



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Batna 1



Institut des Sciences Vétérinaires et des Sciences Agronomiques

Département des Sciences Agronomiques

THESE

Pour l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences

Filière Sciences agronomiques

Option : Foresterie

Présentée par

Mr BENHIZIA Toufik

Thème

Variations spatio-temporelles de l'interception des précipitations et des apports des éléments biogènes par les retombées biologiques dans les chênaies à *Quercus ilex* L.

Soutenue le 28/02/2019

Devant le jury composé de:

Mr MALKI Hamana	MC (A). Université de Batna 1 :	Président
Mr OUDJEHIH Bachir	Prof. Université de Batna 1 :	Rapporteur
Mr BENTOUATI Abdallah	Prof. Université de Batna 1 :	Examineur
Mr BENSALIM Rabeh	Prof. Université de Skikda :	Examineur
Mr HEDDAM Salim	MC (A). Université de Skikda :	Examineur

Année universitaire : 2018 / 2019

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 de recherche et pour la réalisation de ce travail que j'espère être utile.

Une thèse est le résultat de l'aide et du soutien scientifique de nombreuses personnes rencontrées au fil des collaborations. Je suis convaincu que je n'aurais jamais pu réaliser cette thèse sans le soutien d'un grand nombre de personnes qui, par leur apport scientifique ou technique, leur générosité et l'intérêt manifestés à l'égard de ma recherche ou, tout simplement par leur amitié m'ont permis de progresser et de mener à terme ma thèse.

Mes premiers remerciements s'adressent à mon directeur de thèse, le professeur OUDJEHIIH Bachir du département des sciences agronomique de l'université de Batna 1 qui m'a offert l'opportunité de réaliser cette fabuleuse aventure. Je tiens à le remercier pour sa patience, la correction du manuscrit et pour ses conseils précieux durant la préparation de cette thèse. Son soutien, sa clairvoyance et ses compétences m'ont été d'une aide inestimable.

Il m'est agréable d'exprimer toute ma reconnaissance et mes remerciements à Monsieur MALKI Hamana Maître de Conférences à L'Université de Batna 1, pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail et pour nous avoir honoré de présider le jury de cette thèse.

Je tiens à remercier aussi vivement Monsieur BENTOUATI Abdallah, professeur à l'Université de Batna1, ainsi que Monsieur BENSALIM Rabeh professeur et Monsieur HEDDAM Salim Maître de conférences, tous deux de l'Université de Skikda, d'avoir accepté d'examiner et de juger cette thèse.

Mes sincères remerciements vont également à mon ami LEBBAL Salim pour son aide, ses encouragements et l'ambiance agréable tout au long de ce travail.

Je tiens à remercier également Messieurs David GASPAROTTO, Bernard JABIOL et Christophe CHRISTIANE pour m'avoir accueilli au sein de l'AGROPARISTECH centre de Nancy (France) durant mon stage.

J'en profite pour remercier aussi l'équipe du secrétariat du centre de documentation de l'ENGREF pour avoir toujours répondu à mes questions les plus diverses.

Merci à tous les cadres de la conservation des forêts de la wilaya de Batna ayant contribué de près ou de loin à ce travail de thèse, notamment madame Behloul wassila et monsieur Briki S.

Je remercie chaleureusement Monsieur Hadji Nouredine responsable du Laboratoire (sol et végétal) de l'institut des sciences vétérinaires et sciences agronomiques, pour sa gentillesse, ses conseils, sa disponibilité et sa contribution.

Ce travail de thèse est l'aboutissement de trois années successives de suivi sur le terrain pendant lesquelles de nombreuses personnes ont apporté leur contribution.

Je profite de l'occasion pour dire à ces guerriers, sans vous les différentes expérimentations de cette thèse n'auraient pas été menées à leur terme.

Un merci spécial à mon ami Djemai qui m'a aidé durant toutes les expérimentations. Il m'est impossible de ne pas le remercier pour sa bonne humeur et sa patience.

La palme d'or du soutien revient, bien évidemment à ma femme, Yasmina , qui m'a encouragé et soutenu, tout au long de ma thèse. Sa présence à mes côtés et les concessions qu'elle a su faire m'ont permis de poursuivre la recherche scientifique. Je la remercie d'être toujours à mes côtés et d'avoir supporté et partagé mes humeurs changeantes de doctorant en foresterie avec tout ce que cela implique de joie, de déception, de fatigue, et de rigolade. Merci d'être toujours là pour moi et sans toi ma vie ne serait pas aussi belle.

J'adresse enfin mes sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou loin à la réalisation de cette thèse.

Dédicace

À la mémoire de ma mère.

J'aurais bien voulu que tu sois parmi nous en ce jour mémorable.

Que la clémence de Dieu règne sur toi et que sa miséricorde apaise ton âme.

A ceux qui ont dessiné les plus belles images de ma vie, qui me poussent aujourd'hui vers l'avant et rassure mes pas, qui m'ont tant appris et ont fait de moi ce qui je suis, que Dieu les garde, joie de ma vie :

Mon père.

Ma femme.

Mes chers frères.

Mes chères sœurs.

Toutes les personnes qui m'ont aidé particulièrement mon amis et confrère Lebaal salim.

Tous mes enseignants (Primaire, moyenne, secondaire et universitaire)

Mes amis :Abdesaalem , Baziz, Walid, Habib, Dahmen, Youcef ,Rahim , Abdelghani et Samir.

Tous les doctorants de ma promotion.

Au Quercus ilex de mon enfance, qui m'a donné le goût des sciences forestières.

Un peuple sans forêts est un peuple qui meurt

André Theuriet (1833-1907)

Toufik BENCHIZIA

Liste des figures

N°	Titre	Page
1	Schéma représentant la répartition de la pluie arrivant sur le couvert forestier et les différentes voies suivies par l'eau pour rejoindre le sol.	23
2	Principaux écosystèmes forestiers de l'Est algérien source.	41
3	Répartition du chêne vert en Algérie.	46
4	Situation géographique des stations d'étude.	53
5	Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson pour la station d'Ain Skhouna (moyennes calculées sur la période de 1989-2010).	56
6	Climagramme d'Emberger pour la station de Station météorologique de Ain Skhouna Batna (1989-2010).	57
7	Dispositifs utilisés pour récupérer les eaux d'égouttement (a), de précipitations (b) et d'écoulement (c).	60
8	Dispositif de quadra à la litière sur son support en bois (A) et la grille (B) en plastique placée au fond.	62
9	Les trois fractions des litières considérées (A: Feuilles de chêne vert, B : bois brindilles et écorce et C : fruits et inflorescences).	62
10	Variation intra annuelles des précipitations dans la chênaie de Hamla au cours de trois années expérimentales.	66
11	Variation inter-annuelle par mois des précipitations dans la chênaie de Hamla.	66
12	Répartition mensuelle de la pluviométrie moyenne (2011-2013) dans la chênaie de Hamla.	66
13	Variation itra annuelles des précipitations enregerstées dans la chênaie de Larbaa au cours de trois années expérimentales.	69
14	Variation interannuelles des précipitations par mois dans Larbaa.	69
15	Répartition mensuelles de la pluviométrie moyenne (2011-2013) de la chênaie de Larbaa.	69
16	Variation intra annuelles des précipitations enregistrées dans la chênaie de Marconna au cours de trois anneés expérimentales.	71
17	Variation inter annuelles des précippitions enregistrées dans la chênaie de Marconna au cours de trois années expérimentales.	72
18	Répartition moyenne de la poluviométrie moyenne (2011-2013) de la	

