaux de lavages des phytocénoses, les exsudats racinaires et les racines mortes.
- L'immobilisation (ou rétention) est nécessaire à la croissance des organes pérennes de la phytocénose.

Au niveau de l'arbre la relation entre les différents points est la suivante :

Prélèvement = immobilisation + retour.

Ou **Prélèvement = immobilisation + minéralomasse feuilles de l'année -transferts internes.**

Dans l'étude complète d'un bilan de l'écosystème, il faut tenir compte des facteurs supplémentaires telle que :

- Le drainage des éléments vers les couches profondes du sol, mais aussi l'altération qui libère à partir des minéraux primaires et des quantités d'éléments nutritifs, capables vraisemblablement, sinon d'équilibrer ou au moins de compenser partiellement les pertes et les exportations en conditions d'exploitation forestières.

- Le flux d'altération qui détermine en matière de bilan, une grande partie de la résilience des écosystèmes (RANGER et al in FIZAIM et al, 1997).

1.1.2.2.1- le cycle de l'azote

L'azote est un élément important tant du point de vue tant quantitatif que qualitatif. il est indispensable à l'élaboration des protéines, des acides nucléiques, des hormones et de la chlorophylle. (BERNOUND et al, 1992).in CHELIHI, 2003.

La présence d'azote en quantité insuffisante entraîne une réaction immédiate. La plante réagit, par son feuillage qui jaunit et s'élabore mal. Si au contraire il se trouve un excès, la couleur devienne verte à noirâtre, les tissus se développent rapidement et manquent de consistance. La production primaire dépend d'une part de la quantité et de la forme de l'azote minéral disponible dans le sol (exclusivement ammoniacal NH_4 ou nitrique NO_3^- ou les deux à la fois) et d'autre part de la capacité d'assimilation de cet élément par la végétation à différents stades de développement (BERNOUND, 1992).In CHELIHI, 2003.

L'assimilation préférentiel de l'une des deux formes d'azote dépend des plantes elles-mêmes (plantes nitrophiles ou ammoniacophiles), mais aussi des conditions de croissance du système racinaire (bactéries nitrificatrices) et du milieu extérieur où fonctionne le système chlorophyllien.

MERZOUGUI et al. (1990), in CHELIHI (2003) ont déterminé que la quantité d'azote absorbée durant une année est composée de 43 % d'ammonium et 57 % de nitrate, dont le chêne vert et les espèces forestières s'adaptent et utilisent l'élément azote le plus abondant dans la station.

La majorité de l'azote du sol se trouve sous forme organique. Les formes inorganiques représentent moins de 2 % du total.

Le cycle de l'azote dans le sol est fortement influencé par les procédés cultureux.

L'azote de l'humus stable se minéralisait environ de 1,2 % par an; tandis que dans le cas de l'humus frais, cette minéralisation serait plus rapide GILLES BORBONAISE (2005) (fig.1).

Le passage de l'azote organique à l'azote minérale se fait en 2 temps, L'ammonification (libération de l'ammoniac) et la nitrification (oxydation de l'ammoniac en nitrates (BELAID, 1987, in CHELIHI, 2003)

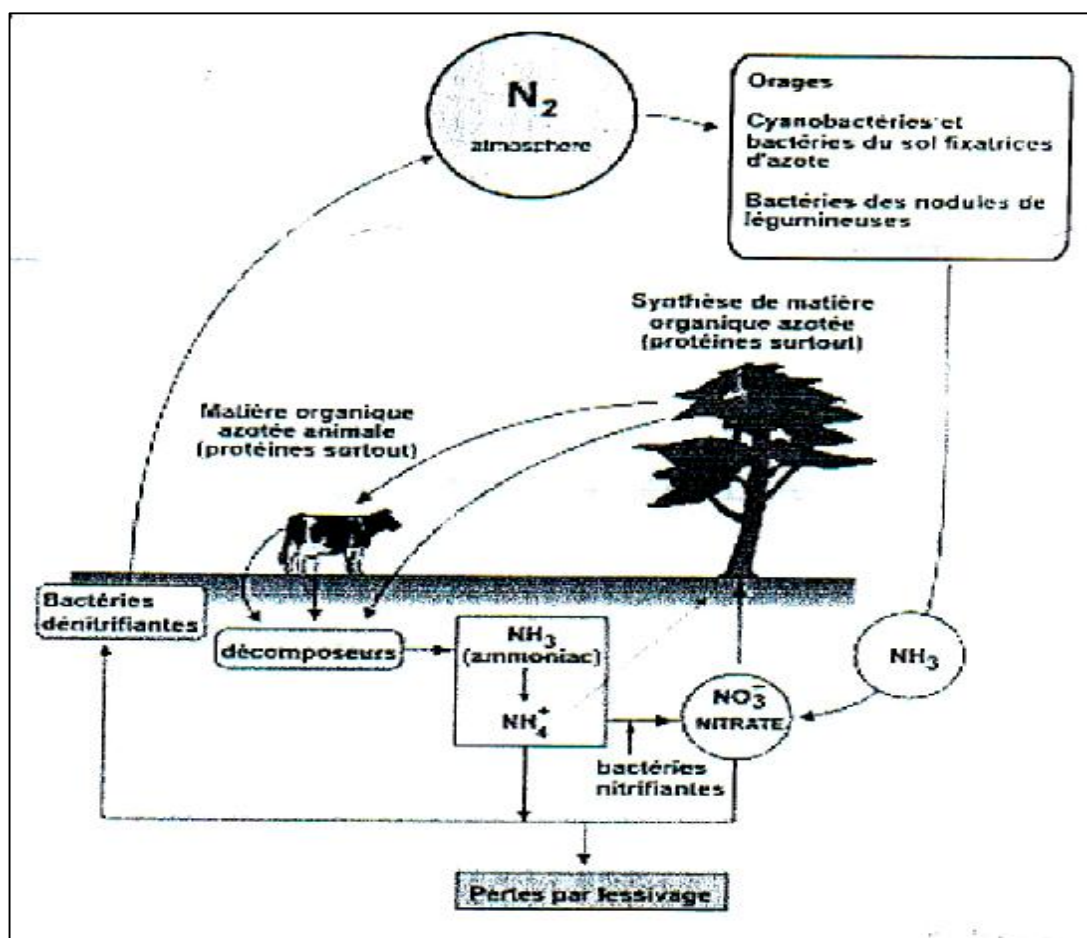


Fig.1: Cycle de l'azote : GILLES BORBONAISE (2005)

1.1.2.2.2-Le cycle du phosphore

Le phosphore se rencontre dans toutes les espèces végétales dans toutes les plantes surtout dans les graines et beaucoup plus dans les tiges (ANONYME,2000). Il participe dans l'activité fonctionnelle de la plante. Son rôle dans la photosynthèse est primordial en tant que transporteur de l'énergie (BELAID, 1987 in CHELIHI, 2003).



L'alimentation phosphorée du végétal est assurée par les formes ioniques HPO_2^- et HPO_4^- présentes dans la phase liquide du sol (MOREL, 1996).

Les excès de phosphore sont en général sans inconvénient pour les plantes, parce que l'élément ne présente aucune toxicité. Par contre, une présence insuffisante de

phosphore dans le milieu où le végétal se traduit le plus souvent par des retards de croissance et une réduction de la production (BOUYEKHF, 2000).

Comme l'azote, le phosphore organique subit des cycles de minéralisation et d'organisation.

Il faut noter que 70-80 % de la microflore est susceptible de minéraliser le phosphore organique et sa dégradation s'effectue à la suite d'une phosphorylation enzymatique libérant du phosphore (BONNEAU et SOUCHIER, 1979).

-Dynamique du phosphore

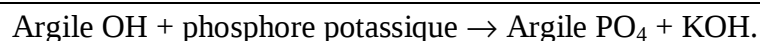
-Comportement général et pouvoir de fixateur du sol

Le phosphore passe rapidement dans le sol sous une forme insoluble ou très peu soluble dans l'eau, on peut dire qu'il y a une fixation de P_2O_5 (MOREL, 1996).

La concentration du phosphore dans le sol est en fonction de pouvoir de fixation (d'absorption) du sol. Cet élément peut être concentré aussi bien en surface qu'en profondeur (PERIGNAC, 1960, in BENIGHNISSA, 1992).

- L'absorption

Selon DEMELON (1968), in CHILIH (2003), l'absorption du P_2O_5 est devenu possible par le caractère amphorique des colloïdes du sol qui se comportent à la fois comme des acides et des bases. C'est le cas de la micelle argileuse qui peut porter des charges positives et négatives représentées par des (H) et (OH).



-Mobilisation des ions PO_3^{-2}

La solubilisation microbienne du phosphate peut résulter de deux mécanismes (MANGENOT et DOMMERGUES, 1970) :

- Soit des réactions entre les phosphores insolubles et les produits de métabolisme microbien qui s'accumulent en dehors des cellules.
- Soit de l'assimilation de ces phosphates insolubles par les micro-organismes eux-mêmes qui les restituent plus tard, sous forme soluble (fig.5)

-Solubilisation directe

Elle s'effectue, soit par l'acidolyse qui consiste à former des acides (organiques ou minéraux) par les microorganismes (Ces acides solubilisent les éléments sous forme de sels plus ou moins hydrolysés) (DUCHAUFOR, 1979), soit par complexolyse où les complexes organominéraux formés par les populations microbiennes (fongiques et bactériennes) participent à la solubilisation des éléments minéraux.

-Solubilisation après immobilisation

Certaines espèces microbiennes accumulent à l'intérieur de leurs cellules de grandes quantités de phosphore, une partie sous forme minérale et l'autre sous forme organique.

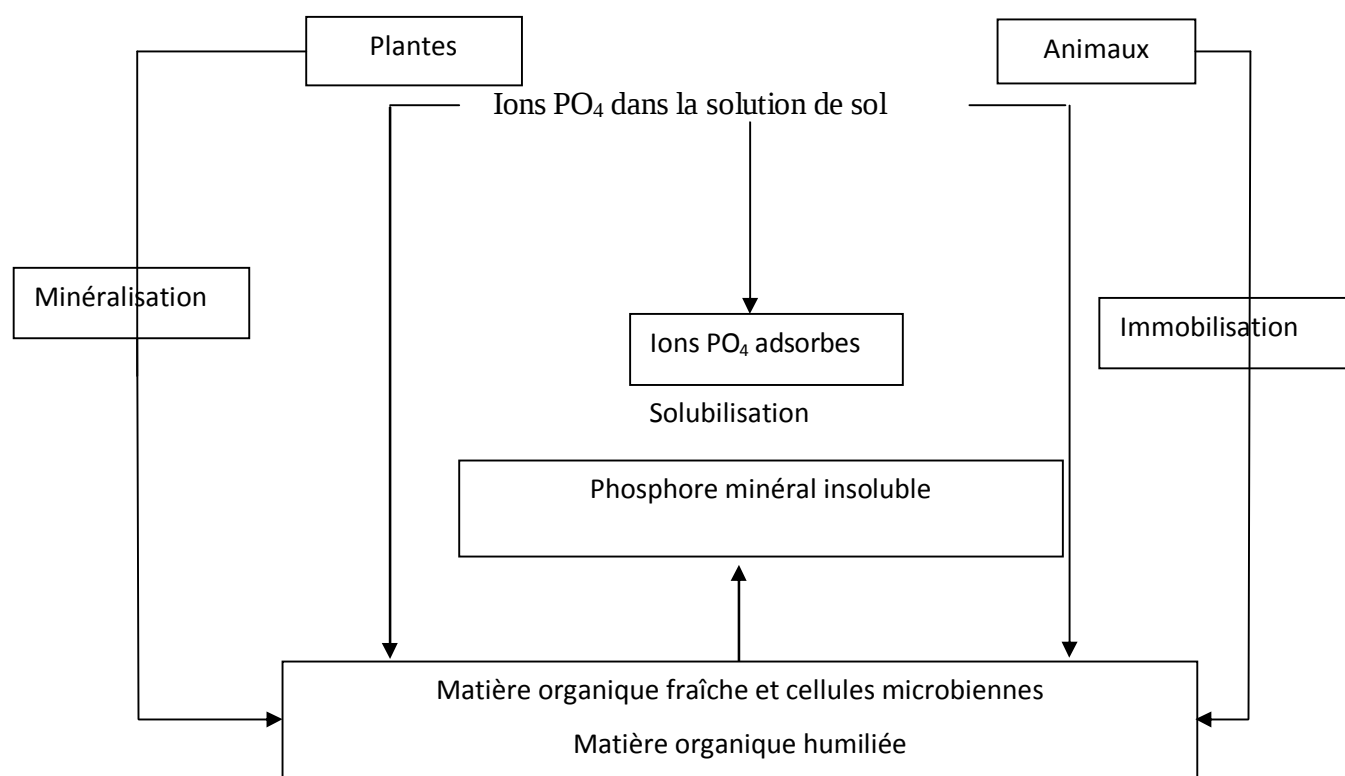


Fig.2: Transformation biologique du phosphore D'après DOMMERGUES et MANGENOT (1970)

Divers mécanismes (autolyse de cellules ou excrétion d'orthophosphate) restituent le phosphore sous la forme assimilable directement, pouvant pénétrer dans la racine sans minéralisation (DUTHIL, 1973)

- Les formes de phosphore dans le sol

Le phosphore se trouve dans le sol sous diverses formes :

-Phosphore total

La teneur moyenne de la croûte terrestre en phosphore présent dans le sol est la conséquence réellement modifiée par certains processus caractéristiques de l'évolution du sol, tel que l'accumulation de la matière organique et le lessivage (GERVY, 1983 in KADI, 2003).

- Phosphore minéral

On peut distinguer trois formes suivant leur degré d'assimilabilité.

- Forme immédiatement assimilable = ions PO_4^{--} existant dans la solution du sol.
- Forme assimilable = ions PO_4^{--} absorbés à la surface des colloïdes du sol par l'intermédiaire des cations Fe^{++} , Ca^{++} et Al^{++} qui diffusent dans le sol.
- Forme non assimilable = phosphates tricalciques $(\text{PO}_4)_2\text{Ca}_3$, Hydroxyapatite $3(\text{PO}_4)\text{Ca}_3\text{COH}_2$ et carbonate apatite $3(\text{PO}_4)_2\text{Ca}_3\text{CaCO}_3$.

-Phosphore organique

Comme l'azote, le phosphore organique subit des cycles de minéralisation et d'organisation par la microflore

1.1.2.2.3-Le cycle du potassium

Le potassium joue un rôle dans le transport et le stockage des sucres dans la plante, favorise la photosynthèse et intervient dans l'équilibre acido-basique des cellules. Il régularise les échanges intercellulaires et renforce la plante dans ses résistances à la sécheresse et aux maladies (ANONYME, 2000).

La nutrition potassique stimule la prolifération et la pénétration en profondeur des racines (EDWARD, 1981 in AISSI, 1991).

La carence en potasse provoque une teinte verte foncée des feuillages, une décoloration bronzée et plus tard des nécroses (BITAM, 1990).

Le potassium se trouve en grandes quantités dans les organes jeunes en pleine croissance, alors que les organes âgés sont moins riches (HALITIM 1993 in CHELIHI, 2003).

-Les diverses formes du potassium dans le sol

- Potassium assimilable : Correspond au K fixé à la surface des colloïdes argilo-humiques et dissout dans la solution du sol à l'état des sels solubles (Chlorures, sulfates, nitrates).
- Potassium rétrogradé : C'est le K inclus entre les feuillets des argiles. Il représente 1-10 %

du potassium total (JOAO, 1977 in HAMDOUD, 1991).

- **Potassium échangeable** : Représente le K dissout dans la solution du sol. Sa teneur dépend de la nature du sol et du type des agriles.
- **Potassium non échangeable ou de réserve** : C'est le K contenu dans la roche mère et les minéraux primaires. Il représente 90 à 98 % du potassium total.

-Dynamique du potassium dans le sol

- Libération du potassium

Une fois rétrogradé, le potassium peut être libéré d'une manière lente. Il participe ainsi à l'alimentation de la plante à longue échéance.

La libération du potassium par les minéraux est accentuée par une forte teneur du sol en eau (JOAO, 1977 ; in HAMDOUD, 1991).

- Fixation du potassium :

Le K perd son état échangeable en passant à l'intérieur des feuillets, Une partie du potassium apportée au sol peut être également rétrogradée (BOSC, 1988, in HAMDOUD, 1991). Cette propriété de retenir des éléments nutritifs nécessaires à la plante est appelé « le pouvoir fixateur » d'un sol ou pF, exprimé par la relation $pF = \text{Taux d'argile} + 15$.

La concentration du potassium décroît lorsque la teneur en argile du type A est élevée.

- Minéralisation du potassium

Le potassium des résidus organiques (végétaux et animaux) est en grande partie soluble directement dans l'eau. Toutefois, on doit admettre que les microorganismes du sol interviennent pour minéraliser les fractions organiques renfermant le potassium à l'état combiné (GRIMME in CHELIHI, 2003) (fig.3).

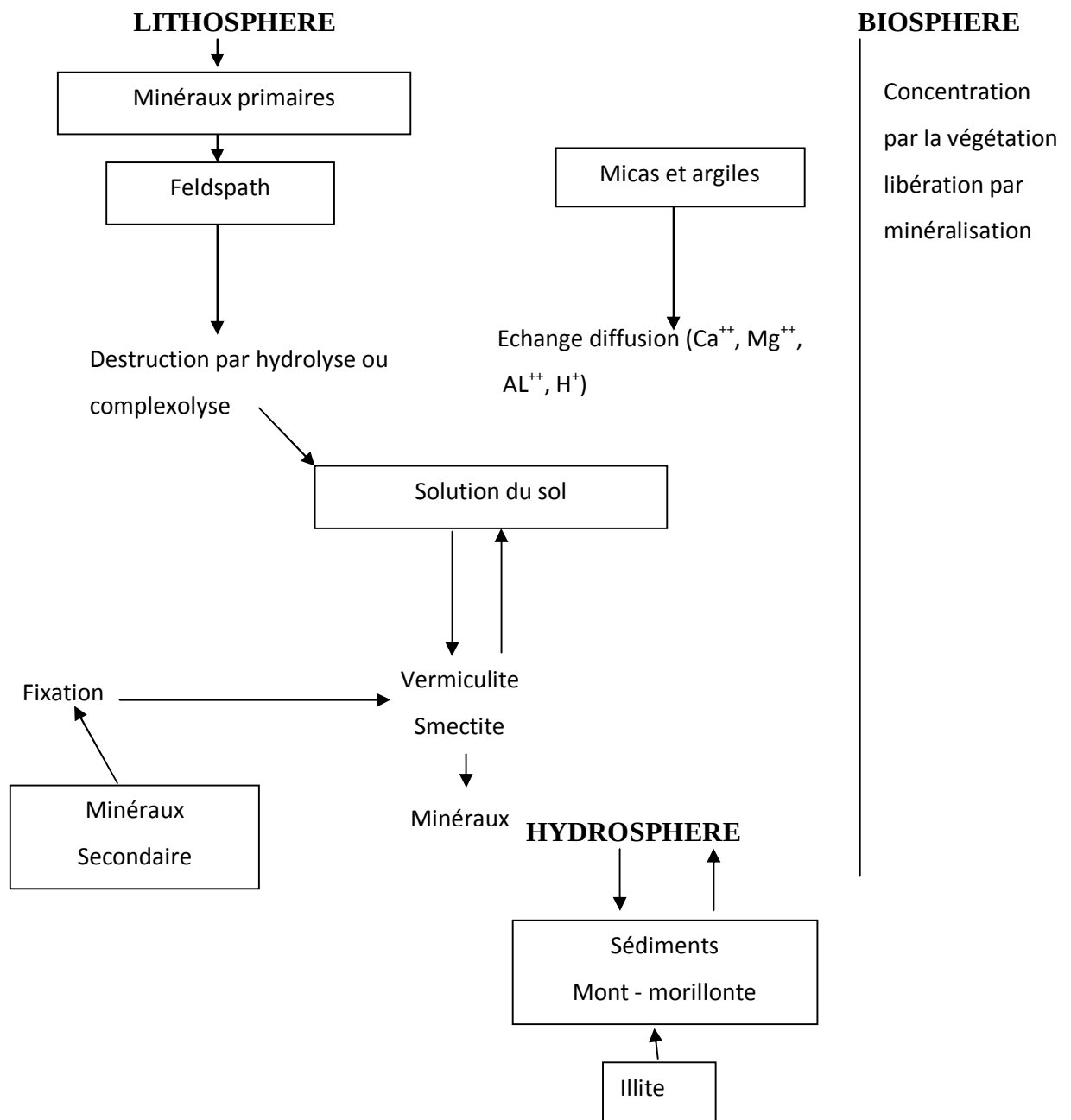


Fig.3: Minéralisation du potassium GRIMME in CHELIHI, (2003)

Chapitre II

La matière organique du sol

I.2 - LA MATIERE ORGANIQUE DU SOL

Le sol forme un des écosystèmes de la biosphère les plus riches en matière organique. Cette dernière provient de l'activité de tous les organismes vivants, animaux (déjections, cadavres....) et végétaux (feuilles, exsudats) (DAVET, 1996 ; MOREL, 1996).