	chênaie de Marcoona.	72
19	Comparaison des hauteurs annuelles des précipitations des 3 stations par année de mesure.	74
20	Variations inter-annuelles des eaux d'égouttement mesurées dans la chênaie de Hamla au cours des 12 mois des années 2011, 2012 et 2013.	77
21	Variations intra-annuelles des eaux d'égouttement dans la chênaie de Hamla au cours des années 2011, 2012 et 2013.	77
22	Distribution mensuelle moyenne (3 ans) des eaux d'égouttement dans la station de Hamla.	78
23	Fluctuation du coefficient de variation (%) interannuelles des hauteurs d'eau égouttée dans la station de Hamla (2011 à 2013).	78
24	Variation intra annuelle des eaux d'égouttement dans la chênaie de Larbaa au cours de trois années (2011-2013) expérimentales.	81
25	Variation inter annuelle des eaux d'égouttement dans la chênaie de Larbaa de trois années (2011-2013) expérimentales.	82
26	Distribution mensuelle moyenne des eaux d'égouttements de trois années dans la station de Larbaa.	82
27	Variation intra annuelles des eaux d'égouttements dans la chênaie de Marconna au cours de trois années (2011-2013) expérimentales.	84
28	Variation inter annuelle des eaux d'égouttemnt dans la chênaie de Marconna.	84
29	Comparaison des hauteurs annuelles des égouttements des 3 stations par année de mesure.	85
30	Variation inter-annuelles des eaux d'écoulement dans la chênaie de Hamla au cours des années 2011, 2012 et 2013.	87
31	Variations intra-annuelles des eaux d'écoulement dans la chênaie de Hamla au cours des années 2011, 2012 et 2013.	88
32	Variation inter annuelles des eaux d'écoulement dans la station de Larbaa pour les trois ans d'étude.	90
33	Variation intra annuelles des eaux d'écoulement dans la station de Larbaa au cours des trois années expérimentales.	90
34	Variation interannuelles des eaux d'écoulement dans la station de Marconna au cours de trois années d'études.	92

35	Variation intra annuelles des eaux d'écoulement dans la station de Marconna au cours des trois années d'études.	92
36	Variations mensuelles interstations des eaux d'écoulement au cours des 3 années de mesure.	94
37	Comparaison des hauteurs annuelles des écoulements de trois stations par année de mesure.	94
38	Variations inter-annuelles des eaux d'interception dans la chênaie de Hamla au cours des années 2011, 2012 et 2013.	95
39	Variations intra-annuelles des eaux d'interception dans la chênaie de Hamla au cours des années 2011, 2012 et 2013.	96
40	Variation du taux mensuel moyen (3 ans) d'interception dans la station de Hamla.	96
41	Variation intra annuelles des eaux d'interception dans la station de Larbaa au cours de trois années d'études.	98
42	Variation inter annuelles des eaux d'interception dans la station de Larbaa au cours de trois années d'études.	99
43	Variation interannuelle par mois des eaux d'interception dans le taillis de Marconna.	100
44	Variation intra-annuelle des pluies interceptées à Marconna en 2011, 2012 et 2013.	100
45	Taux moyens mensuels des eaux interceptées à Marconna.	100
46	Comparaison des hauteurs annuelles des interceptions de 3 stations par année de mesure.	102
47	Egouttement en fonction des précipitations pour les trois ans d'étude à Hamla.	103
48	Egouttement en fonction des précipitations au cours des 3 années d'étude à Larbaa.	104
49	Egouttement en fonction des précipitations à Marconna au cours des 3 années d'étude.	105
50	Ecoulement (mm) en fonction des précipitations (mm) pour les trois ans d'étude.	106
51	Ecoulement en fonction des précipitations au cours des trois années	

	d'étude à Larbaa.	106
52	Ecoulement en fonction des précipitations au cours des trois années d'étude à Marconna.	107
53	Interception (mm) en fonction des précipitations (mm) au cours des trois années d'étude à Hamla.	108
54	Interception en fonction des précipitations durant les trois années d'étude à Larbaa.	109
55	Interception en fonction des précipitations des trois ans d'étude pour le taillis de Marconna.	109
56	Proportions (%) moyennes des fractions de litière dans les deux stations.	111
57	Variation inter et intra-annuelle de la production totale de litière dans les deux stations.	114
58	Variation mensuelle de l'apport en K par les précipitations dans les deux stations en 2012 et 2013.	120
59	Variation mensuelle de l'apport en N par les précipitations dans les 2 stations en 2012 et 2013.	120
60	Variation mensuelle de l'apport en P par les précipitations dans les deux stations en 2012 et 2013.	121
61	Variation interannuelle et inter-station de l'apport en NPK par égouttement.	124
62	Variation inter-stations du taux moyen d'apport en N, P et K par égouttement.	124
63	Variations des apports mensuels en N,P et K par la litière dans la chênaie de Larbaa.	130
64	Variations des apports mensuels en N,P et K par la litière dans la chênaie de Marconna.	130

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
1	Synthèse bibliographique des résultats d'études relatives à l'interception des précipitations par un couvert forestier.	29
2	Apport au sol d'éléments minéraux (N, P et k) par les eaux de pluie dans différentes régions du globe (Kg / ha / an).	39
3	Apports des éléments biogènes (N, P et K par les eaux d'égouttements dans différents pays et sous diverses essences (en Kg/ ha/an).	40
4	Moyennes mensuelles des pluies (Station Ain Skhouna Batna (1989-2010).	54
5	Les températures moyennes mensuelles (Station Ain Skhouna Batna ,1989-2010).	55
6	Humidité relative moyenne mensuelle (Station Ain Skhouna Batna (1989-2010).	55
7	Vitesse moyenne mensuelle du vent m/s (Ain Skhouna Batna ,1989-2010).	55
8	Appréciation de la signification de la variation inter et intra-annuelle des quantités des précipitations dans la station de Hamla par l'ANOVA.	65
9	Répartitions en classes des quantités des précipitations journalières enregistrées durant la période d'étude à Hamla.	67
10	Appréciation de la signification de la variation inter et intra-annuelle des précipitations dans la station de Larbaa par l'ANOVA.	68
11	Répartitions en classe de quantité des précipitations enregistrées durant la période d'étude.	70
12	Appréciation de la signification de la variation inter et intra-annuelle des précipitations dans la station de Marconna par l'ANOVA.	71
13	Répartitions en classe de quantité des précipitations enregistrées durant la période d'étude.	73
14	Appréciation de la signification de la variation spatiale des quantités des précipitations, égouttements, écoulement et interception par l'ANOVA.	74
15	Coefficients de variation interstations des précipitations.	75
16	Hauteurs des précipitations moyennes mensuelles et annuelles dans les 3 stations (mm).	75

17	Appréciation de la signification de la variation inter et intra-annuelle des quantités d'égouttement dans la station de Hamla par l'ANOVA.	79
18	Appréciation de la signification de la variation inter et intra-annuelle des précipitations dans la station de Larbaa par l'ANOVA.	81
19	Appréciation de la signification de la variation inter et intra-annuelle des quantités d'égouttement dans la station de Marconna par l'ANOVA.	83
20	Volumes mensuels et annuels (mm) des eaux d'égouttement reçues par les 3 stations au cours des 3 années de mesure.	85
21	Appréciation de la signification de la variation inter et intra-annuelle des précipitations dans la station de Larbaa par l'ANOVA.	90
22	Appréciation de la signification de la variation inter et intra-annuelle des quantités d'écoulement dans la station de Marconna par l'ANOVA.	92
23	Appréciation de la signification de la variation inter et intra-annuelle de l'interception dans la station de Hamla par l'ANOVA.	95
24	Appréciation de la signification de la variation inter et intra-annuelle des précipitations dans la station de Larbaa par l'ANOVA.	98
25	Appréciation de la signification de la variation inter et intra-annuelle des quantités d'interception dans la station de Marconna par l'ANOVA.	99
26	Répartition de la production de litières de chêne vert par type d'organes dans la station de Larbaa et Marconna au cours des années 2012 et 2013 (Kg/ha).	112
27	Teneurs et apports en éléments biogènes par les précipitations dans les deux stations.	117
28	Teneurs et apports par les pluviolessivats dans les deux stations.	123
29	Teneurs et apports en biogènes des différentes fractions de litière dans les 2 stations.	128
30	Probabilité de signification du test F (ANOVA) des variations inter et intra-annuelles des apports en N, P et K. par les litières dans les 2 stations.	132
31	Quantités annuelles moyennes de N, P et K restituées aux sols des deux chênaies et contribution relative des différentes voies d'apport.	135

Sommaire

Remerciement.....	2
Dédicace	4
Liste des figures.....	5
Liste des tableaux.....	9
Introduction.....	15

Première partie : Revue bibliographique

Chapitre 1 : Variation de l'interception des précipitations par le couvert du chêne vert.....	18
1.1.1. Les précipitations.....	18
1.1.1.1. Intérêt de l'étude des variations spatio-temporelles des précipitations.....	19
1.1.1.2. Variations spatio-temporelles des précipitations.....	19
1.1.1.2.1. Les facteurs de variation.....	20
1.1.1.2.2. Variations intra et interannuelles.....	21
1.1.1.2.3. Caractéristiques des précipitations des régions à climat semi aride.....	21
1.1.1.2.4. Interception des précipitations par un couvert végétal.....	22
1.1.1.2.5. Mesure des (P), (E_g) et (E_c).....	24
1.1.1.2.6. Les facteurs de variation spatio-temporelle de l'interception.....	24
Chapitre 2 : Les éléments biogènes et les retombées biologiques.....	30
1.2.1. Les éléments biogènes.....	30
1.2.1.1. Définition.....	30
1.2.1.2. Origine des apports des éléments biogènes.....	30
1.2.1.3. Rôle des éléments N, P et K.....	32
1.2.2. Les retombées biologiques.....	32
1.2.2.1. Les retombées solides de litières.....	32
1.2.2.1.1. Le rythme des retombées de la litière et variation des teneurs en éléments biogènes des différents organes.....	34
1.2.2.1.2. Périodicité des apports en éléments biogènes par les litières du chêne vert.....	35
1.2.2.2. Les retombées liquides.....	35
1.2.2.2.1. Importance des pluviollessivats.....	35

1.2.2.2.2. Facteurs de variation du pluviollessivage et leurs apports en éléments biogènes.....	36
1.2.2.2.3. Apports d'éléments minéraux par la pluie et les pluviollessivats.....	38
Chapitre 3: Chêne vert	41
1.3.1. Importance du chêne vert en Algérie.....	41
1.3.2. Description du chêne vert.....	42
1.3.2.1. Caractéristiques taxonomiques, botaniques et répartition géographique.....	42
1.3.2.2. Caractéristiques écologiques et exigences climatiques.....	46
1.3.2.3. Caractères édaphiques.....	49
1.3.2.4. Situation altitudinale.....	49
1.3.3. Intérêts du chêne vert	50
Deuxième partie : Matériel et méthodes	
2.1. Situation et caractéristiques de la zone d'étude	52
2.1.1. Situation géographique et description des sites d'étude.....	52
2.1.2. Caractéristiques climatiques de la zone d'étude.....	53
2.1.2.1. Valeurs des principaux paramètres climatiques.....	54
2.1.2.2. Synthèse climatique.....	55
2.1.2.2.1. Diagramme ombrothermique.....	56
2.1.2.2.2. Climagramme d'Emberger (1971).....	56
2.2. Matériel et Méthodes	58
2.2.1. Matériel.....	58
2.2.1.1. Matériel pour la récolte des liquides (pluies et pluviollessivats) et des litières.....	58
2.2.1.2. Matériel pour les mesures des volumes des eaux recueillies, la préparation et le dosage des éléments N, P et K.....	58
2.2.2. Méthodes.....	59
2.2.2.1. Recueil des retombées liquides (précipitations, égouttement, écoulement et interception.....	59
2.2.2.2. Récupération des retombées solides (litières).....	61
2.2.2.3. Préparation des échantillons et dosage des éléments N, P et K.....	62
2.2.2.4. Outil statistique.....	63

Troisième partie : Résultats et discussion

3. Variation des retombées liquides et solides dans différentes stations	64
3. 1. Variation des retombées liquides et relation entre précipitation et égouttement écoulement et interception.....	64
3.1.1. Variation des retombées liquides.....	64
3.1.1.1. Variation des précipitations.....	64
3.1.1.1.1. Variation des précipitations à Hamla.....	64
3.1.1.1.2. Variation des précipitations à Larbaa.....	68
3.1.1.1.3. Variation des précipitations à Marconna.....	71
3.1.1.1.4. Variation interstation des précipitations.....	73
3.1.1.2. Variation de l'égouttement.....	76
3.1.1.2.1. Variation de l'égouttement à Hamla.....	76
3.1.1.2.2. Variation de l'égouttement à Larbaa.....	80
3.1.1.2.3. Variation de l'égouttement à Marconna.....	83
3.1.1.2.4. Variation inter-station de l'égouttement.....	84
3.1.1.3. Variation des eaux d'écoulement.....	87
3.1.1.3.1. Variation de l'écoulement à Hamla.....	87
3.1.1.3.2. Variation de l'écoulement à Larbaa.....	89
3.1.1.3.3. Variation de l'écoulement à Marconna.....	91
3.1.1.3.4. Variation inter-station de l'écoulement.....	93
3.1.1.4. Variation des eaux d'interception.....	94
3.1.1.4.1. Variation de l'interception à Hamla.....	94
3.1.1.4.2. Variation de l'interception à Larbaa.....	98
3.1.1.4.3. Variation de l'interception à Marconna.....	99
3.1.1.4.4. Variation interstation de l'interception.....	101
3.1.2. Etude de la relation entre précipitation et égouttement, écoulement et interception dans les différentes stations.....	102
3.1.2.1. Relation entre précipitation et égouttement.....	103
3.1.2.1.1. Relation entre précipitation et égouttement à Hamla.....	103
3.1.2.1.2. Relation entre précipitation et égouttement à Larbaa.....	103
3.1.2.1.3. Relation entre précipitation et égouttement à	

Marcona.....	104
3.1.2.2. Relation entre précipitation et écoulement.....	105
3.1.2.2.1. Relation entre précipitation et écoulement à Hamla.....	105
3.1.2.2.2. Relation entre précipitation et écoulement à Larbaa.....	106
3.1.2.2.3. Relation entre précipitation et écoulement Marcona.....	107
3.1.2.3. Relation entre précipitation et interception.....	107
3.1.2.3.1. Relation entre précipitation et interception à Hamla.....	107
3.1.2.3.2. Relation entre précipitation et interception à Larbaa.....	108
3.1.2.3.3. Relation entre précipitation et interception à Marcona.....	109
3.1.3. Conclusion partielle.....	110
3.2. Variation des apports biologiques dans les deux chênaies.....	111
3.2.1. Variation des apports solides (Litières de chêne vert).....	111
3.2.2. Variation des apports en éléments biogènes N, P et K.....	116
3.2.2.1. Variations des concentrations et des apports en N, P et K par les précipitations.....	116
3.2.2.2. Variations des apports en N, P et K par les eaux d'égouttement....	122
3.2.2.3. Variations des apports en N, P et K par les litières du chêne vert...	126
3.2.2.4. Bilan de la minéralomasse annuelle moyenne restituée au sol par les différentes sources et leur contribution relative.....	134
3.2.3. Conclusion partielle.....	136
Conclusion et perspectives.....	137
Références bibliographiques.....	140

INTRODUCTION GENERALE

Le chêne vert est l'une des espèces forestières les plus représentées dans la région méditerranéenne (Aguillaume *et al.*, 2017). Il couvre près de 2 millions ha (Dahmani Megrerouche, 2002 ; Bonin, 2008). En Algérie, il s'étend uniquement sur une superficie de 149000 ha (El Achi, 2010), avant une dizaine d'années sa surface était de 354 milles hectares (Leutrech Belarouci, 1991).