Les végétaux captent l'énergie solaire et la transforment en biomasse végétale par le biais de l'assimilation chlorophyllienne. Une partie de cette biomasse végétale va être incorporée au sol, puis utilisée par les micro-organismes qui s'y trouvent. Elle joue un rôle important dans l'orientation de la pédogenèse (TOUTAIN, 1987).

1.2.1-définition

La matière organique peut être définie comme étant une matière carbonée provenant d'êtres vivants végétaux et animaux. (MOREL, 1996).

DUCHAUFOR (1977) avait désigné sous le terme de matière organique, les débris végétaux de toute nature qui arrivent au sol (feuilles, écorces, fleurs, Fruits); l'ensemble constitue la litière (MANGENOT, 1980) ou la matière organique fraîche (BERTELIN et TOUTAIN, 1979).

Les auteurs russes désignent par l'expression " Matière organique " l'ensemble des feuilles, fleurs, écailles, fruits, graines et petites branches (RAPP, 1971).

1.2.2-Les différentes fractions de la matière organique :

1.2.2.1. Matière organique fraîche

C'est l'ensemble de débris végétaux qui arrivent au sol. Elle est constituée par des éléments peu décomposés que l'on peut individualiser facilement (MOREL, 1996 ; PREVOST, 1990).

Pour TOUTAIN (1984), les résidus animaux (déjections et cadavres) constituent une autre forme de matière organique fraîche, car ils contiennent des substances chimiques (sucres, amidons, protéines) facilement biodégradables par les micro-organismes et d'autres (lignines, polyphénols) difficilement décomposables.

1.2.2.2- Matière organique transitoire

Sous l'action des micro-organismes du sol, la matière organique fraîche se décompose est aboutie à la formation des sucres, des acides organiques et aminés et de la cellulose. (TOUTAIN, 1979 et MOREL, 1996).

1.2.2.3.-Matière organique très polymérisée

Ce sont des composés organiques de nature colloïdale et de couleur sombre. Ils sont complexes et beaucoup plus stable. Ils sont liés à la matière organique et sont difficilement décomposables par les micro-organismes.

1.2.2.4- Les produits intermédiaires

Ils sont inclus dans les éléments microbiens du sol. PREVOST et LEGRORU (1990) et CHAFFER (1987), in BENSID (1989) les séparent en deux grandes fractions

- **La fraction humique d'aspect amorphe**

Elle est de couleur brun noir, hydrophile à caractère colloïdal, et chimiquement très stable.

- **La fraction non humique :**

Elle regroupe la cellulose, les lignines, les oligosides, protéines, peptides, lipides, cires, résines et pigments.

La nature de la matière organique joue un rôle important dans la détermination des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et par conséquent sa fertilité (DOMMERGUES et MANGENOT, 1970). Elle est subdivisée en quatre grandes classes dont la nature et la quantité exercent un effet direct sur les caractéristiques du sol (tableau 1)

Tableau 1 : Les grandes classes de la matière organique dans le sol (ROGER et GARCIA, 1993, in TEMAGOULT, 2005)

Edaphen	Organismes vivants (microflore, micro-faune, misofaune
M.O fraîche sensu stricto =.Apports = M. O non décomposée	Litières, feuilles et racines mortes, tiges et brindilles, exsudats racinaires, biomasse microbienne morte, cadavre d'animaux
Matière organique non humifiée = "Humus" libre = M.O labile. = M.O en cours de décomposition et d'humification.	Fraction légère à C/N élevé, facilement biodégradable, pouvant être séparée des argiles par des moyens physiques. Cette fraction s'identifie souvent avec les litières en décomposition
M.O humifiée = Humus sensu stricto	Fraction dense à C/N voisin de 10, plus ou moins résistante à la biodégradation, liée aux argiles et non séparable de celles-ci par les moyens physiques. Elle Comprend les acides fulviques et humiques et l'Illumine

1.2.3- formes de la matière organique

Selon BAISE et JABIOL (1995), la forme, la nature et l'évolution de la matière organique sont intimement liées aux conditions pédologiques du sol. Cette matière organique peut prendre les formes: avec débris ou résidu, sans débris reconnaissable non liée à la matière minéral, non directement identifiable et sous forme de revêtement.

1.2.3.1- Matière organique sous forme de débris ou résidus

Ces débris n'ont pas encore subi de transformations ou d'ingestions complètes par la faune du sol. Ils diffèrent par leur nature (Paille, herbes, fumier, feuilles, etc..), leur vitesse de décomposition et leur rôle dans le bilan humique.

1.2.3.2- Matière organique sans débris reconnaissables non liées à la matière minérale (matière organique fine)

Ce sont des amas millimétriques caractérisés par leur couleur brun noir, brun rougeâtre ou noire. Ils sont doux au toucher, légers et tachent les doigts. Les structures végétales ne peuvent être reconnues à l'œil nu.

1.2.3.3- Matière organique non directement identifiable

Ce type de M.O est désigné lorsqu'à l'œil nu on ne peut distinguer une forme spéciale de résidus ou d'amas organiques. Seuls les critères de couleur et pour les horizons qui sont très riches des critères de consistance, permettent de déceler la présence de la matière organique.

Selon NKUNDIKIJE-DESSEAUX et al. (1976), la décomposition des débris végétaux (écorces, racines, troncs) qui se trouvent au niveau du sol sous l'effet des micro-organismes constituent la source principale de la matière organique et donnent naissance à un complexe appelé "Humus".

Les origines de la matière organique sont multiples : Débris végétaux (feuilles mortes, brindilles, fruits), résidus de culture, biofaune du sol, micro-organismes (Bactéries, moisissures, pluviolessivats, amendements organiques apportés par l'homme, exsudats racinaires).

1.2.3.4- Matière organique sous forme de revêtement

Il s'agit des matières organiques des horizons podzoliques ou des molécules organiques qui après migration verticale sous forme soluble liée au fer et à l'aluminium, se déposent sur les particules minérales.

1.2.4. Différentes catégories de substances organiques du sol

D'après MOREL (1996), l'évolution de la matière organique dans le sol conduit à établir les catégories suivantes :

1.2.4.1-Organismes vivants constituant la biomasse

Ils représentent les racines, la faune du sol, la micro-population (bactéries, champignons, algues, etc....).

1.2.4.2- Organismes morts en voie de dégradation

Cette catégorie renferme pour une très large partie des débris végétaux demeurés sur le sol lui-même ou bien incorporés dans ce dernier après leur transformation en fumier. Ces débris perdent progressivement leur structure externe et interne dès qu'ils sont atteints par les processus évolutifs.

1.2.4.3-Composés organiques des chaînes réactionnelles de la minéralisation

Ils Possèdent une nature et une biomasse moléculaire très diverse appartenant aux groupes bien connus de la chimie organique et de la biochimie.

1.2.4.4- Substances humiques

Elles diffèrent des substances précédentes par leurs caractéristiques structurales. Elles sont régulièrement rencontrées dans le sol.

1.2.5- Dynamique de la matière organique

La végétation fournit des débris végétaux qui sont la source principale de la matière organique. Ces derniers subissent des transformations en humus et en composés minéraux sous l'influence de la microfaune et la microflore. Cette transformation d'origine biologique prend le nom d'*Humification*.

La vitesse de l'humification dépend de l'activité biologique conditionnée par la température. En effet :

- En milieu biologiquement peu actif, la décomposition des litières est lente (nécessite jusqu'à 20 ans pour qu'elle soit complète). Dans ces conditions, l'horizon organique A₀ brun noir, fibreux et acide est bien distinct. Le type d'humus qui résulte est de type "MOR".

- En milieu plus actif, l'horizon A₀ est moins épais. L'humus qui évolue est de type "MODER ".

- En milieu très actif, la décomposition est très rapide. L'horizon A₀ disparaît et l'humus est incorporé dans la fraction minérale en complexe organo-minéral et il est de type "MULL" (DUCIHAUFOUR, 1983 et MOREL, 1996).

1.2.6- rôle de la matière organique

La matière organique joue un rôle important dans le fonctionnement de l'écosystème forestier, car elle participe à la cohésion physique, ainsi qu'aux équilibres biologiques et nutritionnels des plantes (MOREL, 1996).

Elle joue également un rôle essentiel dans la réserve nutritive, la capacité hydrique, le pouvoir tampon et l'amélioration physique du sol (ANANDANA, 1998). Sa décomposition donne naissance à des éléments majeurs (N, P, K, C, H, O, Na, Ca, Mg et Mn).

Pour DUCHAUFOUR (1984), la matière organique joue un rôle triple dans le sol :

- Stimulation de l'activité microbienne du sol et en grande partie le pH et le cycle des éléments.

- L'altération des substances minérales.

- Les mouvements des éléments minéraux au sens du profil (perte par drainage).

DENIS BAISE et DJABIOL (1995) ont attribués à cette matière organique plusieurs rôles, parmi lesquels :

- La formation de formation des agrégats aboutissants à la création de complexe organo-minéraux.

- Elle est considérée comme un réservoir d'éléments minéraux plus particulièrement l'azote.

- L'élaboration d'une meilleure structure des sols, de la porosité, et de ce fait une bonne aération.

- La cohésion (ciment) entre les constituants de sol (sable- limon- argile).

La matière organique facilite l'obtention d'un état structural stable du sol (BIOFFIN et al, 1990) et elle est considérée comme un réservoir énergétique riche en carbone et en hydrogène (MOREL, 1996).

1.2.7- La teneur des sols en La matière organique

Dans un écosystème équilibré, les apports en matière organique au sol sont équivalentes aux pertes, puisque la biomasse doit rester constante (les pertes doivent être exactement balancées par les apports) (DOMMERGUES et MANGENOTS, 1970).

Les matières circulent dans le sol dans le sens descendant, par infiltration des solutions, et dans le sens ascendant, par remontée capillaire et biologique (lombric, termites en climat tropical, racines) (MOREL, 1996).

Pour DAVET' (1996) l'apport de la matière organique au sol dans une forêt tempérée atteint plusieurs tonnes par hectare.

La teneur du sol en matière organique varie en fonction de l'espèce, du climat et la profondeur, car les horizons de surface représentent une teneur plus élevée en matière organique comparativement aux horizons de profondeur.

En 1991 MUSY et SOUTTER, ont signalés que la teneur des sols en matière organique passe de 10 %, voir plus pour les horizons superficiels des sols noirs à 0% dans les sols désertiques. On ce qui concerne les sols tourbeux, le taux de la matière organique est supérieur à 60 %.

Dans le contexte des forêts semi-arides, la teneur des sols en matière organique peut atteindre plusieurs kilogrammes par hectare (AISSI, 1989).

Chapitre III

Les retombées biologiques

1.3- LES RETOMBEES BIOLOGIQUES :

Les éléments minéraux retournent au sol par les retombées solides (les feuilles et les débris) et liquides comprenant, les pluviolessivats (eau d'égouttement et de ruissellement) et les eaux de pluies qui participent avec des quantités non négligeables (BONNEAU, 1992 ; GAUQUELIN et al, 1992).

1.3.1. Les retombées solides

1.3.1.1- Variation des retombées des feuilles et des débris ligneux

Lorsque la litière constituée essentiellement de feuilles, arrive au sol, elle enrichie sa réserve en éléments minéraux. La chute des litières varie en fonction de différents facteurs du milieu, comme le climat et l'espèce (MANGENOT et TOUTAIN, 1980). Les variations de la production de la litière d'une année à une autre et d'une région à une autre est due en grande partie à certains facteurs d'ordre climatique (températures, sécheresses, froids excessifs) ou/et biologiques (dégâts d'insectes ou cryptogamiques) (RAPP, 1974; OULEDRABAH, 1991).

Les litières rencontrées en sols tempérés varient selon les stations et les saisons, de quelques centaines de Kg à plusieurs dizaines de tonnes/ha (Station à mull, 2 à 20 t/ha /an, station à Moder, 10 à 50 t/ha/an) (TOUTAIN, 1987).

Concernant les diverses zones climatiques, DOMMERGUES (1971) rapporte les masses des retombées solides suivantes:

- Zone tempérée et méditerranéenne : 2,5 à 40 T/ha/an.
- Zone tropicale sèche et semi-aride : 5 à 11T/g/ha/an.
- Zone tropicale humide : 10 à 12T/ha/an

Dans les différentes régions climatiques du globe, BRAY et GORHAM (in TOUTAIN, 1987a et b) rapportent la quantité des feuilles tombées par an.

- Forêts sous climat tempéré frais 3 T/ha/an
- Forêts sous climat tempéré chaud 5 T/ha/an ;
- Forêts Alpines et Arctiques : 1.0 T/ha/an.
- Forêts équatoriales : 10 à 15 T/ha/an

En Espagne, MARTIN et al. (1996) ont trouvé une production moyenne de litière de 1,9 T/ha/an dans une chênaie (*Quercus rotundifolia*).

Dans les Aurès, AISSI (1989), a obtenu 0.63 (station S'gag) et 1.14 (Theniet-El-Gontos) T/ha/an de litière dans une cédraie. Dans le même contexte, BOURAS (1990) rapporte que sous une cédraie à Chêne vert des Aurès, les retombées des litières sont de l'ordre de 0,11 T/ha/an. Par ailleurs, les feuilles représentent 53 %, le bois 24 % et les fruits et les inflorescences 23 % de la litière globale.

1.3.1.2- Importance des éléments biogènes restitués au sol

GAUQUELIN et al. (1992) en travaillant sur le genévrier thurifère dans le haut Atlas occidental marocain pendant 2 ans, trouvent que la quantité d'éléments majeurs (Ca, Mg, K, Na et N) restitués au sol par la litière est de 333 Kg /ha de couvert / an et 17,7Kg/ha/an pour les micro-éléments. Le classement établi des différent éléments par ordre d'importance est : $Ca > N > K > Fe-Mg > P > Na-Mn$

L'étude effectuée par GALLARDO et al. (1998) sur 4 chênaies à *Quercus pyrenaica* et une châtaigneraie à *Castanea sativa* en Espagne (station de San Martin) a permet d'évaluer à 127 Kg/ha/an la quantité des macro-éléments (N, P, Ca, Mg et K) et 6.6 Kg/ha/an celle des micro-éléments (Na, Fe, Mn, Cu et Zn). Le classement obtenu est : $K > Ca > Mg > Na > N > P > Zn > Mn > Fe > Cu$

3.1.3- Dynamique des litières forestières

Les végétaux (producteurs), organismes majoritairement autotrophes font la synthèse de la matière vivante à partir du CO₂ et des éléments biogènes (N, P, K, ...). Cette matière vivante, selon une échelle de temps variable, retourne au sol sous forme d'exsudats et de débris végétaux et animaux (MANGENOT, 1980). Ces résidus vont subir dans les conditions pédoclimatiques spécifiques, des phénomènes de transformation et de biodégradation (OLAH et al, 1978).

3.1.3.1. La décomposition des litières

Elle désigne la disparition plus ou moins rapide de la matière organique végétale sous l'effet de la microflore ou microfaune enfouie au sein des horizons minéraux (DUCHAUFOR, 1968 et 1988).

Le taux de décomposition des litières dépend de la composition chimique des espèces, de l'activité biologique, du climat (STAMON, 1994 ; LEONARDI, 1996 ; ORGEAS et al.

1998) et des propriétés du sol (pH, température, humidité) (ROSEL et CHASSIN, 1998). Ces facteurs agissent directement sur le recyclage et la décomposition de la matière organique.

Dans les forêts de feuillus, où le pH du sol est élevé, la matière organique a tendance à s'incorporer au sol, mais lorsque la litière est constituée d'aiguilles de conifères la matière organique a tendance à s'accumuler (DOUG, 2003).

En présence des micro-organismes, l'accumulation de la matière organique à la surface du sol est moins importante, car ces derniers interviennent en accélérant les processus de la décomposition (TOUTAIN et al., 1998).

La vitesse de recyclage des éléments nutritifs représente un indice efficace de la production de l'écosystème forestier: Plus ses transformations sont rapides, plus le recyclage des éléments nutritifs contenus dans les litières est efficace et plus grande est la productivité forestière (TOUTAIN, 1987). La décomposition de la litière est beaucoup plus rapide dans les milieux à forte activité biologique (DUCHAUFOR, 1983 ; STAMON, 1994).

Pour les conifères, la vitesse de décomposition des litières diminue avec le temps, ce qui explique sa dépendance vis à vis des conditions écologiques (le climat, le type de sol, le type d'humus et l'espèce) (GLOAGUEN et TOUTAIN, in DHIMI, 1993).

Globalement, plus les tissus végétaux sont imprégnés ou incrustés de lignine plus leur décomposition est lente (POCHEN et TACHAN, 1948, in BOUKERKER, 1997).

DENNY et al. (1949), OLSON (1963) et MANIL et al. (1949), in BOUKERKER (1997) ont proposé un facteur de décomposition désigné sous le nom de DENNY évalué par la formule :

$$\frac{A}{L + A}$$

Avec : A = apport annuel de litières
L = Stock de litière au sol à un instant donné t

1.3.1.3. Les principaux processus évolutifs des litières

D'après DOMMERGUES et MANGENOT (1970) une partie de la matière organique qui arrive au sol est incorporée à la biomasse du sol, une autre est minéralisée et une troisième partie est humifiée, ce qui donne naissance à une matière organique relativement stable. Une partie de cette dernière est à son tour partiellement minéralisée.

1.3.1.3.1. La minéralisation

Dans l'écosystème forestier, la minéralisation est un processus fondamental dans la dynamique des bio-éléments. Elle se produit sous l'action des micro-organismes du sol. (BENSLAMA, 1997) et permet le retour du carbone et des autres éléments sous forme inorganiques et donc à nouveau utilisable par les végétaux (TISSAUX, 1996).

Selon DUCHAUFOR (1983), il y aurait une minéralisation primaire et une autre secondaire, qui affectent surtout les substances humiques.

1.3.1.3.1.1- La minéralisation primaire

C'est la transformation des composés simples qui proviennent de la décomposition microbienne des molécules complexes de la matière organique fraîche, aboutissant à la formation de composés minéraux solubles ou gazeux (DUCHAUFOR, 1988).

La dégradation de la matière organique conduit à la formation d'un certain nombre de composés solubles ou insolubles, résultant du métabolisme des sucres simples (glucose, fructose, lactose, amidon, etc....) ou complexe (Cellulose, lignines, etc....) et celui des matières organiques (TISSAUX, 1996).

1.3.1.3.1.2- La minéralisation secondaire

Cette minéralisation est très lente à cause de la forte association entre les minéraux et les composés humiques (DUCHAUFOR, 1983).

Le taux de la minéralisation secondaire varie avec la nature des liens organo-minéraux (DUCHAUFOR, 1988).

1.3.1.3.2. L'humification

La synthèse des substances nouvelles à partir des débris végétaux et animaux est appelée *Humification*. C'est un processus indispensable à la fertilité du sol. Il a un effet sur la formation de complexe adsorbant et sur l'amélioration de sa structure (MANGENOT, 1980).

BENSLAMA (1997) signale que les constituants cellulaires et une fraction des produits de métabolisme sont difficilement biodégradables, en raison de leur

polycondensation ou de leurs liaisons organo-métaboliques, beaucoup plus résistantes (liaison avec les ions métabolique). Ces constituants représentent l'humus au sens strict. A chaque formation végétale correspond un mode d'humification qui est en équilibre optimum avec des facteurs du milieu (bioclimat et roche mère) (SELM, 1985).

Le devenir de des débris végétaux et animaux est représenté par la (fig4).

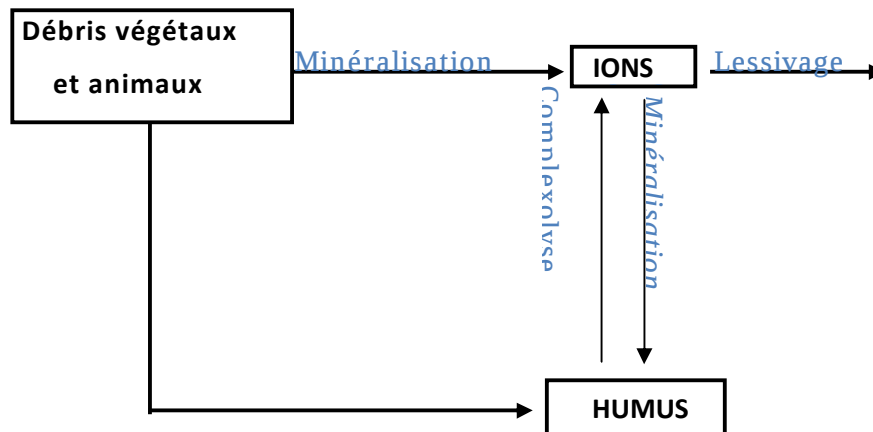


Fig.4 : Devenir de la matière organique d'après MOREL (1996)

1.3.1.3.3. L'humus

La formation des humus résulte d'un certain nombre de processus biochimiques qui interviennent sur la transformation de la matière morte (TISSAUX, 1996).

C'est un composé organique stable, à noyaux aromatique riche en radicaux libres. Il comprend des acides fulviques, humiques et les humines. Son type dépend des caractères de la végétation et du climat (TISSAUX, 1996).

L'humus désigne aussi la fraction des matières organiques qui reste dans le sol après décomposition de la plus grande partie de débris végétaux et animaux incorporés. Ces matières ont généralement une couleur foncée (FAO, 2004).

3.1.3.3.1- Les constituants de l'humus

L'humus au sens large, est constitué de matière organique non humifiée ou « humus libre » et celle humifiée ou « humus lié » (DOMMERGUES et MANGENOT, 1970).

«L'humus libre » est une fraction facilement biodégradable et faiblement aux argiles.

«L'humus lié » c'est l'humus au sens strict. Il est difficilement biodégradable et fortement lié aux argiles. Il contient les 3 fractions humiques suivantes :

- Les acides fulviques : Ils possèdent un taux de carbone relativement faible. L'oxygène (présent sous forme de groupes fonctionnels responsables d'une acidité élevée) est abondant (DOMMERGUES et MANGENOT, 1970 ; TISSAUX, 1996). Ils sont formés de composés phénoliques à faible poids moléculaire, liés à des polysaccharides (DUCHAUFOR, 1991). Ils sont considérés à la fois comme précurseurs et produits des acides humiques (TISSAUX, 1996).

- Les acides humiques : Ce sont des polymères à haut poids moléculaire chargés négativement, de couleur noire à brun foncé, résultant d'un processus de condensation oxydative des composés phénoliques. Ils sont riches en carbone mais pauvres en oxygène (TISSAUX, 1996).

- Les humines : Elles ressemblent beaucoup aux acides humiques. Leur particularité réside dans le fait qu'elles se trouvent en association très étroite avec les matériaux inorganiques. Elles correspondent donc à la partie non extractible de la fraction humifiée (TISSAUX, 1996).

1.3.1.3.3.1. Les principales formes d'humus

La forme de l'humus est un reflet fidèle de l'ensemble des activités biologiques, elles mêmes conditionnées par l'ensemble des facteurs écologiques. c'est pourquoi la forme de l'humus constitue un très intéressant critère de classification des stations naturelles (DOUC, 2003).

Suivant les conditions de saturation par l'eau, on distingue trois ordres d'humus : Les humus submergés, semi-terrestres et terrestres. Les subdivisions sont basés sur l'importance relative des périodes d'aération ou d'engorgement par l'eau, de la nature des matières unifiables (type de végétation) et de l'acidité du sol (ANONYME, 2003).

1.3.1.3.3.1.1. Les formes d'humus aérés ou terrestres

- Les mulls : ce sont des humus de bonne qualité des forêts feuillus sur sol suffisamment riche et peu acide, caractérisé par une disparition rapide des débris organiques apportés en surface, une formation abondante de complexe argilo-humique et par une minéralisation rapide (DOUG. 2003).

- Les moders : ce sont des humus acides que l'on rencontre principalement dans les forêts résineux de montagnes ou les forêts feuillus de plaines en voie de dégradation.

La succession des horizons est de type OL, OF, OH, le passage entre les horizons O et A est très progressif.

La destruction de la litière est due principalement à la mésofaune et à la macrofaune de surface, donc l'incorporation et la dégradation sont faibles.

Le pH est très acide (< 4.5), C/N est : 18 à 25 en A, jusqu'à 30 en OH, le taux de minéralisation est faible, il regroupe les types suivants :

- Hemimoders
- Eumder ou mode typique
- Dysmoder.

- Les humus Mors : Ils ont un faible niveau trophique, un pH très bas (< 4.5) et un taux de minéralisation très faible. De plus l'humus Mor constitue un obstacle à l'infiltration de l'eau et il est défavorable à la germination.

Dans les sols où l'humus est de type Mor, la transition très brutale entre l'horizon OH est l'horizon sous-jacent est un critère diagnostique important. L'horizon OH peut présenter des épaisseurs importantes, allant de quelques cm à plus de 50 cm.

La transformation de la matière organique est très lente et faible, les échanges entre les horizons organiques et minéraux quasi-nuls, l'incorporation de la matière organique au sol minéral ne peut se faire que par diffusion de ses composés (ANONYME, 2003).

1.3.1.3.3.1.2. Les formes d'humus hvdromorphes

Ce type d'humus se développe dans des sols plus ou moins soumis à un engorgement temporaire ou permanent, le plus souvent en rapport avec le battement de la nappe phréatique (ANONYME, 2003).

Les différentes formes d'humus hydromorphes sont : l'humus hydromull, hydromoder, hydromor, Anmor et les tourbes.

3.1.3.3.3- Le rôle de l'humus

L'humus joue un rôle primordial dans la dynamique des écosystèmes (TISSAUX, 1996). Il exprime l'action de la végétation sur le sol et oriente la pédogenèse (DUCHAUFOR, 1980).

L'humus au sens large joue d'abord un rôle biologique important dans la nutrition des végétaux, grâce au processus de minéralisation. Il joue aussi deux rôles majeurs sur les propriétés physico-chimiques du sol, comme la capacité d'échange cationique ou la rétention en eau. L'humus peut contenir jusqu'à vingt fois son poids en eau, donc

la rétention en eau s'accroît quand le contenu en colloïdes organiques augmente. La formation d'agrégats est fortement corrélée à la teneur en matière organique du sol (TISSAUX, 1996).

Par ailleurs, l'accumulation de l'humus à la surface du sol peut affecter l'écosystème forestier en immobilisant les éléments nutritifs qui deviennent inaccessibles aux plantes (DOUG, 2003).

1.3.2-Les retombées liquides

1.3.2.1 Le phénomène de pluvioléssivage

Le pluvioléssivage représente l'entraînement de dépôts de poussières atmosphériques sur la végétation par les précipitations (RAPP, 1969) et aussi d'éléments minéraux libérés par sécrétions foliaire (FORGEARD, GLOAGUEN et TOUFFET, 1979).

Pour MANGENOT et TOUTAIN (1980) in PESSON (1980), le pluvioléssivage correspond à l'entraînement par les pluies des produits sécrétés par les feuilles, ainsi qu'une part importante de la microflore phyllosphérique (bactéries, levures, champignons filamenteux...) et des poussières atmosphériques collées sur les feuilles.

Les pluies après avoir atteint le feuillage, les rameaux et les tiges, une partie arrive directement au sol (eau d'égouttement), une autre a tendance à s'écouler le long des branches et des troncs (eau d'écoulement), une autre fraction encore est arrêtée par la couverture végétale (interception) (RAPP,1989).

Le tableau 2, illustre la quantité des différents éléments minéraux restitués au sol par les eaux de pluie dans quelques régions du globe

Tableau 2 : Apport au sol d'éléments minéraux par les eaux de pluie dans différentes régions du globe en Kg / Ha / an (Référence RAPP, 1989)

Pays	Auteur	Na	K	Ca	Mg	P	N	Total
Suède	Nihogard (1970)	5.6	1.9	3.5	0.91	0.07	8.2	20.18
Grande Bretagne	Allen et al (1968)	44.3	3.4	6.6	5.3	0.3	9.1	69
	Carlisle (1966)	35.3	3.0	7.3	4.6	0.4	9.5	60.1
	Gore (1968)	32.0	2.3	9.5	4.5	0.3	8.1	56.9
Nouvelle Zélande	Mili.Er (1961)	59.4	7.4	12.5	8.2	0.2	3.1	90.8
France (Montpellier)	Rapp (1971)	22.6	2.0	10.3	1.5	1.0	14.6	52.2
Algérie (Aurès) :	Tounsi (1990)							
- Sgag		12.69	8.6	13.52	3.52	1.14	14.0	53.47
- Theniet El Kantas		15.12	7.68	9.53	5.0	1.59	9.25	49.66

1.3.2.1.1- interception

C'est la partie des précipitations qui est retenue par la végétation (RAPP, 1971).

$\text{Interception} = \text{pluie incidente} - (\text{égouttement} + \text{écoulement})$

AUSSENAC (1988) in PESSON (1980) a constaté que dans un peuplement à couvert clair à l'interception du peuplement principal, vient s'ajouter l'interception du sous bois.

L'eau interceptée est divisée en deux fractions : Une petite absorbée au niveau des feuilles et une plus grande évaporée (FORGEARD, 1977). La première partie contribuerait à améliorer le rendement photo-synthétique des arbres, la deuxième modifierait le climat (AUSSENAC, 1988).

Plusieurs facteurs influent sur l'interception des eaux pluviales. OVERTON et al. (1968) in FORGEARD et al. (1980) citent : L'espèce considérée, la structure du peuplement et l'intensité et la durée des précipitations. AUSSENAC (1988), ajoute deux autres facteurs : L'âge du peuplement et le vent.

1.3.2.1.2- L'égouttement

On appelle eau d'égouttement, la fraction des précipitations qui traverse la couronne des arbres, soit directement, soit après interception par les rameaux (LEMEE, 1974).

Comme l'interception, l'égouttement est sujet aux variations liées à la durée et l'intensité des précipitations, la vitesse du vent, l'essence considérée et la densité du peuplement (AUSSENAC, 1970 ; in PESSON, 1980), ainsi qu'à l'âge du peuplement (LEMEE, 1974)

1.3.2.1.3- L'écoulement

On appelle eau d'écoulement, la fraction des précipitations qui s'écoule le long des rameaux, des branches et des troncs et atteint le sol (RAPP, 1971).

Plusieurs facteurs influent sur l'écoulement (AUSSENAC, 1968 et 1970, in PESSON, 1980) comme, l'importance des précipitations, la grosseur des arbres, la densité du peuplement, l'intensité du vent et l'espèce considérée

La répartition des précipitations lors de leur passage à travers un couvert forestier est représentée par la figure 5.

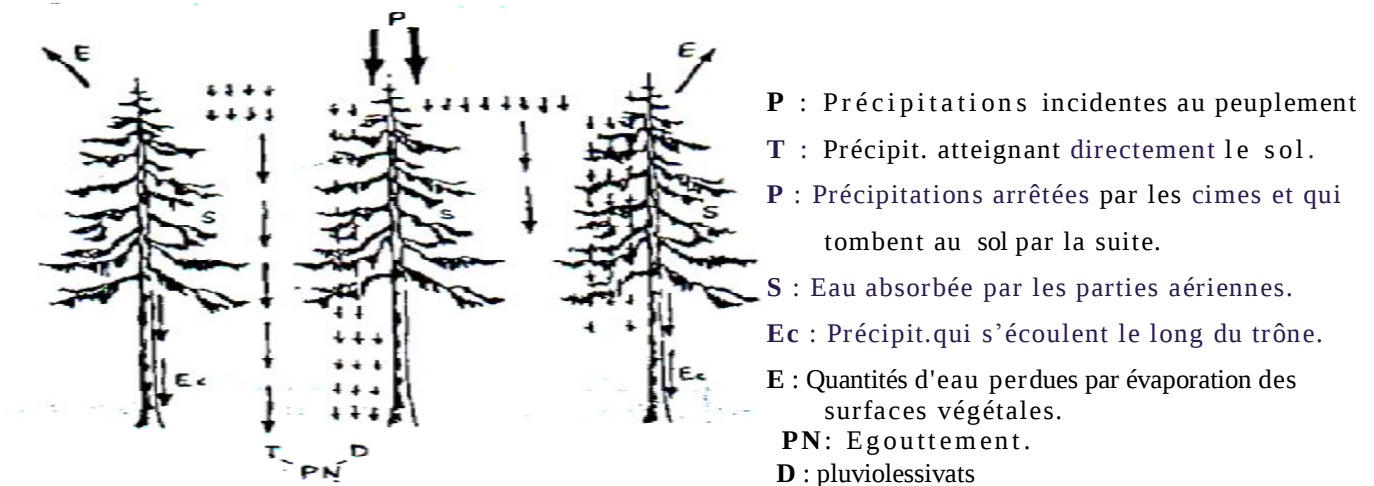


Fig.5: Décomposition du budget des précipitations dans un écosystème

1.3.2.2 - Apports des éléments biogènes par les eaux

d'égouttement

Le tableau3 illustre la quantité d'éléments pluviolessivés par égouttement dans différents pays et sous diverses essences.

Tableau 3 : Apports des éléments biogènes par les eaux d'égouttements dans différents pays et sous diverses essences (en Kg/ha/an).

Pays	Auteur	Essence	Na	K	Ca	Mg	P	N	Total
URSS	Sviridova (1960)	Chêne et hêtre	-	0,3-3,3	3,5-6,0	0,1-1,6	0,1-0,3	0,7-10	
Allemagne	Grunert (1964)	Hêtre et Pin	-	29	50	12	2,2	11	
Grande Bretagne	Madgvick et Ovinngtom (1959)	Quercus petraea	19 - 21	12-22	14-15	07	-	-	61,6
	Carkoske (19661.	Quercus, rubra) Quitus petraea	- 20,2	- 25,1	- 9,9	- 4,8	- 0,9	- 0,7	
	Carlisle (1966)	Quercus	35,3	3,0	7,3	4,6	0,4	9,5	
Belgique	Dfnaeter-de smet	Quercus robur	2,7	27,2	26,2	-	-	-	
Nouvelle zélande	Miller (1961).	Nothofagus	1,2	24,4	6,0	2,2	0,3	-	
Australie	Attivill (1966)	<i>Eucalyptus obliqua</i>	8,0	11,5	5,5	1,5	0,3		
France	Lemee (1974)	Fagus sylvatica	-	-	-	-	-	-	93,5
		-Gaulis	-	11,53	15,29	6,16	0,29	14,18	
	Aussenac (1972)	-Vieille futaie	-	36,53	28,39	11,58	0,88	19,21	
		Picia abies	28,5	21,6	23,3	3,6	1,6	14,9	
- Nancy	Rapp (1971)	Quercus Ilex	42.9	40.1	37.9	8.9	3.8	23.9	156.1
- Montpellier									
Suède	Nihlgard (1970)	<i>Fagus sylvatica</i>	13,7	9,9	9,0	3,0	0,11	8,5	44,21
Algérie	Tounsi (1990)	<i>Cedrus atlantica</i>	8,40	15,21	17	13,85	1,16	6,50	62,12
- S'gag (Aurès)									
-Then.-El Kantes			21,39	19,42	17,51	7,65	2,46	14,26	82,69

(RAPP, 1971 in FORGEARD,1977)

RAPP (1971) sous chêne vert et DENAYER DES SMET (1989) in LEMEE (1974) dans une chênaie mixte ont constaté que l'apport total par écoulement est de l'ordre du quart de l'apport total par égouttement.

1.3.2.3 Origine des apports des éléments biogènes

- L'azote : Les origines de cet élément seraient (VILLECOURT et ROOSE, 1978):

- Origines marines
- Pollution industrielle
- Poussières
- Feux de forêts

LEMEE (1982) a pu remarquer, que l'azote provient du végétal à partir des branches mortes et que l'apport d'azote est important en phase defeuillée qu'en phase feuillée.

Il provient aussi de la fixation par les micro-organismes (OVINGTON, 1968 in DUVIGNEAUD, 1982).

- Le potassium : Il a deux origines possibles (RAPP, 1989) :

- Il est sécrété en forte quantité pendant la période de chute des feuilles et la poussée des jeunes feuilles.
- Il provient aussi d'excréments d'oiseaux

FORGEARD, GLOAGUEN et TOUFFET (1979) rapportent que le potassium provient également des poussières atmosphériques mais en faible quantité.

- Le sodium : FORGEARD et al. (1980) ont constaté que le sodium a une seule origine qui est marine.

- Le calcium: Cet élément est sécrété par le végétal mais en faible quantité (L'AUSBERG, 1935 in FORGEARD,1979). Il provient surtout des poussières atmosphériques (RAPP, 1969).

-Le phosphore : Comme le calcium, il provient des poussières atmosphériques (OVINGTON ,1968 in DUVIGNEAUD, 1982).

Deuxième partie

Matériel et méthodes

2- Matériel et méthodes:

2.1- Situation et caractéristiques des zones d'étude

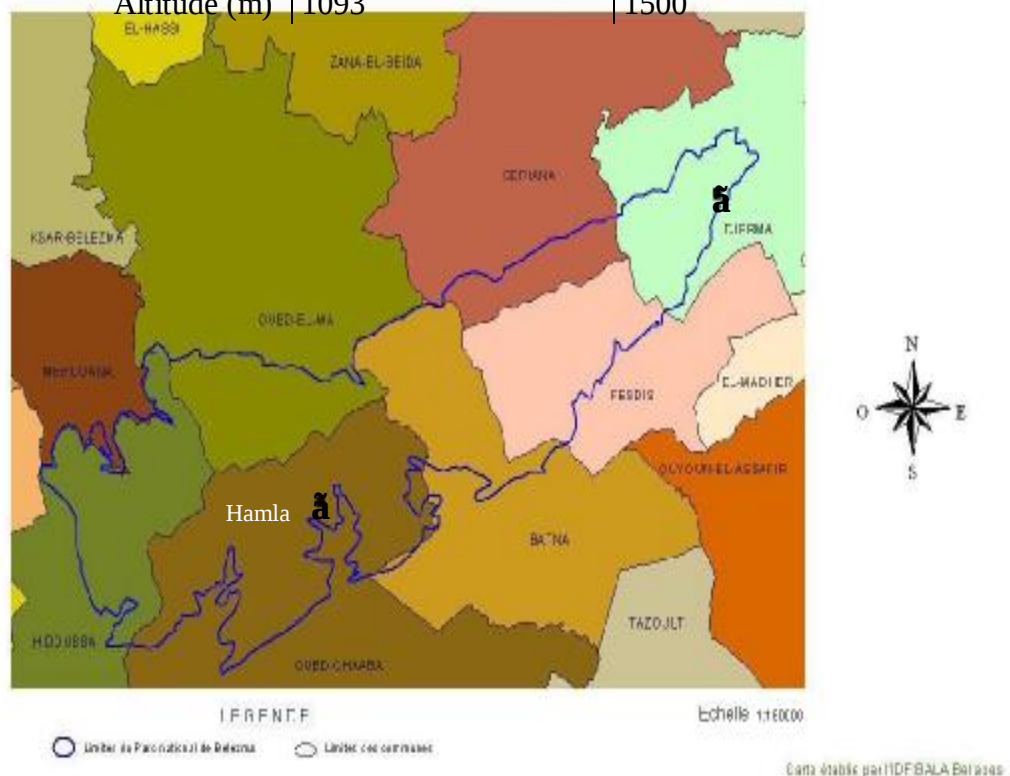
2.1.1-Situation géographique

Les deux zones concernées par la présente étude sont connues sous l'appellation de «*Djerma et Hamla* ». Elles font partie de la forêt domaniale du *Belezma* qui couvre une superficie de 61.000 ha dont 26250 ha constituent l'aire du parc national qui porte le même nom, créé en 1984 (fig.6).

Plus précisément, la zone « Djerma » est située à 100 m du parc animalier Djerma, dans la partie centrale du *Djebel Boukarchouch*, à 12 Km au Nord-Est de la ville de Batna. La station « *Hamla* » se trouve dans la partie centrale du *Djebel Tugurt*, à 4 Km au Nord-ouest de la commune HAMLA et à 12 Km au Nord-ouest de la ville de BATNA.

Les coordonnées géographiques des deux stations sont :

Stations	Djerma	Hamla
Latitude	35° 22'40" à 35°37'46"	35° 5'
Longitude	5° 55' 10" à 6°10'45'	6° 2'
Altitude (m)	1093	1500



a Zones d'études

Fig.6 : Situation géographique des zones d'étude Hamla et Djerma

2.1.2- Caractéristiques géologiques et pédologiques

Sur le plan géologique, la pinède de Djerma est assise sur des marnes calcaires du crétacé supérieur (BEGHIANI, 2006). Les sols sont de type brun plus ou moins calcaire et des rendzines dolomitiques (ABDESSAMED, 1981). Le relief est relativement moins accidenté (pente de 20-25 %).

Le site Hamla repose sur des calcaires dolomitiques du crétacé inférieur (ABDESSEMED, 1981) et ses sols sont également de type brun calcaire peu évolués et superficiels (BEGHIANI, 2006). L'érosion est intense en raison de la pente forte (60 %).

2.1.3- Les formations végétales présentes

Dans le site de Djerma, les peuplements de pin d'Alep présentent un meilleur développement (hauteur et circonférence) sur l'exposition nord, en comparaison avec l'orientation Sud.

Les principales formations rencontrées dans la pinède sont :

- § *Pinus halepensis* Mill. (pin d'Alep) (Principale espèce)
- § *Quercus ilex* (Chêne vert).
- § *Juniperus oxycedrus* (Genevrier oxycèdre)
- § *Stipa tenassissima* (Alfa)
- § *Globularia, Alypum* (La Globulaire)
- § *Ampelodesma mauritanica* (Le Diss)
- § *Rosmarinus officinalis* (Romarin)
- § *Pistacia atlantica* (Pistachier de l'atlas)

Dans la station Hamla, le tapis végétal est plutôt dégradé (déperissement du cèdre et absence quasi-totale de la strate herbacée). On rencontre essentiellement en association :

- § *Cedrus atlantica* en déperissement cédant sa place à une futaie de chêne vert,
- § *Quercus ilex* (chêne vert)
- § *Juniperus oxycedrus* (Genévrier oxycèdre),
- § *Genista tricuspidata* (le genet), peu dense
- § *Asphodelus microcarpa* (Asphodèle)
- § *Atragalus armatus* (Astragale).