Dans les Aurès, le chêne vert peut se retrouver en sous bois avec le cèdre et le pin d'Alep ou en taillis clairs. Il se rencontre dans sa moitié nord surtout dans son état bien venant. Cependant, au fur à mesure qu'on se dirige vers le sud et les fonds de vallées il est très dégradé (Meharzi, 2010) et se présente souvent sous forme de taillis simples de faible productivité. La faible densité, la forme rabougrie des cépées et la hauteur moyenne des arbres (2,5 m) témoignent de la sévérité de l'impact des contraintes climatiques (Teibi, 1992 ; Khater, 2010) et de divers autres facteurs de dégradation (régénération naturelle par glands, surexploitations et surpâturage).

Le cycle biogéochimique et le cycle d'eau constituent un aspect important de l'activité des écosystèmes forestiers. Le premier cycle peut être résumé par 3 principaux axes de transferts (Badri, 2003): Le premier axe concerne l'absorption des minéraux par les racines. Une partie de ces minéraux servant à la productivité primaire (Phytomasse) et l'autre étant secrétée par la partie aérienne de la végétation et retournant au sol par le pluiolessivage. Le deuxième axe est relatif au retour des éléments minéraux vers le sol, par la chute de litières (retombées biologiques solides) et par les pluiolessivats. Le troisième axe considère la minéralisation de la fraction organique du sol.

Pour les précipitations, les forestiers et les hydrologues se sont intéressés, non seulement par la connaissance de la hauteur annuelle d'eau tombée en un lieu donné, mais surtout par des informations précises sur la distribution de ces précipitations sur une durée plus ou moins étendue (Sadeghi *et al.*, 2015 a ; Sadeghi *et al.*, 2015 b ; Attarod *et al.*, 2015 ; Sadeghi *et al.*, 2016 ; Van Stan *et al.*, 2016 ; Lempreur *et al.*, 2017). C'est ainsi que le nombre de jours pluvieux peut donner une idée de la façon dont la pluie tombe : fortes averses ou pluies modérées et fréquentes (Gausсен *et al.*, 1958). Dans d'autres cas, c'est le petit nombre de jours avec précipitations et leur

raréfaction à mesure que la température augmente qui joue le rôle déterminant pour expliquer l'origine de la sécheresse biologique et hydrologique (Viers, 1968).

Les précipitations parvenues au couvert forestier se divisent en trois parties : la première traverse les couronnes des arbres (égouttement), la seconde s'écoule à travers les troncs des arbres (écoulement) et la troisième se perd soit par la saturation des couronnes et des troncs d'arbres, soit par évaporation (interception) (Mateos, 2001; Mosello *et al.*, 2002; Savenije, 2004; Limousin *et al.*, 2008; Llorens et Domingo, 2007; Fathizadeh *et al.*, 2013).

L'importance des précipitations pour les populations et les écosystèmes naturels et la disponibilité limitée de l'eau en climat semi aride ont mis en exergue l'utilité pour les forestiers et les gestionnaires de l'eau, de l'évaluation des pluies qui arrivent au sol par égouttement et écoulement (Tromble, 1987; Crabtree et Trudgill, 1985; Sadeghi *et al.*, 2015a), ainsi que la compréhension de leur répartition en différentes fractions d'égouttement, écoulement et interception qui est la première interaction entre le cycle de l'eau et la forêt (Keim et Skaugset, 2003; Limousin *et al.*, 2008; Llorens et Domingo, 2007; Tsiko *et al.*, 2012). Les informations ainsi obtenues pourraient servir pour développer des plans stratégiques pour le choix des espèces destinées aux reboisements et contrôler l'érosion hydrique du sol.

De nombreuses études ont porté sur l'interception des précipitations sous différents couverts forestiers dans différents pays (Gash, 1979; Gash *et al.*, 1995; Carlyle-Moses et Price, 1999; Navar *et al.*, 1999; Schellekens *et al.*, 1999; Jackson, 2000; Bryant *et al.*, 2005; Sraj *et al.*, 2008; Limousin *et al.*, 2008; Fathizadeh *et al.*, 2013; Sadeghi *et al.*, 2015 a; Sadeghi *et al.*, 2015 b; Attarod *et al.*, 2015; Sadeghi *et al.*, 2016; Van Stan *et al.*, 2016).

Par contre, les données sur l'interception des pluies par les chênaies à *Quercus ilex* sous un climat semi aride sont peu nombreuses (Llorens et Domingo, 2007; Muzylo *et al.*, 2009; Fathizadeh *et al.*, 2013) et pratiquement inexistantes pour l'Algérie.

L'évaluation de la quantité d'eau et des éléments nutritifs apportés par les retombées atmosphériques sont utiles pour une meilleure gestion des écosystèmes forestiers (Lequy, 2012 et Aguilhaume *et al.*, 2017).

Les données relatives à l'interception, écoulement et égouttement sont très sollicitées par les forestiers et gestionnaires de l'eau. Elles permettent entre autres de connaître les quantités réelles qui arrivent au sol forestier et donc de juger de la disponibilité de l'eau qui joue un rôle déterminant pour la productivité et la régénération des forêts.

Les études sur les retombées biologiques (pluvioléssivats et litières) et leurs apports en éléments biogènes sont nombreuses pour les milieux forestiers naturels en Europe, en Amérique du Nord et en Asie (Dannaoui, 1981; Escudero et al., 1985; Santa Régina et Gallardo, 1989; Santa Régina, 2000; Bussotti et al., 2003; Liu et al., 2015 et Bani et al., 2018). Cependant, en Afrique du nord ce type de recherche reste très limité (Badri, 2003). Parmi les rares études en Afrique du nord, ce dernier auteur cite les travaux de Lepoutre (1963) pour le Maroc, de Selmi (1985) sur le Chêne liège en Tunisie.

Pour l'Algérie, à notre connaissance aucune donnée sur les retombées biologiques, et la répartition des précipitations par le couvert du chêne vert, notamment en milieu semi aride n'est disponible, exception faite des travaux de Benhizia (2010). C'est pourquoi la présente étude qui s'inscrit globalement dans la recherche sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers, va tenter de combler cette lacune et apporter des données nécessaires à la gestion raisonnée des chênaies à *Quercus Ilex* L. en milieu semi aride.

Précisément, elle s'intéresse d'une part à l'évaluation des retombées liquides (précipitations, égouttement, écoulement et perte par interception), solides (litières), ainsi que leurs apports en éléments minéraux N, P et K dans trois stations des Aurès et d'autre part à suivre leurs variations spatio-temporelles, afin d'établir des modèles pour la prévision notamment de l'interception des précipitations et les différentes fractions d'eau redistribuées par l'action du couvert forestier du chêne vert.