2.1.4- Caractéristiques climatiques

2.1.4.1- Les données climatiques

Les postes météorologiques situés en plein massif forestier du Belezma et surtout au voisinage immédiat des stations d'étude, avec des données complètes et fiables font actuellement défaut.

Les données disponibles sur une période relativement longue sont celles du poste météo d'Ain-Skhouna (1040), allant de 1974 à 2004.

2.1.4.1.1- les précipitations

Tableau 04 : Valeurs moyennes des précipitations mensuelles (Ain-Skhouna 1974 – 2004) (mm)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
P (mm)	28.3	29.4	40.4	39.6	37.0	18.9	8	15.9	38.0	34.2	38.8	30.3	350.8

Station Ain-Skhouna (1974 – 2004)

Les précipitations sont très variables suivant les mois, sur 30 ans (1974 – 2004) la moyenne annuelle des précipitations se situe autour de 350.8 mm avec 40,4 pour le mois le plus pluvieux, alors que juillet est le mois le plus sec avec 8 mm (tab. 4).

Les enneigements ne concernent que les zones d'altitude, les neiges sont généralement fugace et sont plus fréquentes en janvier.

2.1.4.1.2 Les températures

Tableau. 5 : Température mensuelle maximales, minimales et moyennes de la région de Batna (Station Ain-Skhouna 1974 – 2004).

Mois T °C	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenne annuelle
m	0.8	1.5	2.8	5.4	9.3	14.0	17.0	16.8	13.4	8.7	3.9	1.6	7.93
M	9.8	11.1	13.6	17.4	22.5	29.3	32.9	32.9	26.7	19.6	14.0	10.8	20.01
M'	5.1	6.2	8.1	11.4	16.0	22.0	25.5	24.9	20.1	14.2	8.7	6.0	14.03

Les températures moyennes varient entre 5.1 et 25.5°C, janvier et décembre étant les mois les plus froids avec des minimales atteignant 0.8 °C, juillet est le mois le plus chaud avec des maximales atteignant 32.9 °C, (tab.5).

2.1.4.1.3- le vent

La région de Batna subit des vents généralement faible à dominance sud ouest à ouest , la vitesse moyenne est 4.4 m/s (Station Ain-Skhouna).

2.1.4.2- Synthèse climatique

2.1.4.2.1 Diagramme ombrothermique

Ce diagramme ombrothermique représenté par la fig.7, mentionne la période sèche et celle humide.

La figure7 représentant le diagramme ombrothermique, montre que le climat des zones d'étude se caractérise par une période sèche de plus de 4 mois qui s'étend du juin au mi-Octobre.

Fig n°...: Diagramme ombrothermique de GAUSSEN (station du Batna)

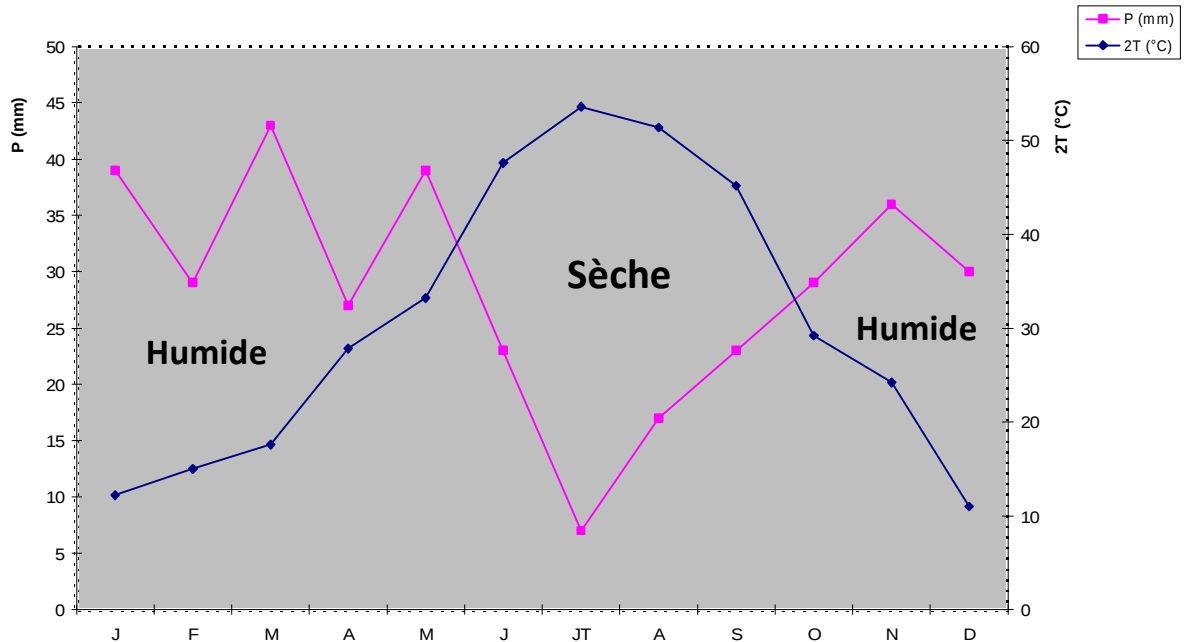


Fig.7. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (Station Ain-Skhouna).

2.1.4.2.2- Climagramme d'EMBERGER

- Quotient pluviométrique d'Emberger

Le quotient pluviométrique d'EMBERGER (Q_2) est défini sur la base des trois éléments climatiques , précipitation (mm), température minimale du mois le plus froid (°C) et celle maximale du mois le plus chaud (°C) :

$$Q_2 = 3,34 (M-m)/P$$

Q_2 : quotient pluviométrique d'EMBERGER.

P : hauteur des précipitations annuelle en (mm).

M : moy. des températures maxi. du mois le plus chaud.

m : moy. des températures mini du mois le plus froid.

Pour la station d'Ain-Skhouna, Q_2 est de l'ordre de 40,26. Il indique que cette zone est située dans l'étage bioclimatique semi-aride frais (STEWART, 1974)

Pour la station d'Ain-Skhouna, Q_2 est de l'ordre de 40,26. Il indique que cette zone est située dans l'étage bioclimatique semi-aride frais STEWART (1974) (Fig.8).

$$Q2=3.43 \text{ (P/ M-m)}$$

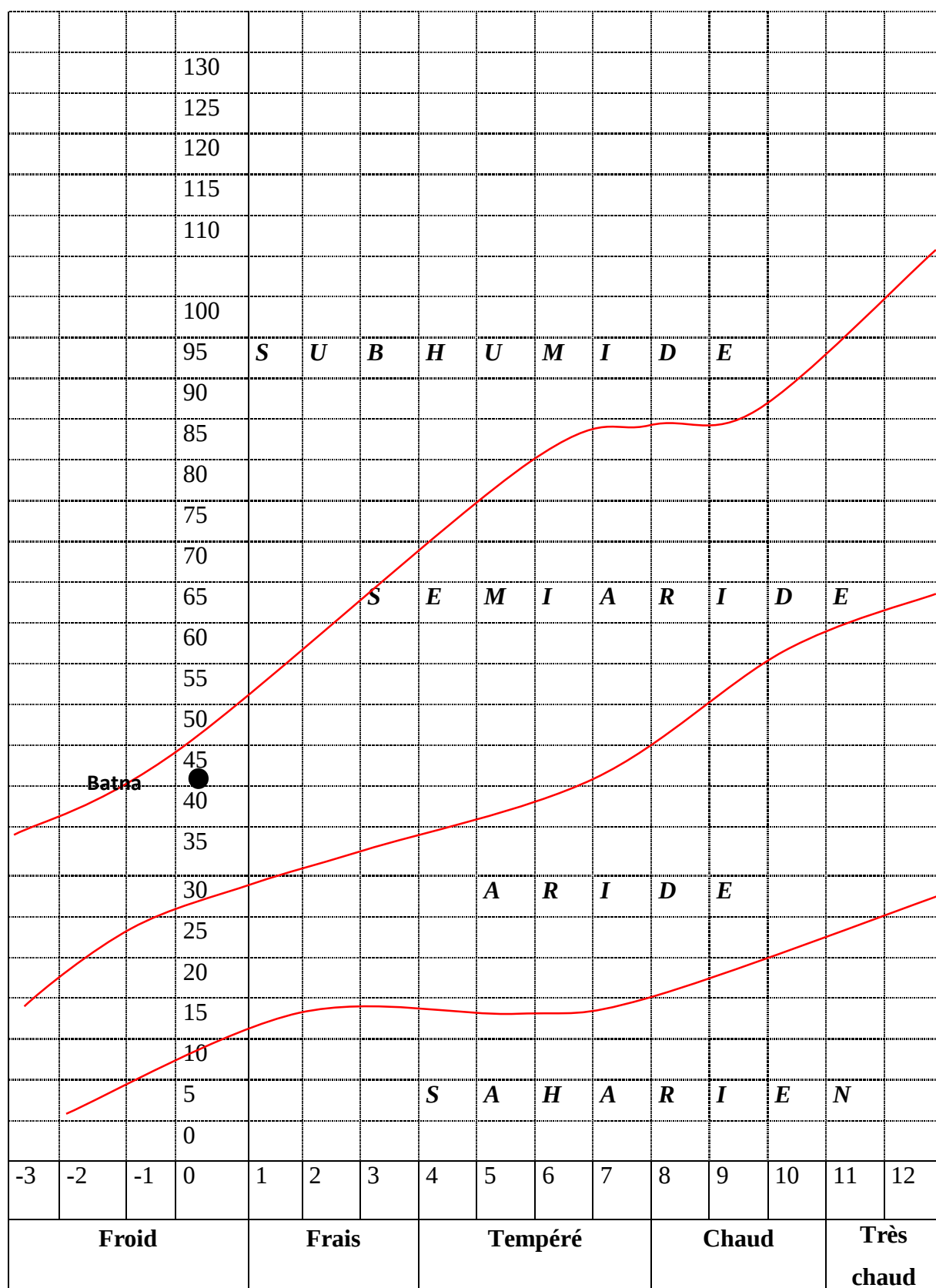


Figure 8 : Climagramme d'EMBERGER pour la Station Ain Skhouna, BATNA

2.2. Matériel

2.2.1. Récipient de recueil des eaux de pluie

Par manque de pluviomètres, les eaux de pluie sont recueillies à l'aide de bouteilles d'eau minérale en plastique, dont la partie supérieure est découpée et retournée en entonnoir comme illustré par la figure 9 . La surface d'interception est de 224 cm^2 .

Le goulot est muni d'un morceau de tulle destiné à retenir les débris végétaux et animaux qui risqueraient de contaminer les eaux en passant dans le récipient.



Fig.9 : Dispositif de récupération des eaux

2.2.2-Dispositif de récolte des retombées solides

Les retombées de litière sont récoltées dans des paniers collecteurs (Fig10). Chacun de ces derniers possède une surface intérieure de $0.25 (0,5 \times 0,5 \text{ m}) \text{ m}^2$ et 20 cm de haut. Leur fond est constitué par un grillage en plastique ayant des mailles de 2 mm. Le tout est placé sur 4 pieds de 40 cm de haut.

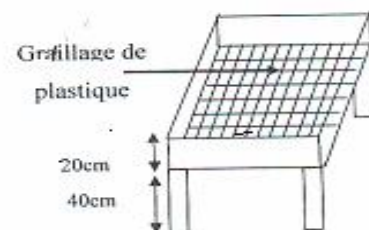


Fig10 : Vue d'un panier collecteur de litières: A = installé sur terrain, B = schéma

2.3- Méthode

2.3.1- Disposition des récipients à découvert et sous couvert

Pour recueillir l'eau d'égouttement, on a placé sous les couronnes des arbres 30 récipients d'une façon systématique.

A 30 m à partir de la station sous couvert, dans une station au sol nu (a découvert), pour récolter l'eau a découvert on a placé au hasard 10 pluviomètres.

Les pluviomètres contenant un cristal du thymol agissant sur l'activité des micro-organismes, sont enfoncés de 3.5 cm dans le sol a une hauteur de 19.5 cm au dessus du sol.

Chaque pluviomètre a un emplacement fixe et les prélèvements d'eau font a la fin de chaque mois.

2.3.2- Quantification et filtrage des eaux recueillies

Les volumes des eaux récupérées par les différents récipients sont mesurés individuellement à l'aide d'une éprouvette de 250 ml. En suite, les différents échantillons sont mélangés et transportés au laboratoire par catégorie, à « découvert » et « sous couvert ».

Un échantillon des ces deux types d'eaux est filtré à trois reprises à l'aide du papier filtre, puis conservé au réfrigérateur dans des flacons en plastique jusqu'aux dosages.

2.3.3- Traitement et quantification des retombées des litières

2.3.3.1- Triage en différentes fractions

Pour récolter les retombées des litières, on a disposé au hasard sous le houppier des arbres d'une chênaie ou d'une pinède de 10 ares, 20 Paniers collecteurs (fig.10).

Les relevés et les pesées des litières piégées sont effectués une fois par mois durant les 6 mois de l'expérimentation.

La durée de l'expérimentation de 6 mois est insuffisante en comparaison avec les travaux de RAPP (1971) sur le Chêne vert validés sur 4 ans et RAPP (1967) sur le pin d'Alep portant sur 2 années. Pour *Notofagus truncata*, MILLER et HORST (1967) in RAPP (1971) recommandent au moins 25 ans pour la détermination des quantités des retombées des litières.

Les échantillons de litière récoltés sont triés puis pesés. Les différentes fractions de litières récoltées sont par espèce :

Pour le chêne vert :

Les litières des 20 paniers ont été réunies, triées et subdivisées en six fractions (Fig11):

- ü Feuilles de Chêne vert (Fcv)
- ü Aiguilles d'oxycèdes (Aox)
- ü Fruits et inflorescences (Fr et In)
- ü Brindilles (Br)
- ü Ecorces (Ec)
- ü Divers (Dr) : cette fraction rassemble : des débris végétaux provenant d'autre essences que l'essence étudiée, matériel difficile à différencier, cadavres d'insectes.

Pour le pin d'Alep les litières des 20 paniers ont été réunies triées et subdivisées en 7 fractions (Fig12):

- ü Les aiguilles du pin d'Alep (Aig)
- ü Les rameaux et les brindilles (r)
- ü L'écorce (ec)
- ü Les écailles (el)
- ü Une partie « Divers » tous ce qui difficile à identifier (dr)
- ü Inflorescence (inf)
- ü Autres espèces « feuilles de chêne vert » . (A,sp)

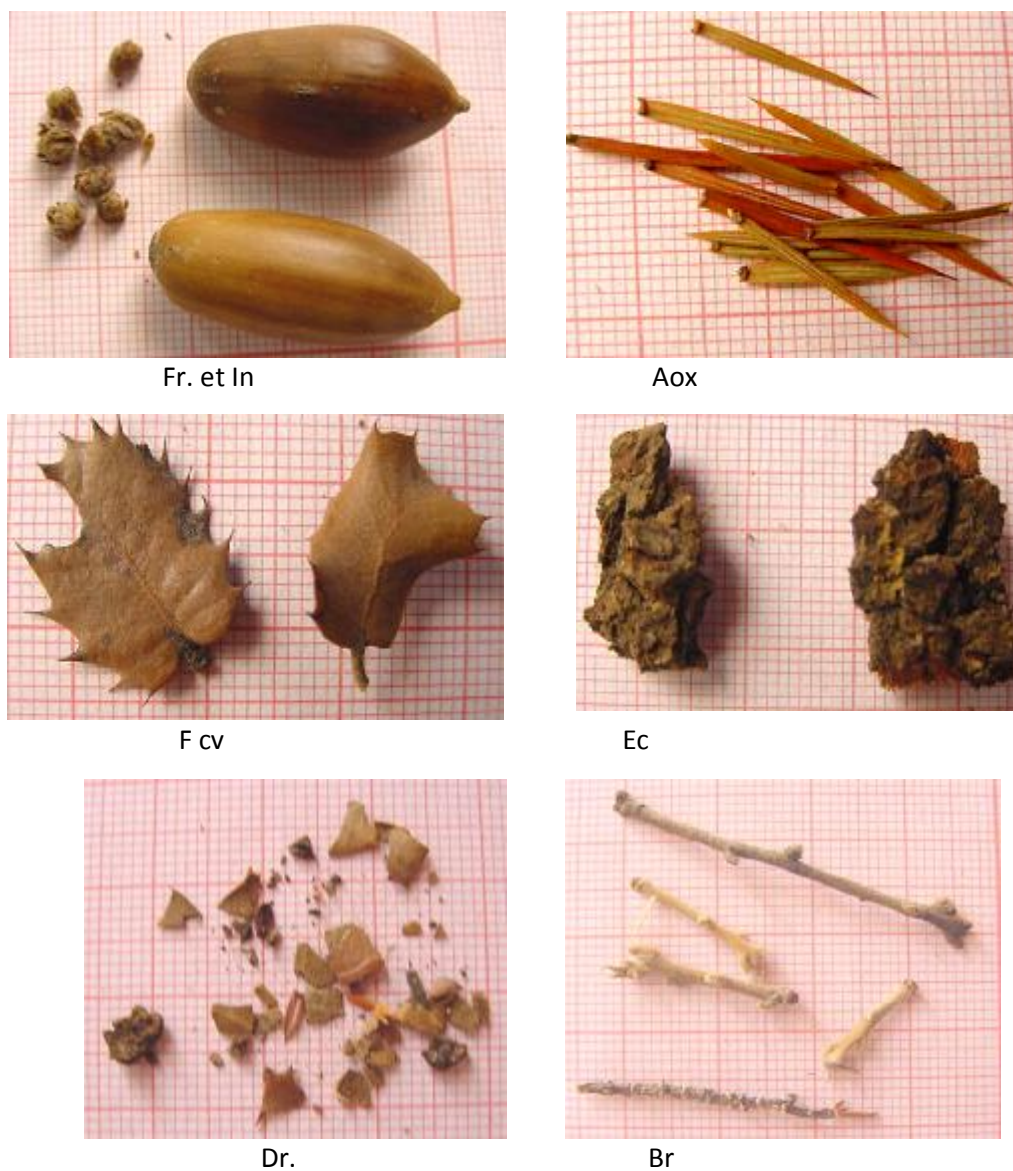


Fig.11 : Différentes fractions des retombées solides pour la chênaie

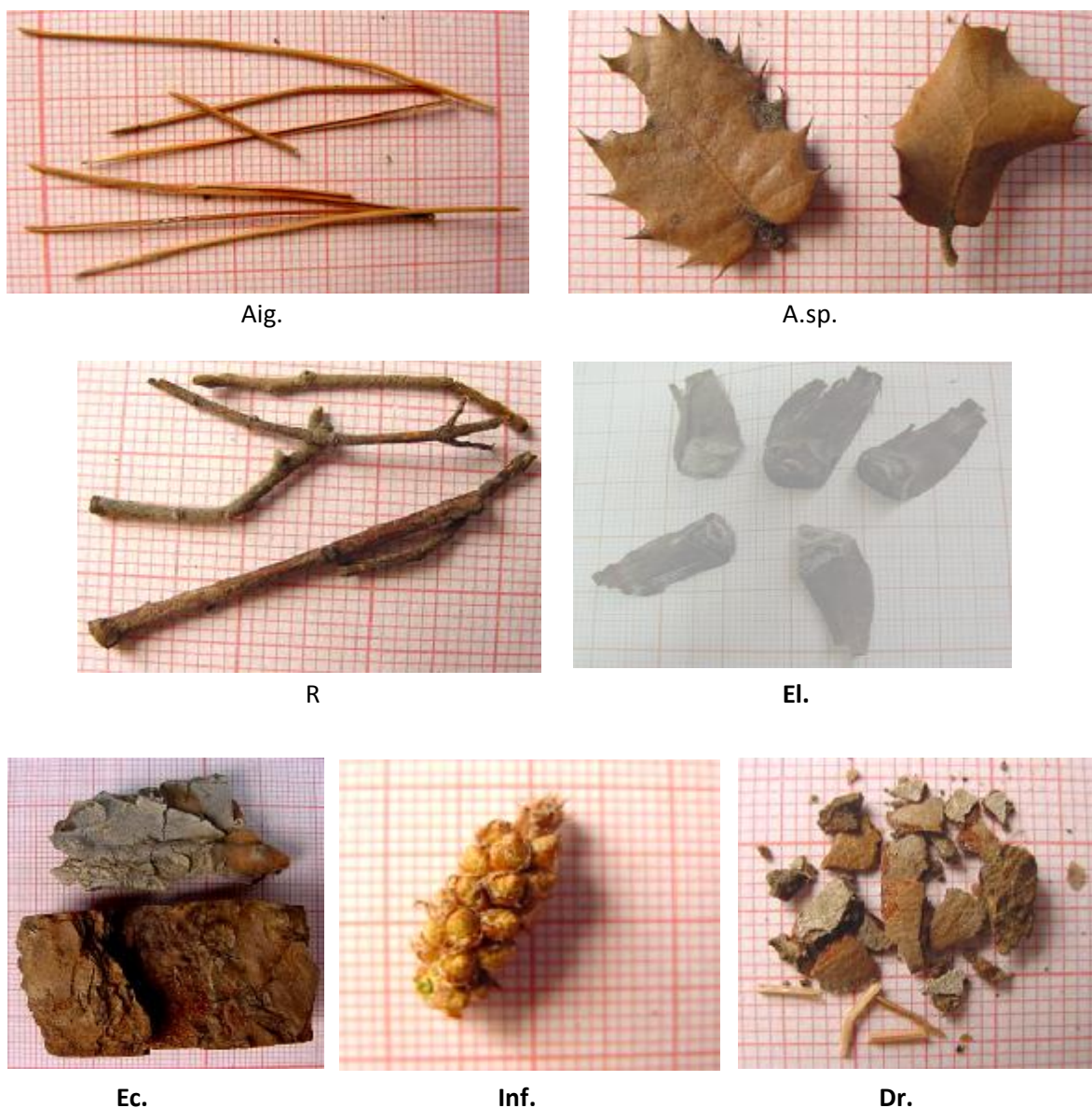


Fig. 12 : Différentes fractions des retombées solides pour la pinède

2.3.3.2- Séchage et pesée des litières

Les différentes fractions sont séchées à l'étuve à 105 °C pendant 24^h. Les différents échantillons sont pesés puis broyés. Les résultats sont exprimés en Kg/ha.

2.3.4. Méthodes de dosage des éléments biogènes N, Pet K

Le dosage des éléments biogènes est fait par les méthodes suivantes :

- L'azote total est dosé par la méthode de KJELDAHL.
- Le phosphore total est dosé par colorimétrie pour les retombées liquides et par spectrophotomètre (650 nm) (Méthode JOHRET ET HUBER, 1955) pour les litières.
- Le potassium est quantifié par le photomètre à flamme.

Troisième partie

Résultats et discussions

3.1- APPORTS DES ELEMENTS BIOGENES PAR LES RETOMBÉES LIQUIDES

3.1.1- Quantités des précipitations recueillies à découvert et sous couvert

Après avoir établi les moyennes des répétitions des eaux mensuelles et cumulées, recueillies à découvert et sous couvert, les résultats sont exprimés en mm en utilisant la formule (in VILARD – GOUDOUR et RICHARD, 1956).

$$P \text{ (mm)} = 10 \times V \text{ (cm}^3\text{)} / S \text{ (cm}^2\text{)}$$

P = hauteur précipitation

V = volume pluie recueilli / mois

S = surface de réception des pluies

3.1.1.1- Précipitations recueillies à découvert

Les quantités de pluie mensuelles recueillies à découvert dans les deux stations expérimentales sont reportées dans la figure 13. Cette dernière montre qu'au cours des six mois de mesure, la chênaie de Hamla et la pinède de Djerma ont accumulé respectivement 427 et 354 mm de pluie. Rappelons que la station de Hamla est 400 m plus élevée (altitude 1500 m) que celle de Djerma (1093 m).

elle indique pour les deux stations que le mois de Janvier est le plus arrosé (165,1 mm de pluie à Hamla et 142,3 à Djerma). Les mois les moins humides sont Novembre et Février (26 à 26,6 mm de pluie à Hamla et 19,2 à 20,1 à Djerma).

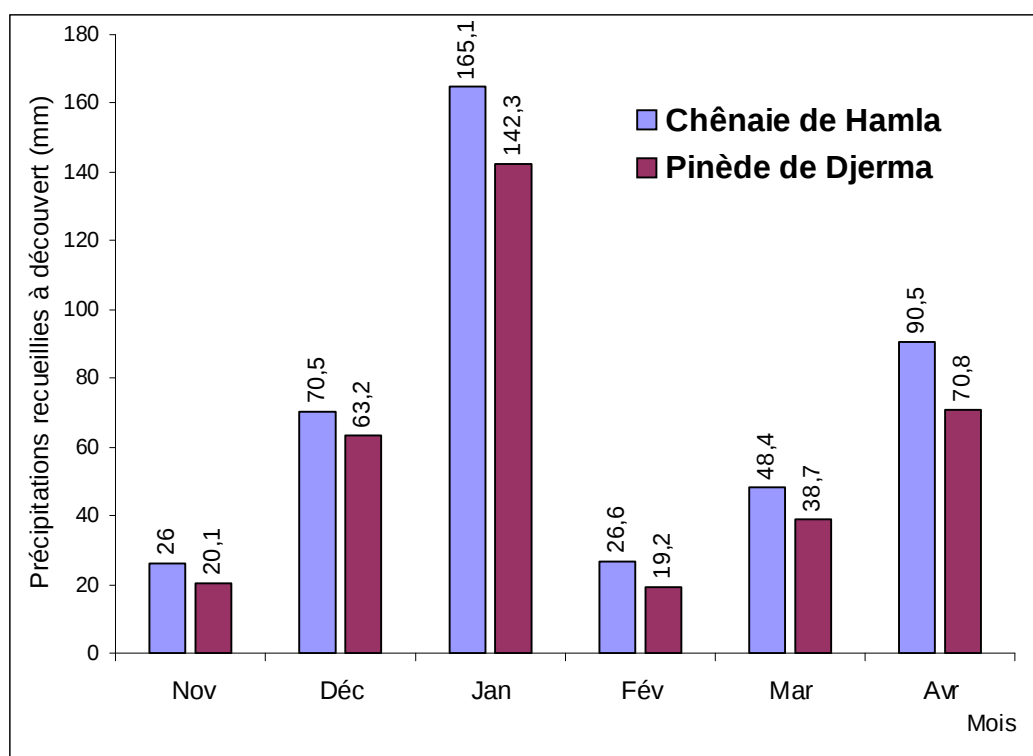


Figure 13 : Précipitations mensuelles enregistrées à découvert dans la station de Hamla et Djerma

3.1.1.2-Précipitations recueillies sous couvert (eaux d'égouttement)

Sur le plan quantitatif, la figure 14 fait ressortir que le chêne vert permet de récupérer davantage d'eau d'égouttement que sous le pin d'Alep (211,1 mm contre 165,7 pour le pin d'Alep en moyenne).

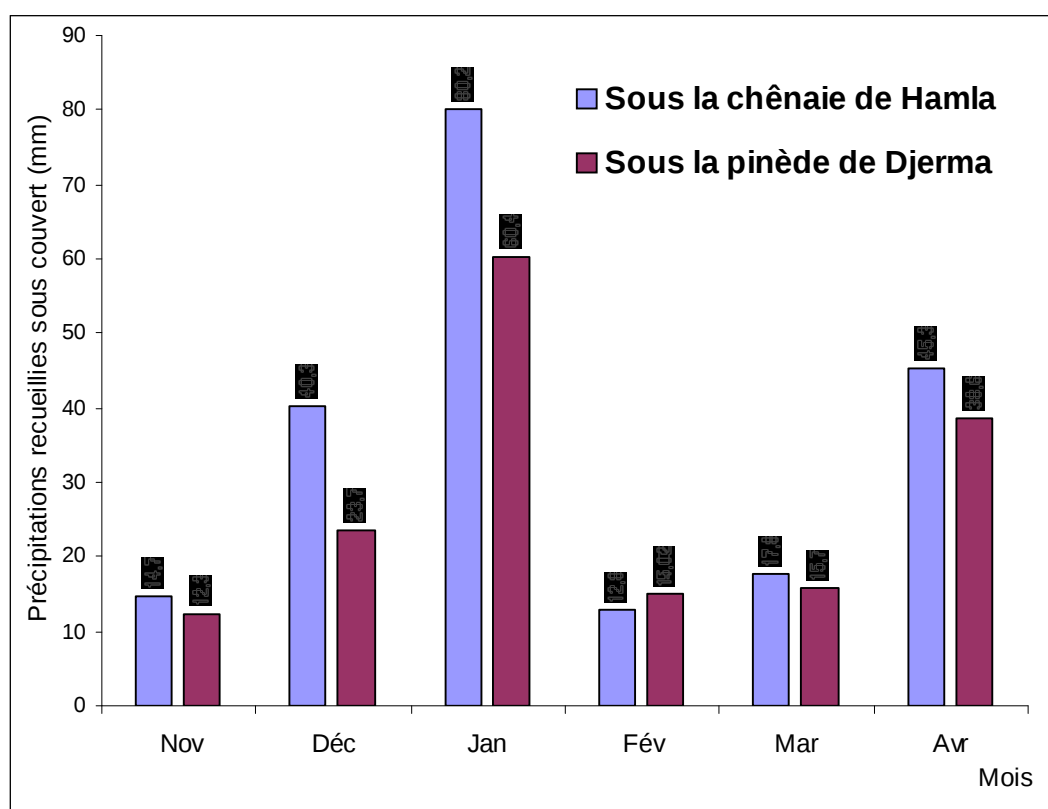


Figure 14 : Précipitations mensuelles enregistrées sous couvert dans la station de Hamla et Djerma

Cette situation s'observe aussi à découvert (Fig.13). C'est pourquoi, il est utile d'exprimer les écarts « sous couvert-découvert » en pourcentage pour apprécier l'effet de l'espèce sur l'interception et l'égouttement des eaux de pluie (Tableau 9 et fig.15)

Il est à remarquer que les quantités cumulées des eaux d'égouttement enregistrées sous le couvert de pin d'Alep et de chêne vert représentent en moyenne pratiquement 50 % de celles mesurées à découvert. Cette fraction de pluie interceptée puis égouttée par les arbres des deux espèces varie au cours de la période expérimentale. Elle est réduite en Novembre pour les deux espèces (43,5 et 38,8 %) et même en Décembre pour la chênaie (42.8 %). Elle s'amplifie en Mars pour les 2 espèces (63,2 % pour le chêne vert et 59,4 pour le pin d'Alep) et en Décembre pour le pin d'Alep (62,5 %) (Fig.15).

La proportion d'eau de pluie égouttée par la chênaie est supérieure à celle de la pinède durant les deux premiers mois de l'hiver (Décembre et de Janvier). En revanche, elle est plus faible de Février à Avril (Fig.15)

En Belgique, on met en évidence un taux moyen d'interception de pluie par le couvert végétal plus élevé pour les peuplements de résineux que pour les forêts feuillues (FORGEARD et al (1980)).

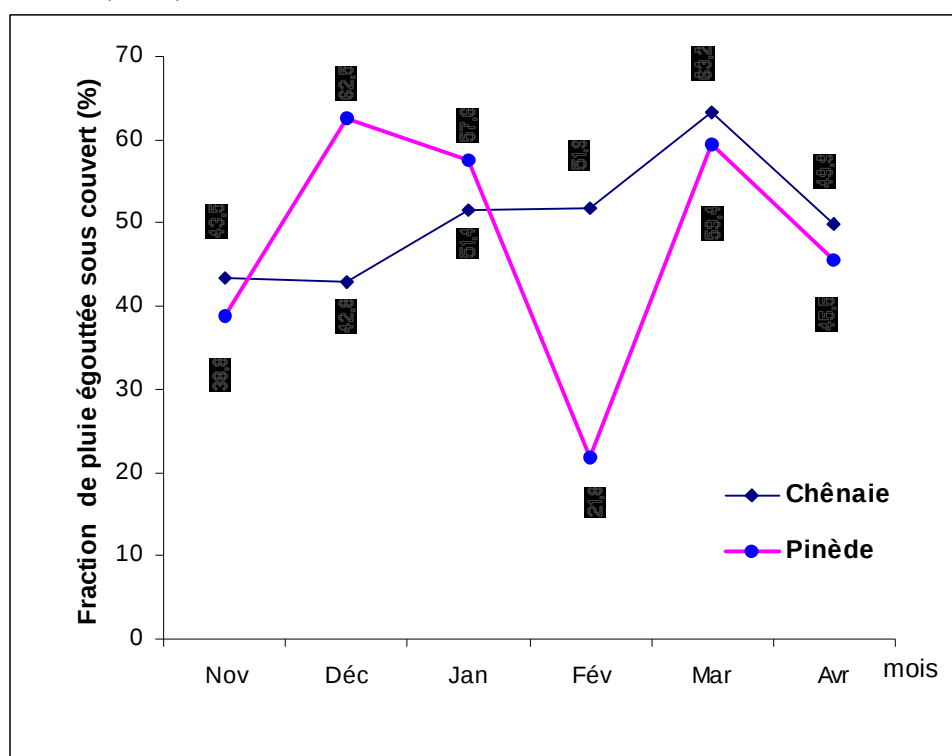


Fig. 15 : Evolution de la fraction d'eau de pluie récupérée sous forme d'égouttement sous les deux couverts forestiers.

3.1.2- Teneur en N, P et K des eaux de pluie et d'égouttement

3.1.2.1- Teneur en N, P et K des eaux de pluie recueillies à découvert

Les teneurs en N, p et K des eaux de pluie recueillies en dehors du couvert forestier sont consignées dans le tableau 9. Elles révèlent que ces eaux sont en moyenne plus riches en élément azote (0,54 mg/l à Hamla et 0,50 mg/l à Djerma) qu'en potassium (0,30 à 0,33 mg/l) et en phosphore (0,16 à 0,18 mg /l).

Les deux sites expriment des valeurs moyennes comparables. Ainsi, le classement $[N] > [K] > [P]$ est valable pour les deux stations.

Cette hiérarchisation est observée également par TOUNSI (1990) dans la station de S'gag et de Theniet El-Gantas.

Tableau 6 : Teneurs mensuelles et moyennes en N, P et K des eaux de pluie à découvert dans la station Hamla et Djerma. (mg / litre)

Eléments Mois	Chênaie Hamla			Pinède Djerma		
	N	P	K	N	P	K
Novembre	2,25	0,15	0,10	2,22	0,14	0,10
Décembre	0,20	0,17	0,11	0,19	0,16	0,10
Janvier	0,16	0,14	0,14	0,12	0,14	0,12
Février	0,18	0,14	0,24	0,18	0,14	0,20
Mars	0,22	0,20	0,21	0,14	0,16	0,20
Avril	0,20	0,30	1,20	0,15	0,20	1,10
Moyenne	0,54	0,18	0,33	0,50	0,16	0,30
Total	1.05			0.96		

3.1.2.2- Teneur en N, P et K des eaux d'égouttement

Les concentrations en N, P et K des eaux d'égouttement sous le chêne vert et le pin d'Alep sont mentionnées dans le tableau 10.

A l'inverse des eaux de pluie recueillies à découvert, qui sont en moyenne plus riches en N qu'en K, celles d'égouttement sont nettement plus chargées en K qu'en N, notamment sous le chêne vert où le rapport $[K] / [N]$ est de l'ordre de 2.

L'élément P reste en troisième position ($[K] > [N] > [P]$) dans les deux sites. Ces résultats rejoignent ceux de TOUNSI (1990) obtenus dans des peuplements de cèdre de l'Atlas.

Les lessivats sont toujours concentrés en éléments minéraux que les eaux de pluie incidente (FORGEARD et al (1980).

Tableau 7 : Teneurs mensuelles et moyenne en N, P et K des eaux d'égouttement dans la station Hamla et Djerma. (mg / litre)

Eléments Mois	Chênaie Hamla			Pinède Djerma		
	N	P	K	N	P	K
Novembre	2,40	0,20	0,15	2,28	0,18	0,12
Décembre	0,33	0,20	0,18	0,30	0,17	0,16
Janvier	0,20	0,18	0,20	0,15	0,15	0,18
Février	0,25	0,16	0,20	0,20	0,12	0,15
Mars	0,25	0,25	0,25	0,18	0,20	0,22
Avril	0,26	0,32	6,28	0,20	0,25	4,32
Moyenne	0,62	0,22	1,21	0,55	0,18	0,86
Total	2.05			1.59		

3.1.2.3- Variation des teneurs en N, P et K

Les écarts des concentrations moyennes entre les eaux pluviales et celles d'égouttement varient plus ou moins fortement avec le couvert végétal (Station), la période de prélèvement et l'élément considéré.

Notons que dans les deux stations, surtout celle de Hamla, les eaux d'égouttement sont en moyenne plus chargées en éléments biogènes que celles des pluies à découvert (Fig 16).

L'élément K étant le plus concerné. En effet, dans la chênaie de Hamla, les eaux d'égouttement sont 3,7 fois plus chargées en K que celles des pluies recueillies dans la même station (1,21 mg / l pour l'eau d'égout., contre 0,33 mg/l pour l'eau de pluie). Dans la station à pin d'Alep, on observe un rapport voisin, de $[K_{\text{eau égout}} = 0,86] / [K_{\text{eau pluie}} = 0,3] = 3,0$.

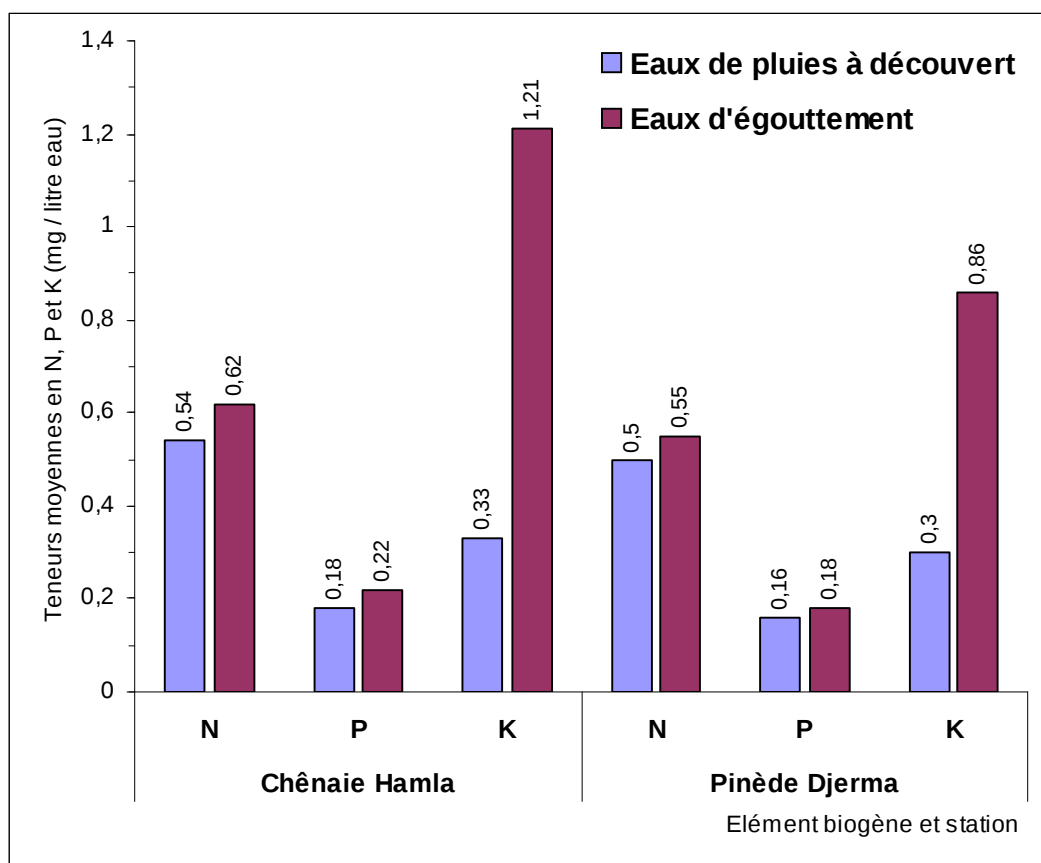


Fig.16 : Comparaisons entre les teneurs moyennes en éléments biogènes dans les eaux de pluie et les eaux d'égouttement des deux stations

La différence de concentration en azote entre les eaux de pluie et d'égouttement (écart de 10 % à Djerma et 14,5 % à Hamla), pourrait être en relation avec l'existence de branches mortes (LEMEE, 1982).

Par ailleurs, la fluctuation mensuelle des teneurs en N s'expliquerait par la variation des quantités de pluie tombée. En effet, l'élément azote est soluble dans l'eau. Donc, sa concentration diminue à mesure que les retombées liquides augmentent.

Ainsi, on observe que le mois de Novembre le plus sec présente une eau de forte concentration en N (Tableau 6 et 7). Inversement, le mois de Janvier le plus arrosé produit des eaux les moins riches en N.

Le coefficient de corrélation entre la teneur en N des liquides recueillis dans les deux stations confondues est négatif. Il est de l'ordre de $r = -0,43$ pour les eaux de pluie et $r = -0,39$ pour les eaux d'égouttement.

En d'autres termes, après une période de sécheresse les eaux de pluie et d'égouttement deviennent plus concentrées en Azote. Ce résultat concorde avec les remarques de FORGEARD (1977) dont les travaux ont été menés dans les landes sur une période de trois ans.