Le présent manuscrit est divisé en trois parties : la première est consacrée à une revue bibliographique sur la variation de l'interception des précipitations par un couvert forestier et les retombées biologiques, ainsi que leurs apports en éléments biogènes. La deuxième partie traite de la situation et de la caractérisation des chênaies étudiées, du matériel utilisé et des méthodes suivies. La troisième partie traite des résultats obtenus et de leurs interprétations.

Première partie: Revue bibliographique

Chapitre 1: Variation de l'interception des précipitations par le couvert du chêne vert

1.1.1. Les précipitations

Les précipitations constituent la composante fondamentale de l'hydrologie, cycle de l'eau et de l'écosystème forestier. La connaissance de l'apport d'eau au sol est essentielle pour appréhender l'état des réserves en eau du sol, la recharge des nappes et le régime des cours d'eau (Badri, 2003 ; Limousin, 2009 ; Tadrict et *al.*, 2016). Les précipitations sont un phénomène stochastique et discontinu dont l'influence sur le fonctionnement des écosystèmes tient à la fois à leur quantité moyenne, leur saisonnalité, leur fréquence et leur intensité. Chacun de ces paramètres peut être modifié par les changements climatiques (Limousin, 2009).

Selon Llorens et Domingo (2007), 92 % des études sur l'interception des pluies incluaient les précipitations annuelles moyennes des régions d'étude, parce que ces dernières sont immédiatement intégrées dans le cycle de l'eau.

Les principales caractéristiques des pluies sont au nombre de trois : leur volume, leur fréquence et leur intensité, dont les valeurs varient selon les lieux, les jours, les mois et aussi les années (Rhanem, 2010).

En considérant la hauteur moyenne des précipitations (H), Rhanem (2010) propose d'utiliser les normes suivantes :

- Année sèche quand $H < 100$ mm.
- Année moyennement sèche si $100 < H < 200$ mm.
- Année pluvieuse avec $400 > H > 300$ mm.
- Année moyennement pluvieuse avec $300 > H > 200$ mm.
- Année très pluvieuse lorsque $H > 400$ mm.

On peut distinguer trois termes utilisés pour les pluies selon leurs destinations (Cosandey et Robinson, 2000).

- 1- la pluie nette, pluie qui arrive au sol après les prélèvements de l'interception.
- 2- la pluie utile : la pluie susceptible de recharger la réserve hydrique.
- 3- la pluie efficace : terme surtout utilisé par les hydrologues, est celle qui atteint la nappe et participe à l'écoulement.

Sur le globe, les précipitations sont très inégalement réparties : certaines régions souffrent d'un déficit important rendant presque impossible la vie, tandis que d'autres sont sujettes à des précipitations régulières parfois à l'origine de crues de cours d'eau et d'inondation ravageuses (Legorgeu, 2013 et GIEC, 2014).

En Algérie, les quatre dernières décennies sont marquées par des sécheresses récurrentes plus au moins accentuées selon les régions (Chermat *et al.*, 2013). Les études de Nedjraoui et Bédrani (2008) ont bien trouvé une diminution de 18 à 27 % de la pluviométrie dans la zone steppique sur une période de près d'un siècle (1907-2003).

Dans les Aurès, l'effet de continentalité se fait sentir, les précipitations s'amenuisent et les températures s'élèvent et constituent un facteur écologique limitant la productivité de ses forêts et l'adaptation n'est possible qu'aux espèces ayant la faculté de résister aux conditions extrêmes (Belkaid, 2016).

1.1.1.1. Intérêt de l'étude des variations spatio-temporelles des précipitations

L'étude des régimes pluviométriques offre un intérêt tout particulier, d'une part parce que ce n'est pas un cycle annuel régulier comme celui de la température, d'autre part parce que sa forme constitue une des « signatures » du climat régional indépendamment du total des précipitations reçues (Choisnel et Payen, 1988, in Rhanem, 2010).

La répartition saisonnière des précipitations est un aspect important du climat. Un rangement inégal des précipitations évoque périodes d'excès de précipitations et des périodes de sécheresse qui rendent la croissance de la plante et récolte difficile. La concentration des précipitations doit être prise en compte dans l'évaluation et la prévision des pertes de sol par érosion hydrique (Michiels, Gabriels et Hartmann, 1992, in Brahmi, 2014).

1.1.1.2. Variations spatio-temporelles des précipitations

Les précipitations sont un des processus hydrologiques les plus variables. D'une part, elles sont caractérisées par une grande variabilité dans l'espace et ceci quelle que soit l'échelle spatiale prise en compte (régionale, locale, etc.). D'autre part, elles sont caractérisées par une grande variabilité dans le temps, aussi bien à l'échelle annuelle qu'à celle d'un événement pluvieux (Musy, 2005).

1.1.1.2.1. Les facteurs de variation

La mesure des précipitations en un point donné montre de grandes différences d'une heure à l'autre, d'une semaine à l'autre, et même d'une année à l'autre. A un pas de temps fin, cette variabilité est bien plus importante pour la pluie que pour tout autre composante du cycle hydrologique ; l'évaporation (Brahmi, 2014).

Les précipitations sont très souvent soumises à des effets locaux, et ce, d'autant plus que l'échelle temporelle est proche de l'instantané. Si à l'échelle d'une heure (averse convective), les processus pseudo aléatoires dominant. A l'échelle d'une décade ou d'un mois, l'aléatoire tend à disparaître car les processus orographiques, qui agissent sur le déclenchement et sur le volume des précipitations, deviennent prépondérants et dessinent des structures spatiales clairement identifiables : altitude, pente et orientation des versants sont autant de variables qui agissent sur les abats de précipitations (Humbert et *al.*, 1992 ; Carrega et Garcia, 2000 ; Ninyerola et *al.*, 2000 ; Zahar et Laborde, 2000 ; Creech et McNab, 2002 ; Laborde et Traboulsi, 2002 ; Boubaker et Gammar, 2002 et Fouchier et *al.*, 2004, tous cités par Joly, 2011 et Cosandey et Robinson, 2000).

Pour le mois de janvier, Joly (2011) a observé que :

- L'altitude est incontestablement la variable qui explique les abats de précipitation sur la plus grande partie du territoire français. Elle explique dans certains cas plus de la moitié de la variation spatiale des abats de précipitation.
- L'amplitude des vallées et la distance à la forêt la plus proche sont les deux variables qui expliquent le plus les précipitations après l'altitude. Les précipitations sont d'autant plus faibles que les vallées sont profondes et que la forêt la plus proche est distante.
- L'ampleur des reliefs est moins fréquemment significative que son homologue inverse, la profondeur des vallées. En fait, seuls les reliefs les plus proéminents peuvent avoir une influence sensible sur les précipitations.

À l'échelle de pays comme l'Algérie, les influences orographiques apparaissent vite comme déterminantes. Les régions les plus arrosées sont représentée dans l'Est de l'Atlas Tellien. Elles expriment l'influence simultanée de l'orographie et de la circulation atmosphérique régionale durant toute l'année. Le régime pluviométrique se caractérise par un maximum pendant la saison froide, et par des intensités pluviométriques relativement fortes (Medjerab et Henia, 2005, in Brahmi, 2014).

1.1.1.2.2. Variations intra et interannuelles

Il existe des variations des minimums et des maximums pluviométriques se produisant à un rythme relativement régulier, et donc assimilables à des cycles. Les plus connus sont les cycles diurnes et les cycles annuels. Dans l'un comme dans l'autre cas, les précipitations se produisent dans les périodes les plus chaudes, quand la teneur en eau de l'atmosphère est la plus élevée, et la convection thermique la plus forte (Brahmi, 2014).