Comme l'a rapporté RAPP (1969), l'élément phosphore ne présente pas une très grande variation de concentration entre les eaux incidentes et les pluviolessivats. Sa teneur dans les eaux d'égouttement et de pluie, tant à Djerma qu'à Hamla n'est influencée par la quantité d'eau tombée ($r = 0,05$ à $0,08$). Il provient des poussières atmosphériques (RAPP, 1969) issues de la décomposition de la roche mère (DUVIGNEAUD, 1982).

Dans les deux stations, les teneurs les plus élevées en potassium dans les pluies et les eaux d'égouttement sont enregistrées au mois d'Avril (Tableau 6 et 7)

Les fortes concentrations du potassium dans les pluviolessivats seraient dues selon FORGEARD et *al.* (1980), au lessivage des feuilles et aux pièces florales qui tombent dans les récipients de récupération.

L'élévation de la teneur en K des eaux peut être également attribuée à la libération par les feuilles pendant leur phase de jaunissement automnal (LEMEE, 1974 ; GAUSSENAC, 1972 et RAPP et *al.*, 1969). Les feuilles étant mortes ou ayant un métabolisme ralenti pendant une certaine période avant qu'elles ne se détachent, libèrent plus facilement leurs éléments constitutifs.

3.1.3- Minéralomasse apportée par les retombées liquides

3.1.3.1- Apport par les eaux de pluie à découvert

Le tableau 11 fait ressortir qu'un hectare du sol bénéficie pour six mois d'un apport d'environ :

1) Pour Hamla :

ü **1.58 kg/ha** de potassium

ü **1.32 kg/ha** d'Azote

ü **0.79 kg/ha** de phosphore

2) Pour Djerma :

ü **1.28 kg/ha** de potassium

ü **0.94 kg/ha** d'Azote

ü **0.58 kg/ha** de phosphore

La classification des éléments selon l'ordre d'importance d'apport dans les deux stations est la suivante : **K > N > P**.

L'apport en éléments biogènes par les eaux de pluie varie d'un élément à l'autre. Cette variation peut être due à la quantité des précipitations et la nature du substrat.

Tableau 8 : Quantité de N, P et K apportée par les eaux de pluie à Découvert (Kg / ha) dans les deux stations (Hamla et Djerma).

Eléments Mois	Chênaie Hamla			Pinède Djerma		
	N	P	K	N	P	K
Novembre	0.585	0.039	0.026	0.446	0.028	0.020
Décembre	0.141	0.120	0.078	0.120	0.101	0.063
Janvier	0.264	0.231	0.231	0.171	0.199	0.171
Février	0.048	0.037	0.064	0.035	0.027	0.038
Mars	0.106	0.097	0.102	0.054	0.062	0.077
Avril	0.181	0.272	1.086	0.106	0.142	0.779
Total	1.321	0.796	1.586	0.932	0.559	1.149

3.1.3.2- Apport par les eaux d'égouttement

D'après le tableau 12 relatifs à l'apport des éléments biogènes par les eaux d'égouttement, on constate que le sol bénéficie d'un apport de :

1- pour Hamla

• 3.16 kg/ha de potassium.

• 0.83 kg/ha d'azote

• 0.46 kg/ha de phosphore

2- pour Djerma

• 1.87 kg/ha de potassium.

• 0.57 kg/ha d'azote

• 0.29 kg/ha de phosphore

La classification des éléments selon l'ordre d'importance d'apport dans les deux stations est la suivante :

$$K > N > P.$$

L'apport en éléments biogènes par les eaux d'égouttement varie d'un élément à l'autre et d'une station à l'autre.

La variation d'un élément à l'autre peut être liée à la situation géographique, aux espèces et au substrat.

La variation d'une station à l'autre peut s'expliquer par des facteurs qui diffèrent, d'une station à l'autre qui sont :

• Les espèces

• La situation géographique.

• La quantité des précipitations.

• La nature de substrat.

Les eaux d'égouttements de la station forestière de HAMLA sont plus concentrées en éléments biogènes N, P, K que celles de la station forestière de DJERMA (pinède).

NYS (1987) constate que le retour des éléments minéraux est plus intense sous feuillus que sous résineux .

Tableau 9: Quantité de N, P et K apportée par les eaux d'égouttement sous la chênaie de Hamla et la pinède de Djerma (Kg/ ha).

Eléments Mois	Chênaie Hamla			Pinède Djerma		
	N	P	K	N	P	K
Novembre	0.353	0.029	0.022	0.280	0.022	0.015
Décembre	0.133	0.081	0.073	0.071	0.040	0.038
Janvier	0.160	0.144	0.160	0.091	0.091	0.109
Février	0.032	0.020	0.026	0.030	0.018	0.023
Mars	0.045	0.045	0.045	0.028	0.031	0.035
Avril	0.118	0.145	2.845	0.077	0.097	1.668
Total	0.840	0.464	3.170	0.578	0.299	1.886

III.2- APPORTS DES ELEMENTS BIOGENES PAR LES RETOMBEES SOLIDES

3.2.1- Station de chêne vert de Hamla

3.2.1.1-Production mensuelle et totale des différentes fractions de litière

Les quantités mensuelles des différentes fractions de litière produites dans la chênaie de Hamla sont consignées dans le tableau 10. Elles montrent que la production totale de litière tombée durant les six mois de mesure est de 1,06 t MS /ha. Cette masse de litière de chêne vert est beaucoup plus faible en comparaison avec celle rapportée par RAPP (1977) dans la station de Madeleine, estimée à 7 t MF /ha/ an.

Les 58 % des retombées solides (610.22 Kg MS /ha) arrivent durant les deux derniers mois d'automne (Nov et Déc). Au cours de cette période de deux mois, la litière tombée est constituée essentiellement par les fruits et les inflorescences (46.1 % = 281.4 Kg MS/ha) et les feuilles (38.7 % = 236.2 Kg MS/ha) de chêne vert. A l'issue de l'expérimentation en avril, ces deux fractions (feuilles, fruits et inflorescences) totalisent pratiquement 881.84 Kg MS / ha, soient 83,3 % du total accumulé.

La fraction « brindilles » ne représentent que 7,9 % (83.38 kg MS/ha). Sa présence est notée également surtout en automne (52.92 Kg MS/ha en Nov et Déc).

Les écorces tombent plutôt en hiver (8.04 kg MS/ ha en janvier et 7.8 kg / ha en Fév) et ne représentent que 2,3 % de la litière totale ramassée après 6 mois de mesure (24.32 kg MS / ha).

Tableau 10 : Production mensuelle et totale de la litière dans la chênaie Hamla (kg MS/ha)

Fraction	Feuilles chêne vert (Fcv)		Aiguilles d'oxycédre (Eox)		Fruits et inflorescences. (Fr et In)		Brindilles (Br)		Ecorces (Ec)		Divers (Dr)		Total litière	
Mois														
Nov.	120.4	236.2	3.2	6.1	178.68	281.4	29.6	52.92	1.4	4.6	16.4	29.2	349.7	610.2
Déc.	115.76		2.9		102.54		23.32		3.2		12.8		260.52	
Jan	97.46		2.76		80.72		17.34		8.04		12.4		218.72	
Fév	54.6		0.40		35.68		6.40		7.8		7.0		111.88	
Mar	26.8		0.36		17.80		4.92		2.16		6.4		58.44	
Avr	22.4		1.24		29		1.80		1.72		3.8		59.96	
Total	437.42		10.86		444.42		83.38		24.32		58.8		1059.2	
(%)	(41.3)		(1.0)		(42.0)		(7.9)		(2.3)		(5.5)		(100)	

Le classement par ordre décroissant des proportions des différentes fractions composant la litière accumulée pendant les six mois d'évaluation est (Tableau 11 et Fig.17A) :

Fr et In (42.0 %) @ Fcv (41.3 %) > Br (7.9 %) > Dr (5.5%) > Ec (2.3%) > Aox (0,9%)

Le classement par ordre décroissant des proportions mensuelles de litière totale restituée au sol, toutes fractions confondues est illustré par la fig.17 B :

Nov. (33 %) > Dec.(24.6%) > Jan. (20.6 %) > Fev. (10.6%) > Avr. (5.7%) > Mar. (5,5 %)

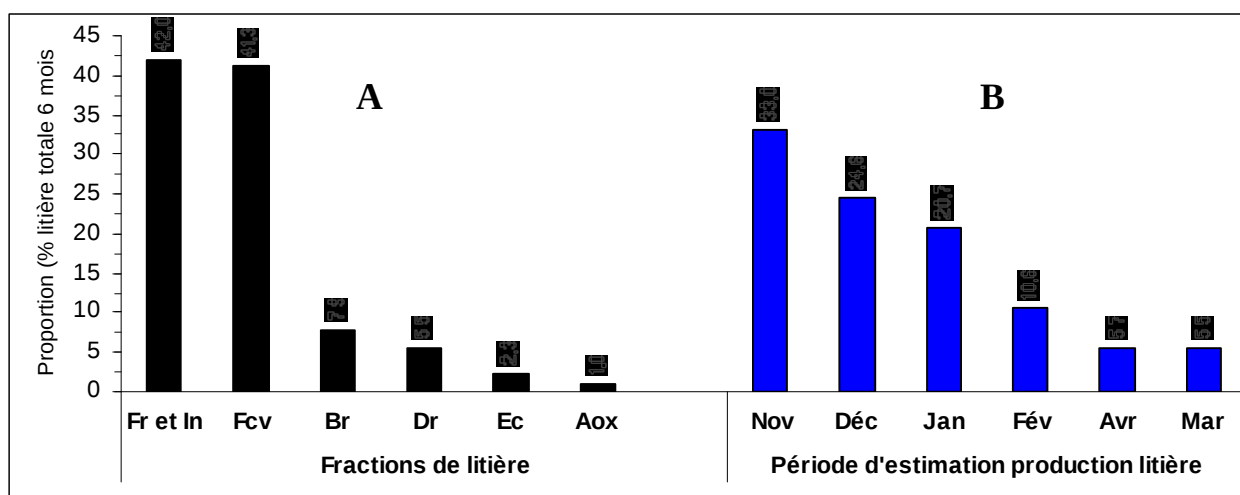


Fig.17 : Classement par ordre décroissant des proportions de la litière totale 6 mois :
 (A) : Produites par les différentes fractions.
 (B) : Produite aux différents mois

Ces observations rejoignent celles de BOUCHE (1987) qui rapporte que la production de la litière est faible au printemps, mais durant la période de la fructification on assiste à une chute massive des litières. Elles concordent aussi avec celles de RIHANI et al. (1998) ont constaté que dans les forêts feuillues des climats tempérés frais, les feuilles tombent sur le sol en Novembre et en hiver

La période d'accumulation des litières varie avec le type de forêts et le climat. Selon MANGENOT et TOUTAIN (1980), les litières peuvent tomber à un rythme régulier durant toute l'année (Cas des forêts équatoriales et des forêts à climat frais), comme elles peuvent se répartir sur quelques semaines seulement (Cas des forêts sous climat tempéré pour certains résineux).

Pour les travaux de MELLAOUI (1990), sur la variation mensuelle de la production de la litière dans un bois de pin d'Alep dans la forêt domaniale de Béni Imoul où il a marqué que le maximum de production a lieu pendant les mois secs de juin à septembre.

STAR et al, 2005 in JUDICAEL (2006), l'apport en matière organique au sol varie avec la densité du peuplement et le stade de développement.

Selon JUDICAEL (2006), qui a récolté les litières pendant 4 ans sous différentes espèces feuillues et résineux en climat tempérés, en France, la production de litière varie

saisonnement et croit de l'hiver à l'automne, et varie aussi d'une année à l'autre, cet auteur a trouvé une quantité de 5 Tonne de matière fraîche.

3.2.1.2- Teneur en éléments biogènes de la litière

Les teneurs moyennes en N, P et K de la litière totale, par mois et par fraction sont mentionnées respectivement dans les tableaux 11 et 12.

Le tableau 11 montre qu'en moyenne, la litière sèche de la chênaie de Hamla est plus riche en azote qu'en P et K (4.74 % contre 0.21 et 0.59 % pour P et K. Cette richesse en azote s'observe avec des valeurs proches, de novembre à février (4,7 à 5,35 % de MS).

Le tableau 15 montre que l'azote de la litière provient essentiellement des écorces (14,5 % de N), suivies des feuilles du chêne (5.69 % de N) et des fruits et inflorescences (4.11 % N)

Tableau 11 : Teneurs moyennes mensuelles en N, P et K
de la litière totale de la chênaie Hamla. (% MS)

Mois	Teneur litière (% MS)		
	N	P	K
Novembre	4,70	0,21	0,26
Décembre	4,95	0,24	0,27
Janvier	5,35	0,21	0,27
Février	5,12	0,18	0,29
Mars	3,59	0,17	0,34
Avril	2,28	0,20	5,89
Moyenne litière	4,74	0,21	0,59

Tableau 12 : Teneurs moyennes des différentes fractions de litière en N, P et K, toutes périodes comprises dans la chênaie Hamla. (% MS)

Mois	Teneur de la litière (% MS)		
	N	P	K
Feuilles de chêne vert	5,69	0,11	0,43
Aiguilles d'oxycèdre	2,03	1,84	1,38
Fruits et inflorescences	4,11	0,09	0,89
Brindilles	1,34	1,08	0,28
Ecorces	14,51	1,03	0,08
Divers	3,74	0,02	0,02
Moyenne litière	4,74	0,21	0,59

La teneur de la litière en P varie peu dans le temps. Cet élément se concentre principalement dans la fraction « Aiguilles d'oxycèdre » (1,84 % de P).

La teneur en K de la litière est nettement plus forte en Avril (5.89 % de la MS, tableau 11). Comme pour l'élément P, le potassium est plus présent dans les aiguilles d'oxycèdre (1.84 % de P, tableau 13).

Selon RANJER et al, (2003) la teneur en éléments essentiels NPK revenant au sol par le biais de la litière varie avec l'âge du peuplement, la litière du peuplement âgé moins riche en éléments minéraux.

3.2.1.3- Apports au sol des éléments minéraux par les différentes fractions de litière

Tableau 13 : Apport au sol d'éléments minéraux par les différentes fractions de litière (Kg/ha).

Fractions	Quantité élément (Kg/ha)			
	N	P	K	Total
Feuilles de chêne vert.	24.90	0.50	1.90	27.30
Aiguilles d'oxycédre	0.22	0.20	0.15	0.57
Fruits et inflorescences	18.27	0.40	3.95	22.62
Brindilles	1.12	0.90	0.23	2.25
Ecorces	3.53	0.25	0.02	3.80
Divers	2.20	0.01	0.01	2.22
Total	50.24	2.26	6.26	58.76

Après 6 mois de mesures, le sol de la chênaie Hamla cumule un total de 58,76 kg/ha d'éléments minéraux majeurs (N, P et K) (tableau 13).

L'élément le plus restitué au sol par la litière étant l'azote (50,24 Kg /ha , 85,5 % du total) qui est produit surtout par les feuilles, les fruits et les inflorescences du chêne.

La production de K par la litière occupe de loin la seconde place, avec 6.26 Kg /ha provenant en bonne partie des fruits, des inflorescences et des feuilles du chêne (Tableau 13).

Le phosphore est l'élément le moins représenté dans la litière de la chênaie (2.26 Kg /ha). Cet élément est produit à 39,8 % par les brindilles (0,9 Kg sur un total de 2,26 Kg/ha).

Ces résultats se rapprochent de ceux obtenus par AISSA (1989) et BOURAS (1990).

Globalement, la fraction « feuilles de chêne vert » est la principale source d'élément N, P et K de la litière de la chênaie Hamla. Elle assure plus de 46,5 % (27, 3 Kg / ha) des apports en N, P et K au sol par la litière. La fraction « fruits et inflorescences » se classe en second rang, avec 38,49 % des apports totaux / ha. Les parties « écorce » et brindilles ne n'interviennent respectivement que pour 6,5 et 3.8 %. Le reste composé par

divers organes fournies 3,8%. Les aiguilles d'oxycèdre apportent moins d'1 % d'éléments minéraux.

Le classement des différentes fractions de litière par ordre de contribution à la production de chacun des 3 éléments considérés s'établit comme suit :

N :	fcv > fr et in > Ec > Dr > Br > Aox
-----	-------------------------------------

P :	Br > fcv > fr et in > Ec > Aox > Dr
-----	-------------------------------------

K :	fr et in > fcv > Br > Aox > Ec > Dr
-----	-------------------------------------

Fcv = feuilles chêne vert, Fox = aiguilles oxycèdre, Fr et In = fruits et inflorescences,

Br = brindilles, Ec = écorces, Dr = divers

La fraction « feuilles de chêne vert (fcv) est la fraction la plus riche en élément (N) suivi des fruits et inflorescences (fr et in) alors que la fraction brindilles (Br) est riche en phosphore. La fraction fruit et inflorescence est la plus riche en élément (K).

L'étude de la quantité de chaque élément prise isolément par rapport à la quantité totale contenue dans la litière permet d'établir les successions par ordre d'importance décroissantes indiquées dans le tableau 14 :

Tableau 14 : Classement par ordre d'importance de production des éléments N, P et K par différentes fractions de litière

Fraction litière	Classement quantité d'éléments apportés
Litière totale	N > K > P
Feuilles de chêne vert	N > K > P
Aiguilles d'oxycèdre	N > P > K
Fruit et inflorescence	N > K > P
Brindilles	N > P > K
Ecorces	N > P > K
Divers	N > P > K

3.2.1.4- Variations mensuelles des apports des éléments minéraux

La Figure 18 montre que l'approvisionnement en minéralomasse du sol de la chênaie baisse dans le temps. L'accumulation des 3 éléments considérés s'effectue principalement en automne et au début de l'hiver (novembre à janvier).

Au cours de cette période de 3 mois, le sol reçoit 45 Kg de minéraux / ha, soit 77 % des apports totaux par la litière.

Le classement des mois de mesure par ordre d'importance de leur contribution relative dans le renouvellement du stock du sol en éléments minéraux s'établit comme suit

Nov. (30.8 %) > Déc. (24.2 %) > Jan. (21.7 %) > fév. (10.6 %) Avr. (8.5 %) > mars (4.1 %).

Ce classement diffère quelque peu de celui rapporté pour la même espèce par BOURAS (1990) sur la période allant de Décembre à Mai. Cet auteur a trouvé que le plus grand apport en éléments minéraux par la litière du chêne vert s'effectue plutôt en janvier.

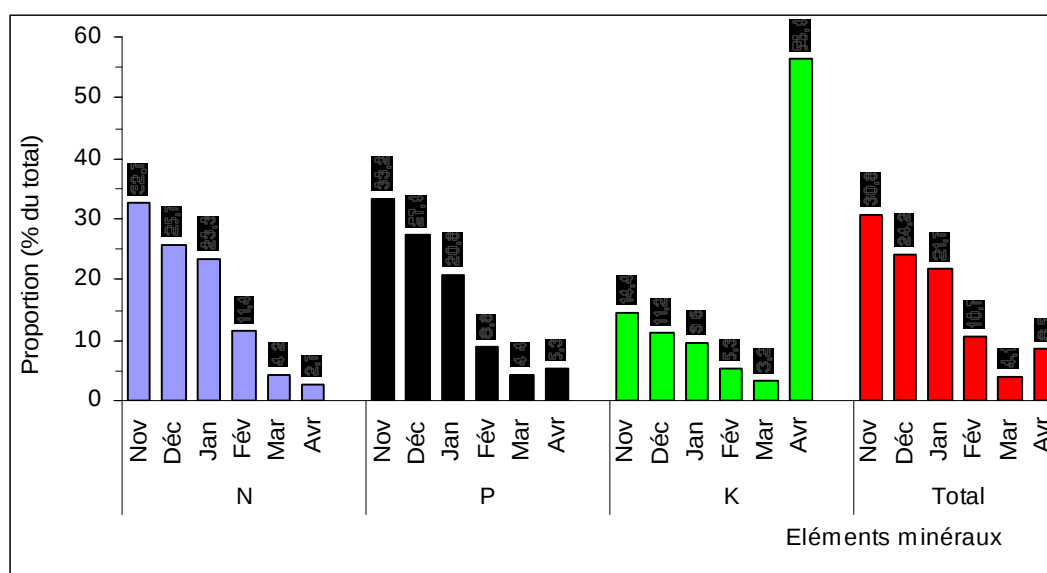


Fig. 18 : Contribution relative des différents mois dans l'apport total de N, P et K (% du total)

Dans d'autres conditions écologiques et sur une période de 4 ans, RAPP (1971) a trouvé que la plus forte quantité de minéraux restitués par la litière au sol de la chênaie se situe entre Avril et Mai.

Selon JUDICAEL (2006), la chute des litières a lieu tout au long de l'année elle est globalement faible en hivers, car les arbres perdent la plupart de leurs feuilles au moment de la senescence en automne.

En conclusion, les résultats montrent que le sol forestier reçoit une quantité importante d'éléments minéraux (58.8 kg/ ha) par l'intermédiaire de la litière de chêne vert qui est l'essence principale dans la station étudiée. Cette minéralomasse restituée au sol est constituée à 85.5 % par l'élément azote.