Selon Rhanem (2010) la dotation des précipitations est relativement faible avec grosso modo deux périodes de longueurs inégales, l'une « pluvieuse » allant de l'automne au printemps, l'autre l'été où l'on note un creux pluviométrique assez nettement marqué. Néanmoins, le régime est bimodal avec un premier maximum au printemps et un second maximum en automne, où les pluies de ces deux saisons représentent 65% du total annuel.

Le même auteur a affirmé que le caractère méditerranéen des précipitations se manifeste par la faiblesse des lames d'eau estivales qui coïncident avec les fortes températures maximales, d'où la faible humidité relative de l'air pendant cette période.

La grande variabilité interannuelle des pluies résulte du fait que, le plus souvent, une part importante de la pluie annuelle se produit lors d'un petit nombre d'événements pluvieux, et que l'occurrence de ces événements est très aléatoire (Brahmi, 2014).

Par ailleurs, la variabilité interannuelle est la plus forte dans les régions de faible pluviosité où la pluie ne tombe qu'occasionnellement, que pour des régions où la pluie est fréquente, explique que la fiabilité de l'estimation des précipitations moyennes en climat aride et semi-aride est particulièrement sensible à la longueur des séries d'observations (Brahmi, 2014).

La région du massif des Aurès (monts du Belezma et monts des Nememchas) est caractérisée essentiellement par un bioclimat semi-aride où les précipitations varient entre 200-700 mm/an (Belkaid, 2016).

1.1.1.2.3. Caractéristiques des précipitations des régions à climat semi aride

Les pluies dans les régions à climat semi aride sont très irrégulières et se réduisent souvent à quelques journées de la saison pluvieuse, alors que quatre à cinq mois, voire six, sont pratiquement secs. Les maxima qui sont fréquemment représentés par des bues torrentielles interviennent assez souvent en quelques heures (Amri, 2013 et Chermat et al.,

2013). Elles peuvent présenter de fortes intensités dépassant les 45 mm par heure (Tadrist et *al.*, 2016).

La sécheresse a fortement affecté, ces dernières années, l'ensemble des pays du bassin méditerranéen (Amri, 2013). Le contexte climatique de semi aride se caractérise par une variabilité spatiale et interannuelle d'une pluviométrie globalement faible (300 mm/an) en regard d'une forte demande évaporative pouvant atteindre 1700 mm/an (Amri, 2013).

1.1.1.2.4. Interception des précipitations par un couvert végétal

Si les recherches sur le cycle de l'eau sont très répandues, et depuis longtemps, chez les agronomes, elles n'ont commencé à être conduites que depuis une trentaine d'années sur les écosystèmes forestiers en Europe (Aussenac et Boulangeat, 1980). Cependant, ces études sont encore très rares et particulièrement en Afrique du Nord à l'exception de l'étude de Badri, (2003) au Maroc.

De plus, ce type d'études a rarement été effectué sous des peuplements forestiers pour une période importante. Le fractionnement des précipitations incidentes (précipitations, égouttement, écoulement et interception) après la traversée du houppier est mal connu en Algérie.

L'interception des précipitations correspond à l'évaporation de l'eau par les houppiers des arbres, aussi bien par les feuilles que par les organes ligneux. C'est la fraction des précipitations qui n'atteint jamais le sol forestier, autrement dit stockée ou évaporée (Attarod *et al.*, 2015) ; Sadeghi *et al.*, 2016 et Aldomany , 2017).

Lors d'une précipitation, l'eau suit plusieurs trajets dans l'écosystème forestier (Aussenac, 1968) :

- Une fraction qui parvient au sol après avoir traversée la canopée il s'agit de l'égouttement (E_g) ou « Throughfall » ou encore pluvioléssivats.
- Une fraction qui est drainée par les branches et qui ruisselle le long du tronc et arrive au sol qui est l'écoulement (E_c) ou « Stemflow ».
- Enfin une fraction, interceptée par le couvert (I) et n'atteignant donc pas le sol, qui est soit évaporée, soit utilisée par les épiphytes colonisant les feuilles, soit évaporée ou soit absorbée au niveau de leur cuticule.

Cette dernière fraction est égale à la différence entre pluie incidente (P) et celle qui traverse le couvert végétal. La formule utilisée par plusieurs chercheurs (Limousin et *al.*,

2008 et Nizinski et Saugier, 1988 cités par Badri, 2003) pour calculer l'interception (en mm) est :

$$I = P - (E_g + E_c).$$

L'égouttement et l'écoulement de l'eau le long des troncs constituant la précipitation nette, sont des paramètres importants de la variabilité de l'alimentation en eau des sols forestiers (Aussenac, 1970).

La quantité d'eau interceptée même si elle n'arrive pas au sol forestier elle participe certainement à modifier le climat. Quand aux deux premières parties elles contribuent à améliorer le rendement photosynthétique des arbres (Aussenac et al., 1995).

Des études récentes (Fathizadeh et al., 2013; Sadeghi et al., 2015 a ; Sadeghi et al. 2015 b ; Attarod et al., 2015 ; Sadeghi et al., 2016 ; Van Stan et al., 2016) ont conclu que les espèces à fort égouttement et écoulement sont à privilégier pour les reboisements, notamment dans un contexte de diminution des précipitations.

La figure 1 illustre la redistribution des précipitations par le couvert végétal.

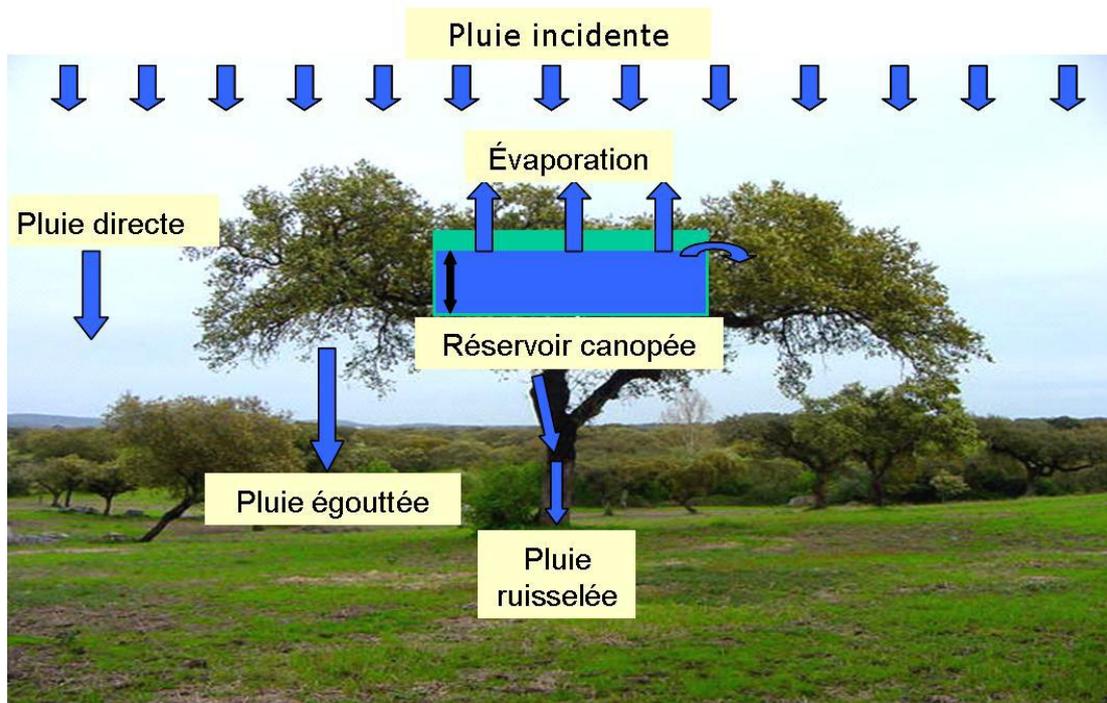


Figure 1 : Schéma représentant la répartition de la pluie arrivant sur le couvert forestier et les différentes voies suivies par l'eau pour rejoindre le sol (Limousin, 2009).