La fraction de litière « feuilles de chêne vert » constitue la principale source d'apport des éléments biogènes retournant au sol de la chênaie .

La restitution au sol de l'azote et du phosphore se produit davantage en Novembre et celle du potassium en Avril.

3.2.2- Station de pin d'Alep de Djerma

3.2.2.1-Production mensuelle et totale des différentes fractions de litière

Les retombées solides mensuelles des différentes fractions de litière de la pinède Djerma sont reportées dans le tableau 16. Leur cumul de 6 mois est de 0,9 tonne MS /ha.

La majeure partie des retombées solides qui arrivent au sol (43.3 % = 398.8 Kg MS /ha) se produit au cours des deux derniers mois d'automne (Nov et Déc, tableau 16). Pratiquement, les 2/3 de cette biomasse de litière automnale est composée par les aiguilles de pin d'Alep. Ce type de litière à base d'aiguilles de pin d'Alep continue à s'accumuler durant les deux premiers mois de l'hiver à raison de 120.2 Kg MS/ha en Janvier et 121,1 Kg MS/ha en Fév (Tableau 15)

Après 6 mois de cumule, cette fraction représente 63,2 % (580.6 Kg MS/ha) de la masse de litière totale cumulée (919 Kg MS/ha).

La deuxième source de production de litière de la pinède, beaucoup moins importante que la première est représentée par la fraction « inflorescences » qui couvre 13,6 % (124,6 Kg MS/ha) du cumul semestriel. Ce type de litière arrive au sol dans sa quasi-totalité (89 %) en Avril (110,9 Kg/ha).

Selon JUDICAEL (2006), les feuilles et les aiguilles constituent quelques soit le peuplement, l'essentiel des retombées de litière comme cela a été mis en évidence dans d'autre étude (HIRATA, 2002 ; RANJER et al , 2003).

Tableau 15 : Production mensuelle et totale de la litière dans la pinède Djerma (kg MS / ha)

Fraction Mois/saison		aiguille pin d'Alep (Aig)		Inflorescence (Inf.)	Ecailles (El)	Ecorce (Ec)	Rameaux et brindilles (R)	Divers (Dr)	Total	
Nov	Automne	155.9	294.0	4.7	8.4	5.0	24.2	19.8	217.9	398.8
Déc		138.1		2.1	7.60	1.8	19.8	11.4	180.9	
Jan	Hiver	120.2	241.3	0.5	15.1	15.6	19.8	5.4	176.7	
Fév		121.1		0.0	9.6	16.2	5.0	1.9	153.8	
Mar		36.2		6.4	1.0	3.2	4.8	2.4	54.0	
Avr		9.1		110.9	13.9	0.6	0.1	1.72	135.8	
Total (%)		580.6 (63,2)		124.6 (13.6)	55.6 (6.0)	42.4 (4.6)	73.6 (8.0)	42.2 (4,6)	919,0 (100)	

Le classement par ordre décroissant des proportions mensuelles de litière totale restituée au sol ainsi que celles des différentes fractions s'établie comme suit (Fig.15 A et B) :

Classement des proportions mensuelles des apports au sol de litière totale:

Nov. (23,7 %) > **Dec.**(19.7%) > **Jan.** (19,2 %) > **Fev.** (16.7%) > **Avr.** (14,8%) > **Mar.** (5,9 %)

Classement des proportions des différentes fractions de litière restituées au sol :

Aig (63.2%) > **inf** (13,6 %) > **R** (8 %) > **El** (6 %) > **Ec = dr** (4,6 %).

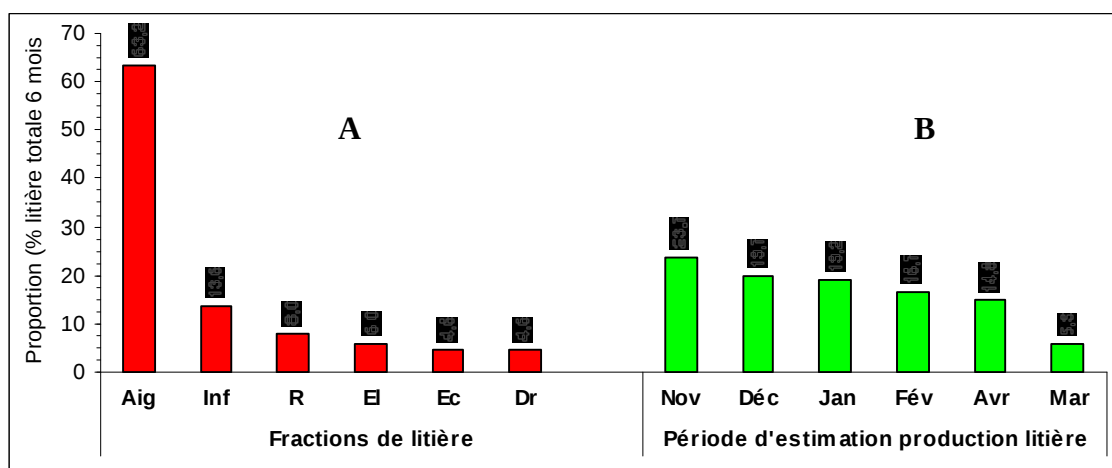


Fig.19 : Classement par ordre décroissant des proportions de la litière totale 6 mois :
 Dans la station de pin d'Alep Djerma
 A: Produites par les différentes fractions.
 B: Produite aux différents mois

Aig : aiguilles pin d'Alep, Inf : inflorescences, R : rameaux et brindilles, El : écailles, Ec : écorces, Dr : divers

3.2.2.2- Teneurs en élément minéraux des litières du pin d'Alep

Les teneurs moyennes en N, P et K de la litière totale notées pour chaque mois de prélèvement (Tableau 20) indiquent que la litière du pin d'Alep contient beaucoup plus d'azote (2.81 % MS) que de Potassium (1,71 % MS). Le phosphore est l'élément le moins présent avec seulement 0,53 g /100 g MS litière.

Les fortes teneurs de la litière en azote sont notées en automne (3.31 % en Novembre et 3.74 % en Décembre) et vers la fin de l'hiver, en Mars (3.89 % MS). Celle du potassium sont plus marquées aussi au printemps (2.39 % en novembre et 2.64 % en Décembre). Le phosphore s'accumule davantage en Mars (1.11 % contre 0.29 à 0.61 % pour les reste de la période de mesure).

Le tableau 17 révèle que l'azote de la litière du pin d'Alep est se localise principalement dans les aiguilles (3.14 % MS) et les inflorescences (2.97 % MS). Le Phosphore est plus présent dans les aiguilles et l'écorce. Le potassium s'accumule en plus forte proportion dans les écorces du pin d'Alep (2.64 % MS, contre 0.9 à 1.85 % MS dans le reste des fractions).

Tableau 16 : Teneurs moyennes mensuelles en N, P et K
de la litière totale de la pinède Djerma (% MS)

Mois	Teneur litière (% MS)		
	N	P	K
Novembre	3,31	0,55	2,39
Décembre	3,74	0,61	2,64
Janvier	3,05	0,51	1,81
Février	2,16	0,42	0,16
Mars	3,89	1,11	0,59
Avril	0,95	0,29	1,46
Moyenne litière	2,81	0,53	1,71

Tableau 17 : Teneurs moyennes des différentes fractions de litière en
N, P et K, toutes périodes comprises dans la pinède Djerma. (% MS)

Mois	Teneur de la litière (% MS)		
	N	P	K
Aiguilles pin d'Alep	3,14	0,71	1,81
Inflorescences	2,97	0,02	1,85
Ecailles	2,16	0,13	0,63
Ecorces	2,12	0,66	2,64
Rameaux et brindilles	1,24	0,35	1,45
Divers	1,83	0,21	0,90
Moyenne litière	2,81	0,53	1,71

3.2.2.3- Apports au sol des éléments minéraux par les différentes fractions de litière

En 6 mois, le sol de la pinède Djerma a totalisé un apport de 46.33 Kg / ha d'éléments minéraux N, P et K restitués par les retombées solides (tableau 19).

Cette biomasse minérale produite par la litière est composée à 55,6 % par l'Azote (25.76 Kg N /ha), 33.9 % (15.72 Kg K/ha) par le potassium et 10.5 % (4.85 Kg P/ha) par le phosphore (Tableau 18).

Le tableau 18 indique aussi que pratiquement les $\frac{3}{4}$ (71.0 %) de la masse minérale restituée au sol provient des aiguilles de pin d'Alep du fait surtout de la proportion très forte de cette fraction (63.2 % de la litière totale, tableau 16) et aussi de sa richesse élevée en N (Tableau 17).

Tableau 18 : Variations de la quantité d'éléments N .P et K restituée en fonction des différentes fractions (Kg/ha)

Eléments Fractions	N	P	K	Total (%)
Aiguilles pin d'Alep	18,25	4,15	10,50	32,9 (71,0)
Inflorescences	3,70	0,027	2,30	6,02 (13,0)
Ecailles	1,20	0,075	0,35	1,62 (3,5)
Ecorces	0,90	0,28	1,12	2,3 (5,0)
Rameaux et brindilles	0,91	0,26	1,07	2,24 (4,8)
Divers	0,78	0,09	0,38	1,26 (2,7)
Total 6 mois (%)	25,76 (55,60)	4,85 (10,47)	15,72 (33,93)	46,33 (100,0)

La fraction « Inflorescences » se classe en second rang en assurant 13.0 % (6.02 Kg NPK /ha) des apports totaux en NPK / ha.

En comparaison avec les aiguilles, les écailles, les écorces et les rameaux enrichissent beaucoup moins le sol en éléments minéraux majeurs. Cette faible contribution est liée à leur quantité et à leur teneur limitées.

Le classement des différentes fractions de litière par ordre de participation à la restitution de chacun des 3 éléments s'établit comme suit :

N : Aig > inf > El > Ec et R > Dr

P : Aig > Ec > R > Dr > El > inf

K : Aig > inf > Ec et R > El et Dr

Aig = aiguilles pin d'Alep, Inf = inflorescences, El = Ecailles,
Ec = écorces, R = rameaux et brindilles, Dr = divers

Le classement par ordre décroissant de production des différents éléments dans chacune des fractions de litière s'établit comme suit (tableau 19).

Tableau 19 : Classement par ordre d'importance de production des éléments N, P et K par différentes fractions de litière

Fraction litière	Classement quantité d'éléments apportés
Litière totale	N > K > P
Aiguille du pin d'Alep	N > K > P
Inflorescence	N > K > P
Ecailles	N > P > K
Ecorce	K > N > P
Rameaux et brindille	K > N > P
Divers	N > K > P

3.2.2.3-- Variations mensuelles des apports des éléments minéraux

La Figure 20 montrent que l'enrichissement du sol en minéraux varie dans le temps. Le sol accumule plus les éléments restitués par la litière en Automne qu'au printemps.

De novembre à janvier, le sol reçoit une masse minérale de 35.43 Kg / ha, soit 76.5 % des apports totaux par la litière.

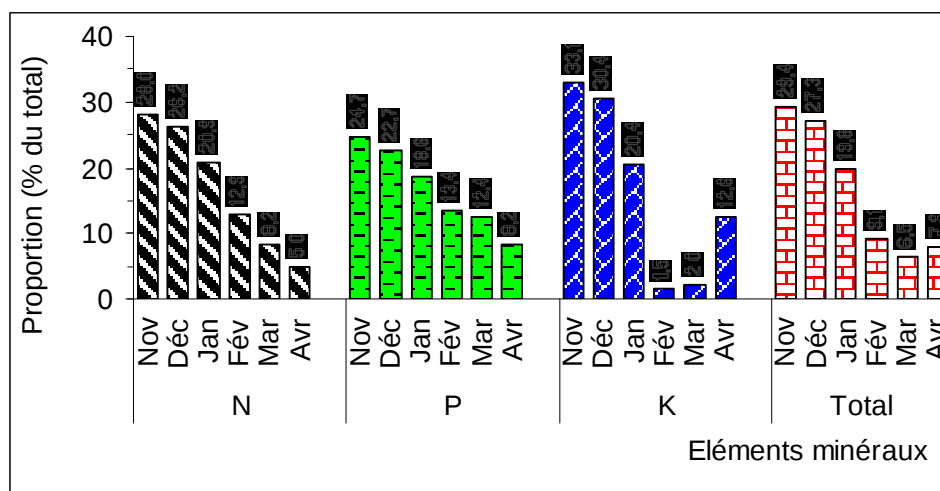


Fig. 20 : Contribution relative des différents mois dans l'apport total de N, P et K (% du total)

Le classement des mois par ordre d'importance de leur participation dans le renouvellement des réserves du sol en éléments minéraux s'établit comme suit

Nov. (29.4 %) > Déc. (27.3 %) > Jan. (19.8 %) > fév. (9.1 %) Avr. (7.9 %) > mars (6.5 %).

Globalement, les mesures des retombées solides durant une période de 6 mois ont montré que le sol de la pinède Djerma reçoit une restitution de 46.33 kg/ ha d'éléments minéraux NPK. La période allant de novembre à Décembre (automne) étant la plus productive.

Cette minéralomasse est constituée à 55.6 % par l'élément azote.

Les aiguilles de pin d'Alep sont la principale source d'apport des éléments minéraux au sol de la pinède.

3.3-MINERALOMASSE TOTALE RESTITUEE AU SOL PAR LES EAUX D'EGOUTTEMENT ET LA LITIERE

3.3.1- Station de chêne vert de Hamla

De novembre à avril, le sol de la chênaie accumule 63,23 Kg d'éléments minéraux NPK (Tableau 20). 93 % (58.76 Kg/ha) de cette minéralomasse provient de la litière tombée. L'apport par cette source s'effectue principalement en automne et au début de l'hiver (Novembre à Janvier).

Les pluviolessivats interviennent pour 7 % (4.5 Kg/ha) dans le renouvellement de la réserve du sol de la chênaie en minéraux. Cette contribution est plus forte en Avril (69.6 % des apports par les eaux d'égouttement).

La minéralomasse restituée est constituée à 81 % par l'élément azote (51.08 Kg/ha, tableau 25), suivi par le potassium (15 %). Le phosphore ne représente que 4 % (2.72 Kg/ha).

L'azote apporté au sol est produit par la litière à 98,4 % et 1.6 % par les pluviolessivats. L'origine principale du phosphore accumulé est également la litière (83 % du P total arrivé au sol). Le potassium est produit dans les proportions 1/3 (33.6 %) par les eaux d'égouttement et 2/3 par la litière (tableau 20).

Il est à noter qu'en plus de la litière et des eaux d'égouttement l'espace non planté de la pinède bénéficie d'un apport d'une faible quantité de N (1.3 Kg /ha), P (0,8 Kg /ha) et K (1,6 Kg/ha) par les eaux de pluie (Tableau 8).

Tableau 20 : Quantité mensuelle et totale de N, P et K restitués au sol de la chênaie de Hamla par les pluvioléssivats et la litière (Kg/ ha).

Mois	Sources d'apport des éléments minéraux											
	Eaux d'égouttement				Litière				Total			
	N	P	K	Total	N	P	K	Total	N	P	K	Total
Nov.	0,35	0,03	0,02	0,40	16,44	0,75	0,90	18,09	16,79	0,78	0,92	18,49
Déc.	0,13	0,08	0,07	0,29	12,90	0,62	0,70	14,22	13,03	0,70	0,77	14,51
Jan.	0,16	0,14	0,16	0,46	11,70	0,47	0,60	12,77	11,86	0,61	0,76	13,23
Fév.	0,03	0,02	0,03	0,08	5,73	0,20	0,33	6,26	5,76	0,22	0,36	6,34
Mar.	0,04	0,04	0,04	0,13	2,10	0,10	0,20	2,40	2,15	0,15	0,25	2,54
Avr.	0,12	0,14	2,84	3,11	1,37	0,12	3,53	5,02	1,49	0,27	6,38	8,13
Total	0,84	0,46	3,17	4,47	50,24	2,26	6,26	58,76	51,08	2,72	9,43	63,23

3.3.2- Station de pin d'Alep de Djerma

A l'issue de la période allant de novembre à avril, les eaux d'égouttement et la litière ont restitué 49,10 Kg/ha d'éléments NPK (Tableau 21). La litière, toutes fractions confondues assure 94,4 % (46.33 Kg/ ha) de ces apports. Les apports par cette source d'approvisionnement du sol s'effectue principalement en automne (Novembre et décembre totalisent 56.7 % = 26.26 Kg/ha des apports par la litière).

Les pluvioléssivats ne contribuent au renouvellement de la réserve du sol en NPK que pour 5.6 % (2.77 Kg/ha). Les 2/3 (1.85/2.77) des apports (2.77 Kg/ha, tableau 21) par les eaux d'égouttement sont réalisés au mois d'Avril (1.85 Kg/ha).

Pratiquement la moitié (53.6 % = 26.34 Kg/ha, tableau 21) de la minéralomasse totale restituée au sol de la pinède par les retombées biologiques est composée par l'élément azote. Cet élément est produit à 97.8 % (25,76/26,34 , tableau 21) par la litière. Le potassium représente 35,9 % (17.61 kg/ha) de la minéralomasse recueillie par le sol, et le phosphore 10.5 % (5.15 Kg/ha).

Les éléments K et P du sol renouvelés sont fournis respectivement à 89.3 % et 94.2 % par la litière.

Tableau 21 : Quantité mensuelle et totale de N, P et K restitués au sol de pinède de Djerna par les pluviolessivats et la litière (Kg/ ha).

Mois	Sources d'apport des élément minéraux											
	Eaux d'égouttement				Litière				Total			
	N	P	K	Total	N	P	K	Total	N	P	K	Total
Nov.	0,28	0,02	0,01	0,31	7,22	1,20	5,20	13,62	7,50	1,22	5,21	13,93
Déc.	0,07	0,04	0,04	0,15	6,76	1,10	4,78	12,64	6,83	1,14	4,82	12,79
Jan.	0,09	0,09	0,11	0,29	5,38	0,90	3,20	9,17	5,47	0,99	3,31	9,77
Fév.	0,03	0,02	0,02	0,07	3,32	0,65	0,24	4,21	3,35	0,67	0,26	4,28
Mar.	0,03	0,03	0,03	0,09	2,10	0,60	0,32	3,02	2,13	0,63	0,35	3,11
Avr.	0,08	0,10	1,67	1,85	1,29	0,40	1,98	3,67	1,37	0,50	3,65	5,52
Total	0,58	0,30	1,89	2,77	25,76	4,85	15,72	46,33	26,34	5,15	17,61	49,10

3.4- COMPARAISON ENTRE LES DEUX STATIONS

Pendant les six mois d'étude, le sol de la chênaie et de la pinède s'est enrichie par un dépôt important de matière organique issues des litières. Les apports dans la chênaie sont supérieurs à ceux de la pinède (1059.2 contre 9.19.0 Kg MS /ha pour la pinède, Tableau 21). La différence est de 140 Kg MS/Ka (13.2 %).

Dans les deux stations, la plus grande partie de la litière arrive au sol au cours de la période allant de Novembre à janvier (88.4 % dans la chênaie et 62.6 % dans la pinède).

Cette litière est composée surtout par les feuilles, les inflorescences et les fruits de l'espèce forestière dominante (chêne vert, pin d'Alep), qui totalisent 83.3 % des apports dans la chênaie (Tableau 13) et 76.8 % dans la pinède (Tableau 15).

Le tableau 28 montre que la Minéralomasse totale produite par les retombées biologiques est 22,3 % (14.13 Kg minéraux / ha) supérieure à celle reçue par le sol de la pinède (63.23 Kg / ha pour la chênaie et 49.10 Kg/ha pour la pinède).

A l'inverse des éléments P et K qui sont apportés en quantités deux fois moins élevées dans la chênaie, les retombées du chêne vert fournissent 2 fois plus d'azote au sol que celles du pin d'Alep (51.08 Kg N/ha pour le chêne vert et 26.34 Kg/ha pour le pin d'Alep, Tableau 22).

Le chêne vert et le pin d'Alep sont des espèces qui enrichissent le sol forestier par des apports importants d'éléments minéraux majeurs. Cette enrichissement améliore la fertilité du substrat favorisant entre autres la régénération naturelle et la productivité des forêts.

Tableau 22 : Comparaison des minéralomasses restituées au sol de la chênaie Hamla et de la pinède Djerma

mois	Biomasse litière (Kg MS/ha)		Minéralomasse (Kg/ha)							
			N		P		K		Total	
	Chênaie	Pinède	Chênaie	Pinède	Chênaie	Pinède	Chênaie	Pinède	Chênaie	Pinède
Nov	349.7	217.9	16,79	7,50	0,78	1,22	0,92	5,21	18,49	13,93
Déc	260.5	180.9	13,03	6,83	0,70	1,14	0,77	4,82	14,51	12,79
Jan	281.7	176.7	11,86	5,47	0,61	0,99	0,76	3,31	13,23	9,77
Fév	111.9	153.8	5,76	3,35	0,22	0,67	0,36	0,26	6,34	4,28
Mar	58.4	54.0	2,15	2,13	0,15	0,63	0,25	0,35	2,54	3,11
Avr	60.0	135.8	1,49	1,37	0,27	0,50	6,38	3,65	8,13	5,52
Total	1059.2	919.0	51,08	26,34	2,72	5,15	9,43	17,61	63,23	49,10

Conclusion

CONCLUSION

Cette étude sur les retombées biologiques et leurs apports en éléments biogènes N, P et K dans deux stations forestiers, une pinède à pin d'Alep à Djerma et une chênaie à chêne vert à HAMLÀ a permis de tirer plusieurs conclusions sur leur fonctionnement.