1.1.1.2.5. Mesure des (P), (E_g) et (E_c)

Plus de 52 % des études utilisent des récipients ou pluviomètres manuels pour mesurer les précipitations et uniquement 9% ont utilisé des stations automatiques, les 39% qui restent c'est un mélange entre les deux méthodes (Llorens et Domingo, 2007).

La surface des récipients manuels utilisés souvent pour récupérer les précipitations varie entre 80 cm² et 880 cm². Le nombre de récipients ou pluviomètres nécessaire pour des mesures fiables peut atteindre 50 pluviomètres. La surface totale de réception est comprise entre 0.01 m² et 1 m². (Llorens et Domingo, 2007).

De même pour les eaux d'égouttements 82 % des études ont utilisé entre 3 et 163 pluviomètres manuels pour mesurer l'égouttement, avec une surface totale comprise entre 0.03 et 14.5 m².

Selon Llorens et Domingo (2007), rares (moins de 5 %) sont les études qui ont utilisé des systèmes de mesures très évolués. Comparativement à l'égouttement, l'écoulement est moins représenté et traité avec détails dans la littérature (Levia et Frost, 2003 ; Llorens et Domingo, 2007).

Seulement 66% des études sur l'interception ont rapporté des résultats sur l'écoulement et pour la quasi-totalité des ces études les chercheurs ont utilisé différents types de colliers scellés sur les troncs des arbres forestiers (Llorens et Domingo, 2007).

1.1.1.2.6. Les facteurs de variation spatio-temporelle de l'interception

La variabilité pluviométrique se répercute sur l'interception et sur le cycle hydrologique (Badri, 2003). Cette eau interceptée engendre pour l'écosystème et le bassin versant, une perte qui peut dépasser 30% du total des précipitations (Bellot et *al.*, 1999 ; Comin et *al.*, 1987).

En s'associant avec d'autres propriétés des couverts forestiers (Prélèvement racinaire, rugosité de la surface, le faible albédo et l'importante de la surface foliaire), ce phénomène engendre un taux d'évapotranspiration plus élevé pour les couverts forestiers que pour n'importe quel autre couvert végétal placé dans les mêmes conditions (Wattenbach et *al.*, 2005, in Limousin, 2006).

L'article de synthèse sur l'interception et la redistribution des précipitations par l'action du couvert forestier qui a été publié en 2007 par Llorens et Domingo constitue, pour les

dernières 30 ans, une base de données sur l'interception en Europe et en méditerranée. Notant que cette synthèse porte sur 90 articles de recherche relative à l'interception des précipitations par 29 espèces, dans 83 sites, en France, Grèce, Italie, Portugal et l'Espagne (Llorens et Domingo, 2007).

L'interception est un phénomène dynamique. Elle dépend de différents paramètres liés au climat mais également au peuplement. Parmi ces paramètres, selon de nombreux auteurs (Gash 1979 ; Gash *et al.*, 1995 ; Carlyle-Moses et Price, 1999 ; Navar *et al.*, 1999 ; Schellekens *et al.*, 1999 ; Jackson., 2000 ; Bryant *et al.*, 2005 ; Limousin, 2006 ; Sraj *et al.*, 2008 ; Fathizadeh *et al.*, 2013 ; Sadeghi *et al.* 2015 a ; Sadeghi *et al.*, 2015 b ; Attarod *et al.*, 2015 ; Sadeghi *et al.*, 2016 ; Van Stan *et al.*, 2016), on peut citer :

- La canopée

Le rôle de la canopée dans le processus d'interception peut-être assimilé à celui d'un réservoir. Tant que la canopée n'est pas saturée, toute la pluie qui touche le couvert est interceptée et seule la pluie directe atteint le sol. En revanche, si la canopée est saturée d'acompte, partiellement, soit par des pluies précédentes ou une humidité très élevée, l'interception sera moins importante (Ghazavi, 2008).

- Précipitations annuelles moyennes, leur durée et intensité

Une brève revue bibliographique révèle que 92% des études ont utilisé le terme précipitations moyennes annuelles dans leurs travaux de recherche sur l'interception. Une centaine d'études ont porté sur des sites qui reçoivent entre 228 mm / an au sud de l'Espagne (Belmonte, 1997 et Belmonte et Romero, 1998, in Llorens et Domingo 2007) et 2027 mm/ an en Italie. Les études qui ont rapporté des résultats sur des sites qui reçoivent moins de 400 mm, représentent à peine 18% du total et concernent majoritairement l'Espagne.

Les caractéristiques de l'épisode pluvieux jouent aussi un rôle très important dans le processus d'interception. L'interception des pluies a lieu essentiellement au début d'une averse. L'eau s'étend sur des surfaces encore sèches et s'accumule jusqu'à ce que la capacité de

stockage maximum soit atteinte. C'est-à-dire jusqu'à ce que les forces de tensions superficielles soient dépassées par la force de pesanteur (Lebourgeois, 2010).

L'interception augmente avec la capacité de saturation du couvert végétal, la durée, l'intensité et la hauteur totale des précipitations (Calder, 1990, in Aldomany, 2017).

Dés 1919 Horton avait montré que les pertes par interception augmentaient avec la durée de la pluie, mais de façon décroissante, de telle sorte que l'importance relative des pertes par interception diminue avec la durée de la pluie, comme cela a été aussi observé par Olszewsky (1976, in Aldomany, 2017).

Selon Aussenac (1981) et Limousin (2006), l'analyse du phénomène d'interception des précipitations montre qu'au début d'une averse, la plupart des gouttes d'eau sont interceptées par le couvert et lorsque la surface de la plante est déjà humide ou mouillée, sa capacité d'accumulation est réduite par rapport à un état initial sec.

Les phénomènes d'évaporation interviennent au début de l'averse, car les températures de surface des feuilles peuvent être plus élevées que la température de l'air peuvent présenter un déficit de saturation relativement important. Avec le développement de l'averse, l'évaporation diminue. Lorsque le couvert est saturé les surfaces foliaires et les branches ne retiennent plus que les quantités additionnelles d'eau nécessaires à la compensation de l'évaporation (Aussenac, 1981 et Limousin et *al.*, 2008).

L'égouttement par exemple sera en valeur relative, plus important pour les pluies peu intenses et de longue durée que pour les averses fortes.

L'évaporation de l'eau dépend des conditions énergétiques et les facteurs adventifs, tel que la vitesse du vent. Ainsi, selon les saisons et la situation géographique, les conditions évaporatoires, et par la même, l'égouttement, varient de manière significative (Lavabre et Andréassian, 1970).

Le nombre de jours de pluie est une variable souvent négligée, alors que son rôle est important. En effet, s'il est important de connaître le total pluviométrique annuel, il est non moins essentiel de savoir avec quelle fréquence les précipitations se produisent, c'est-à-dire de déterminer le nombre de jours de précipitations et leur répartition saisonnière. La quantité d'eau pluviale n'est donc pas la seule façon d'apprécier l'importance de ce facteur météorologique ; le dénombrement des jours avec pluie est également intéressant (Rhanem,

2010). Par ailleurs, le nombre de jours de pluie et leur intensité influent directement sur l'égouttement, écoulement et interception (Limousin et *al.*, 2008).