Durant la période allant de novembre à avril, les retombées biologiques fournissent au sol des deux stations forestières près de 1 tonne de matière sèche provenant de la litière, composée essentiellement par les feuilles, les inflorescences et les fruits des essences principales (chêne vert ou pin d'Alep). Cet apport de matière organique se produit dans sa majorité de novembre à janvier. La chênaie produit relativement plus de litière que la pinède.

Les retombées biologiques, toutes origines confondues, assurent un approvisionnement du sol en éléments minéraux N, P et K de l'ordre de 63.23 Kg/ha/6 mois pour la chênaie et 49.10 Kg/ha / 6 mois pour la pinède. Dans les deux stations, la litière assure entre 93 (chêne) et 94 % (Pinède) de la minéralomasse totale restituée. Les pluviollessivats contribuent pour 7 (chêne) à 6 % (Pinède) dans la reconstitution des éléments minéraux du sol.

Dans la minéralomasse totale accumulée dans les deux types de forêts, l'élément azote est de loin le plus dominant (81 % de N dans la minéralomasse de la chênaie et 53.6 % dans celle de la pinède). En comparaison avec la pinède, l'azote est 2 fois plus élevé dans la minéralomasse de la chênaie. En revanche, la minéralomasse du pin d'Alep est beaucoup plus riche en potassium et en phosphore que celle du chêne vert.

Ce travail a apporté des précisions sur l'aspect quantitatif des retombées biologiques dans les deux écosystèmes. Cependant, il conserve la caractéristique de toutes recherches de ce genre dont les résultats ne peuvent être très fiables sur une durée de six mois.

Des travaux d'évaluation des retombées biologiques établis sur une période plus longue, portant si possible sur plusieurs années sont recommandés. Cette démarche associée à une technique de récolte de données plus performante, ainsi qu'à des essais multilocaux, aboutiraient à des résultats plus fiables.

Références bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABDESSEMED. K., 1981 : Le cèdre de l'atlas (*Cedrus atlantica Manetti*) dans les massifs de l'Aurès et du Belezma. Etude phytosociologique et problèmes de conservation et d'aménagement. Thèse. Doct. Univ. Aix Marseille III, 199 p.

AISSI. M., 1991 : Recherches sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers à Cèdre de l'Aurès (*Cedrus atlantica* Manetti). Contribution à l'étude des litières Contribution à l'étude de la Biomasse et Minéralomasse souterraine dans deux stations (Belezma, S'gag. Mémoire Ing. I.N.E.S.Agro, Batna, 89 p.

ANONYME, 2000 : Cycles des éléments minéraux Revu. For. Fr. 21 (2), 65 -67.

ANONYME, 2003 : Dynamique des sols forestiers. Rev. For. Fr.12-15 pp.

AUSSENAC G., 1968: Interception des précipitations par le couvert forestier. Ann. Sci. Forest, 25 (3), 135 -156

AUSSENAC G. ,1970 : Action du couvert forestier sur la distribution au sol des précipitations Ann.Sci.Forest ,25 (3), 135-156.

BAISE D. et DJABIOL B., 1955 : Guide pour la description des sols. Edt. INRA, Paris, 119-206.

BEGHIANI S., 2006 : Communication orale.

BENMESSOUDA M. ,1999 : Contribution à l'étude de l'influence des litières forestières (nature et age) sur la mobilisation de certains éléments chimiques (P, K, Ca et Mg) d'un gré ferrière des monts de chelia W. KHENCHELA. Mémoire Ing. I.N.E.S.Agro, Batna, 66p.

BENSELEMA M. ,1993 : Couverture éco-pédologie et rôle de la matière organique dans la différenciation des sols en milieu humide sous couvert forestier. Mémoire Magistère en science agro. El-harrach, 112 p.

BENSID. Z., 1989 : Influence de la végétation (feuille et résineux) sur l'évolution de la matière organique dans les sols forestiers des monts de BELEZMA Mémoire Ing. I.N.E.S.Agro, Batna, 20-23pp.

BERTHELIN J. et TOUTAIN F. , 1979 : Constituants et propriété des sols. BIOL. Des sols in pédologie.T II., 124-145.

BIOFFIN et al. ,1990 : La structure du sol et son évolution : conséquences économiques maîtrisés par l'agriculture. Edit. INRA, 216 p.

BONNEAU. M, et al. , 1986 : Effets des boisements résineux purs sur l'évolution de la fertilité du sol : premiers résultats obtenus sur bassins versants expérimentaux du Mont Lozère (Lozère, France). Ann. Sci. For. 43 (2),147-164.

BONNEAU M., 1992 : Le magnésium chez les arbres forestier connaissances générales et problèmes identifier en France. Edit. INRA. Paris, 270 p.

BOUCHE R., 1987 : Schématisation spatiotemporelle des interrelations sol-écosystème. Rev. Ecol. Biol.24 (3), 243-259.

BOUDY P., 1954 : Economie forestière Nord Africaine. Edit. LAROUSSE, 375 p.

BOUDY P., 1955 : Guide du forestier en Afrique du nord. Edit Maison rustique, Paris, 505 p

BOUKERKAR H., 1997 : L'influence de certains facteurs bio-édaphiques sur le comportement des jeunes plantules de pin d'Alep (*Pinus halpensis Mill*). Mémoire Ing. I.N.E.S.Agro, Batna, 48 p.

BOURAS L., 1990 : Contribution à la quantification et à la caractérisation de la litière du cèdre (*Cedrus atlantica Manetti*). Mémoire Ing. I.N.E.S.Agro, Batna, 62p.

CHELIHI S., 2003 : Contribution à l'étude d'une fertilisation organo-minérale (NPK, NK, PN et litière) sur le comportement des jeunes semis de pin d'Alep (*Pinus halepensisM*) en pipinière. Mémoire Ing. Univ. Batna , Département Agonomie ,pp ;15-20.

CLEMENT. B. et TOUFFET. J, 1980 : Réparation et évolution de la matière organique et des éléments biogènes dans la lande mésophile des Monts d'Arrée.Bull. Ecol .t.11 (3), 307-314.

DHIMI M.L., 1993. Influence d'une plantation artificielle de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) sur quelques caractéristiques physiques et biologiques du sol en zone semi-aride. Etude comparative. mémoire. Ing.I.N.E.S.Agro. Batna, 98p.

DOMMERGES Y., et MANGENOT F., 1970 : Écologie microbienne du sol Edit. Masson, Paris. 769 p.

DOUG M., 2003 : L'humus dans les forêts nordiques : Combien en faut-il ? Bull.Info Info-forêts.

DOMMERGES Y., et MANGENOT F., 1970 : Écologie microbienne du sol Edit. Masson, Paris. 769 p.

DUCHAUFFOUR. PH, 1977. Pédologie et classification Pédologie tome I .Edit . Masson et C^{ie}. Paris., 25-35.

DUCHAUFFOUR PH. et SOUCHIER B., 1977 : Pédologie. 1- Pédogenèse et classification. Edition MASSON, 459 p.

DUCHAUFFOUR. PH., 1988 : Abrégé de pédologie. Edit. Masson. Paris., 25-35.

DUCHAUFFOUR PH., 1989 : Pédologie et groupes écologiques -rôle du type d'humus et du pH Bull. Eco. T. 20(1), 1-6.

DUTHIL J., 1973. Eléments d'écologie et d'agronomie. T (II). Edit. JB. Bailliere, Paris. P265.

DUVIGNEAUD P., 1982 : La synthèse écologique, Populations, communautés, Ecosystèmes Biosphère, Noosphère, 2^{ème} édition, Paris, 380p.

ESCADERO A. et al, 1987 : Variations saisonniers de production de la litière par plusieurs espèces ligneuses méditerranéennes.

FEZAIM A., TURPAULT MP. et RANGER J., 1997 : Répartition des nutriments dans un sol brun acide développé sur turf (Beaujolais, France). Conséquences pour l'évolution de la fertilité minérale à long terme. Ann .Sci. INRA n°3, 371-378.

FORGEARD. F., 1977 : L'écosystème de lande dans la région de Paimpont. Etude du cycle de la matière organique et des éléments minéraux. Thèse Docteur troisième Cycle. Univ. Sciences biologiques, Rennes, 159-178.

FORGEARD. F, GLOAGUEN C et TOUFFET G., 1979 : Interception des précipitations et apport au sol d'éléments pluvioléssivats dans quelques landes Armoricaïnes. Bull.Eco, t 10, 1, 29-41pp.

FORGEARD F, GLOAGUEN C. et TOUFFET G., 1980 : Interception des précipitations et apport au sol d'éléments minéraux par les eaux de pluie et les pluvioléssivats dans une hêtraie atlantique et dans quelques peuplements résineux en Bretagne. Ann. Sci. Forest, 37 (1) t 1, 53-71pp.

FRANCOIS F., MERTENS P., ANDRE P. et DEVILLEZ F., 1984 : Egouttement en jeunes poussières et intensité de la première éclaircie. Ann. Sci. For ,41(4), 439-448.

GAUQUELIN. et al., 1992. Apport d'éléments minéraux aux sols par l'intermédiaire de la litière, des pluies et pluvioléssivats dans un peuplement à genévrier thurifère (*Juniperus Thurifera*) du haut atlas occidental (Maroc) Ann. Sci.For, N°5, .49 p.

GLOAGUEN J.C. et TOUFFET J., 1982 : Évolution du rapport N/C dans les feuilles et au cours de la décomposition des litières sous climat atlantique.

HAMDOUD N., 1991 : Influence des résidus organiques (paille- racines) sur la mobilisation du phosphore et du potassium dans un sol calcaire de HAMLAW de Batna.

HELLER R., 1969 : Biologie végétale, Tome II. Nutrition et métabolisme. Edition. MASSON, 533 p.

HELLER R., ESNAULT et LANCE C, 1998 : Physiologie végétale Nutrition. Edit. Dunod, 30-167.

JUDICAEL M, 2006 : effet des essences forestières sur la biodégradation des matières organiques : impact sur la dynamique et le cycle du carbone , et de l'azote des éléments minéraux. Thèse Doctorat, université de Nancy 1, 308p.

KADIK B., 1987 : Contribution à l'étude du pin d'Alep (*Pinus halpensis*) en Algérie : Ecologie, dendromètre, Morphologie. Edit. Office des publications universitaires Algérie.,74-127 .

LANIER L., JOLY P. et BELLEMER A., 1976 : Mycologie et Pathologie forestiere.Paris, 465 p.

LEMEE G., 1974 : Recherche sur les écosystèmes des réserves biologiques du foret de Fontainebleau.IV- Entrées d'éléments minéraux par les précipitations et transfert au sol par le pluvioléssivage. Eco. Plant. Tome 9, 187-200.

LEMEE. G., 1982 : Recherche sur les écosystèmes des réserves biologiques du foret de Fontainebleau.VIII- Eléments du bilan de l'azote du sol. Rev. Ecol. Bio. Sol. 19 (4), 485-499.

LEONARDI S. ; RAPP M. et GUARCIA D., 1996 : Biomasse, productivité et transfert de matière organique dans une séquence altitudinale de Peuplement de *Castanea Sativa* MILL .ANN . Sci. for 53, 1031-1081.

MANGENOT F., 1970 : Les litières forestières. Signification écologique et pédologique. Rev. For Fran. 4., 339-354.

MANGENOT F., et TOUTAIN F., 1980 : Les litières en actualité d'écologie forestière, Pessan .Edit. Gautier –Villard. Paris. Pp : 3-59.

MARTINA A.; GALARDO J.E. et SANTA –REGINA I., 1996 : Aboveground litter production and bio élément potentiel return in evergreen Oak (*quercus rotundifolia*) woodland near Salamanca (Spain).An .sci. for . 53, 811-818.

MEDDOUR H., 1983: Contribution à l'étude de croissance de pin d'Alep en relation avec les groupements végétaux dans la foret de Baine.Husi. Inf.Ag .INA. Alger : 66p.

MELLAOUI F., 1990 : Variations mensuelles des retombées des litières et des apports en éléments minéraux et azote du sol par leur intermédiaire dans une forêt du pin d'Alep (Beni Imloul).Mémoire .Ing. I.N.E.S.A.Batna.

MOREL R., 1996 : Les sols cultivés .2^{ème} édition Lavoisier, Paris, 399 p.

MUSY A. et SOUTTER M., 1991 : Physique du sol presse poly technique universitaire romande lausane, 335p.

NAHAL I., 1962 : Etude de pin d'Alep harmonique phyto-écologie et sylvicole, tom 1, fasci 4, 208p.

NKUNDIKIJ E., DESSAUX V., HALITIM A., GALBEN T. et YGATOU M., 1976 : Essai de la caractérisation de la matière organique dans quelques sols du Nord d'Algérie tire d'une anale de l'INA. Vol, VI n 2,33-60.

NYC C., 1987 : Fonctionnement du sol d'un écosystème forestier : étude des modifications dues à la substituant d'une plantation d'épicéa commun (*Picea abies*) à une feuillue mélangée des ardennes. Thèse. Doct. Science naturelle. NANCY.

NYS C., RANGER J., et COLLIN- BELGAND M., 1995 : Le cycle biogéochimique des éléments majeurs dans les écosystèmes forestiers. Importance dans le fonctionnement des sols. Edit : Association française pour l'étude du sol, volume 2 N (2), 119-134.

OLAH G., et KILBERTUS G., 1978 : Biodégradation et humification. Edit. Les presses de l'université LAVAL, 330p.

OUELD RABAH F., 1991 : Influence de la nature des litières forestières (cèdre, chêne) sur la mobilisations de quelque éléments minéraux : Fe, P, K , Na, Ca et Mg d'une roche mère (grés barrémien) des monts de B ELZMA. Mémoire. Ing. I.N.E.S.A de Batna, 67p.

PESSON P., 1980 : Actualité d'écologie forestière (sol, flore, faune). Paris Gauthier- Villars, 517p.

POUGET M., 1980. Les relations sol- végétation dans les steppes Sud-Algeroises. Edit: ORSTOM. Paris, 555 p.

PREVOST P., 1990 : Les bases de l'agriculture moderne. Edit :Lavoisier, Paris, 325 p.

RANGER J. et al., 1995 : La dynamique d'incorporation d'éléments nutritif dans un Peuplement de douglas (*Pseudotsuga mesiziessi* franco) conséquences pour la gestion sylvicole. Rev. For. Fr. XL. XIII.3, 217-230.

RANGER J ; GERARD F ; LINDEMAINN M ; GELHAYE D and GELHAYE L , 2003: dynamics of litter fall in a chronosequence of dauglas-fire (*pseudotsiga menziesii* France) stands in the beaujolais monts (France), Ann. For. Sci. 60:475-578PP.

RAPP M., 1969 : Apport d'éléments minéraux au sol par les eaux de pluvioléssivage sous des peuplements de *Quercus ilex*, *Quercus lanuginosa lamk* et *Pinus halepensis mill*. Ecologie Plant, 71-92.

RAPP M., 1971 : Cycle de la matière organique et des éléments minéraux dans quelques écosystèmes méditerranéens. Dynamique saisonnière de deux sols en climat tempéré. Edit. C. N. R. S. Paris VII, 253 p.

RAPP M., 1977 : Cycle de la matière organique et des éléments minéraux dans quelque Écosystèmes méditerranéens dynamiques saisonniers de deux sols en Climat tempéré. Edit. C N R S, 79-104.

ROSEL et CHASSIN, 1998 : Dynamique des composés organiques, incluant dans des polluants , dans le système sol.Edit. Sci. Regist. N° 3007.Pp :22-33.

SELMi M., 1985 : Différenciation des sols et fonctionnement des écosystèmes forestiers sur grés numidien de Kroumirie (Tunisie).Ecologie de la Subéraie Zéenaie.Thèse .Doc.Univ. Nancy I.200p.

STAR M ; SAARSALMI A ; HOKKANEN T, HERELA P and HELMESSARI H.S (2005)- models of litter fall production for scots pine (*pinus sylvestris* L), in Finland using stands, site and climate factors , for école manage , 205, 215.

TOUTAIN F., 1981 : Les humus forestiers structure et mode de fonctionnement Revue. For. Fr.. 449-463.

TOUTAIN F., 1979 : Constituants et propriétés des sols.Biol. Des sols in pédologie Tome II.

TOUTAIN F., 1984 : Biologie du sol, livre jubilaire du cinquantenaire de l' A. F. E. S, pub C.N.R.S, I.NRA, OROSTOM, DIDI, 363 p.

TOUTAIN F., 1987 a : Les litières : siège de systèmes interactifs et moteur de ces interactions. Rev. Ecol. Biol. Sol, 24 (3), 231-242.

TOUTAIN F., 1987 b : Les humus forestiers biodynamique et mode de fonctionnement. Edit.CROP de Roanne, 231-242.

TOUTAIN F., DIAGNE A., et LETACON F., 1987 : Effets d'apports d'éléments minéraux sur le fonctionnement d'un écosystème forestier de l'Est de la France. Rev. Ecol. Biol. Sol, 24 (3), 283-300.

VILLECOURT P. et ROOSE E., 1978 : Charge en azotes et en éléments minéraux majeurs des eaux de pluies et de pluvioléssivage et de drainage dans la savane du lamot ;(Cote d'Ivoire). Rev. Ecol.Biol.Sol. 15(1), 1-20.

TOUNSI H., 1990 : Etude du pluvioléssivage par égouttement et des apports par les pluies des éléments biogènes dans deux peuplements de cèdre (au S'gag et à Theniet- El- Gontas). Mémoire Ing. I N.E.S d'agronomie Batna, 51 p.

VEDYJC et BRUCKERT S., 1979 : Les solutions du sol, composition et signification pédologique in BONNEAU et SOUCHIER. Constituant et propriétés du sol. Pédologie. Tome 2. Edit. Masson Paris, 161-181.

VIALARD-GOUDOU A., et RICHARD C., 1956 : Etude pluviométrique, physico-chimique et économique des eaux de pluie à Saigon (1950-1954). Vol XI. N°1, 74-88.

Résumé

L'étude porte sur les retombées biologiques dans deux écosystèmes forestiers, une chênaie à *Quercus ilex* et une pinède à *pinus halepensis* MILL situés dans le Parc national de Belezma.

Le suivi des quantités de pluvioléssivat et de litière sur la période allant de novembre à avril a montré que les 2 stations accumulent une biomasse de matière organique de l'ordre d'une tonne de matière sèche.

Les trois éléments minéraux N, P et K accumulés par le sol au cours de cette période totalisent 63.23 Kg /ha sous le chêne vert et 49.10 Kg /ha sous le pin d'Alep.

La quasitotalité de la minéralomasse restituée au sol est issue de la litière, et précisément des feuilles, des inflorescences et des fruits des espèces dominantes.

L'élément azote est le composant principal de la minéralomasse produite dans les deux écosystèmes Il est deux fois plus élevé dans la minéralomasse du chêne que dans celle du pin d'Alep.

Mots clés : retombées biologiques, litière, pluvioléssivat, éléments biogènes, N, P, K, pin d'Alep, chêne vert.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى حساب كمية التساقطات البيولوجية الصلبة و السائلة و كمية المعادن الموجودة فيها من أزوت, فسفور و بوتاسيوم و ذلك بغابة الصنوبر الحلبي *Pinus halepensis* و غابة البلوط الأخضر *Quercus ilex* على مستوى الحظيرة الوطنية بلزمة بالاوراس.

و قد قمنا بمتابعة التساقطات البيولوجية خلال فترة دامت ستة أشهر من نوفمبر إلى أفريل .

وقد قدرت كمية التساقطات البيولوجية الصلبة في كلا الغابتين بحوالي 1 طن /هكتار من المادة العضوية الجافة.

تبين من خلال النتائج المتحصل عليها إن التربة الغابية تستفيد من كمية جد هامة من العناصر الكيميائية المذكورة سابقا عن طريق التساقطات البيولوجية . وقد قدرت هذه الكمية بـ 63,23 كلغ /هكتار بالنسبة لغابة البلوط الأخضر و 49,10 كلغ /هكتار بالنسبة للصنوبر الحلبي.

إن أغلب المعادن التي تعاد إلى التربة الغابية مصدرها خاصة الأوراق و الأزهار و الثمار للأصناف الشجرية الغالبة.

أثبتت التحاليل الكيميائية أن عنصر الأزوت هو الأكثر تواجدا في هذه التساقطات خاصة في غابة البلوط الأخضر حيث بلغت كميته ضعف الكمية المتواجدة بغابة الصنوبر الحلبي.

الكلمات الدالة : التساقطات البيولوجية الصلبة ،السائلة، العناصر المعدنية N.P.K ، الصنوبر الحلبي، البلوط الأخضر.