- L'évapotranspiration

Elle joue un rôle très important dans le cycle de l'eau, vue l'étendue des couvertures végétales sur les continents et l'épaisseur exploitée par les racines qui pompent l'eau du sol et des nappes phréatiques qu'elles atteignent.

- L'espèce végétale

L'influence de l'espèce sur l'interception des précipitations dépend de nombreux facteurs :

- L'essence forestière et la capacité de saturation de son feuillage (la surface foliaire et la persistance du feuillage conditionnent fortement l'interception).
- La surface des houppiers et la morphologie de la ramification et du feuillage. Le rôle de la canopée dans le processus d'interception peut-être assimilé à celui d'un réservoir (Figure 01). Tant que la canopée n'est pas saturée, toute la pluie qui touche le couvert est interceptée. En revanche, dès que la canopée est saturée, une grande partie de la pluie qui touche la végétation est drainée vers le sol (Limousin, 2006).
- La capacité de saturation des couronnes des peuplements est un paramètre intéressant à connaître. La hauteur d'eau maximum susceptible d'être retenue est une fonction de la surface foliaire et de la surface des branches et rameaux, de la morphologie des feuilles et du type de ramification.

- Caractéristiques du peuplement

- La densité des peuplements pouvant aller de 57 à 18200 arbres / ha (Portela et Pires, 1995 ; Bellot et Escarre', 1998 in Llorens et Domingo (2007).
- L'indice foliaire (Leaf Area Index) varie entre 1.8 à 5.3 m²/m² (Mosello et *al.*, 2002).
Levia et Frost (2003), ont affirmé que pour la même espèce on peut avoir des indices foliaires totalement déferents et cela vient de la forte variabilité intraspécifique de la canopée et les conditions de l'atmosphère.

Les analyses de la structure des canopées ont montré une relation entre les caractéristiques du peuplement et le taux d'égouttement et d'écoulement et par conséquent une influence directe sur le taux d'interception (Bellot et *al.*, 1999 ; Bellot et Escarre, 1998, in Llorens et Domingo (2007).

- La structure du peuplement à travers la densité des tiges de la saison

L'égouttement et l'écoulement varie avec la structure de l'arbre (une architecture avec des branches dirigées vers le haut favorise surtout l'écoulement le long des troncs) et la rugosité de l'écorce (l'écoulement décroît avec l'irrégularité de l'écorce). Les phénomènes exposés ci-dessus conditionnent une forte réduction de la pluviosité sous couvert forestier. Cette réduction peut, dans des conditions bien particulières, être quelque peu tempérée par une augmentation de la pluviosité sous couvert par condensation des brouillards (Andréassian, 2002).

- L'âge du peuplement

L'interception augmente avec la densité et le nombre des Arbres par hectare. Par exemple, Aussenac (1981) estime l'interception de 35% pour une Forêt de Douglas de 500 arbres/ha, et de 43% avec une densité de 3000 arbres/ha. De même l'interception est en relation positive avec l'âge des arbres mais elle atteint une valeur-seuil au-delà de laquelle elle ne progresse pratiquement plus (des 15 ans pour le Douglas) (Aldomany, 2017).

- La capacité de stockage

Cette capacité est liée avant tout à l'espèce végétale. Par exemple les peuplements de feuillus interceptent moins que les peuplements de résineux. Il convient de noter ici que la capacité de stockage de la végétation basse est loin d'être négligeable (Rutter et *al.*, 1975 ; Schuttleworth, 1977 ; Hall, 1985 ; Zinke, 1987, in Aldonmay, 2017).

Le tableau 01 résume les résultats des études relatives à l'interception des précipitations dans différents couverts forestier sous plusieurs climats.

Tableau 1 : Synthèse bibliographique des résultats d'études relatives à l'interception des précipitations par un couvert forestier.

Références	Espèces	E _g %	E _c %	I (%)	P (mm)	LAI	Densité tiges /ha
Ettehad, (1971)	<i>Quercus ilex</i>	/	/	27 - 30	855	/	400
Bellot, (1989)	<i>Quercus ilex</i>	74,80	14,20	11,00	570	/	/
Comin et al., (1987)	<i>Quercus ilex</i>	68,70	13,10	18,20	862	/	/
Teixeira Filho, (1995)	<i>Quercus ilex</i>	/	/	25 - 30	749	5,2 – 5,6	8800
Rodrigo et Avila, (2001)	<i>Quercus ilex</i>	72 - 75	2,7 - 5.3	21,8 – 22,6	1048 - 1275		1754 - 2127
Bellot et al., (1999)	<i>Quercus ilex</i>	66 - 75	2,6 - 12	/	518 - 1275		2000 - 18000
Rapp et Romane, (1968)	<i>Quercus ilex</i>	60		/	770		527 - 1440
Carlyle-Moses et al., (2004)	<i>taillis de chêne</i>	84,20	< 1	15	635	1,7 – 2,6	351 - 513
Dolman, (1987)	<i>Chêne</i>	/	33	/	/	/	3000
Rodrigo et Avila, (2001)	<i>Quercus sp.</i>	72-75	2,7 – 5,3	21,8 – 22,6	1048 - 1275	5,2 - 5.6	8800
Bryant et al., (2005)	<i>Quercus berberidifolia</i>	82	0,54	17,40	830	/	/
Limosin et al., (2008)	<i>Quercus ilex</i>	65	10,3	33	930	1,6-3.1	/
Pereira, (2009)	<i>Quercus ilex</i>	/	/	23 – 29,6	528,7 - 1394	/	/
Fathizadeh et al., (2013)	<i>Quercus brantii</i>	64,1	/	20 - 30	587	/	50
Sadeghi et al., (2015 b)	<i>Fraxinus rotundifolia</i>	/	/	23,9 – 39,2	272	/	1100
Van Stan et al., (2016)	<i>Quercus virginiana</i>	/	/	37	950	/	278

Chapitre 2 : Les éléments biogènes et les retombées biologiques

1.2.1. Les éléments biogènes

1.2.1.1. 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, 1980 et Fanin, 2012).

1.2.1.2. Origine des apports des éléments biogènes

Les sciences de l'écosystème étudient les dépôts d'éléments entrant dans l'écosystème (Lequy, 2012), Ces éléments peuvent être dissous dans les précipitations ou sous forme de particules solides, minérales ou organiques. Le dépôt atmosphérique trouve son origine dans la présence de composés en suspension dans l'atmosphère qui se déposent lorsque les conditions sont propices. Les composés atmosphériques proviennent des émissions de sources multiples, suivies d'un transport dans l'atmosphère. Ces sources sont naturelles (émissions biogéniques, embruns marins et érosion terrestre) ou anthropiques (combustion de biomasse à usage domestique et industriel, trafic et utilisation d'engrais).

L'atmosphère contient une grande diversité de composés formant un continuum granulométrique de la molécule à la centaine de micromètres, allant des gaz (78% de diazote et 21% de dioxygène) aux particules grossières, dites terrestres, issues de l'érosion de la croûte superficielle de la terre ou des émissions volcaniques (Lequy, 2012).

En résumé ces particules ont deux grandes origines possibles :

- Les poussières issues des zones arides ou désertiques ou encore cendres volcaniques, transportées sur de longues distances.
- Les particules de sol local remobilisées par l'érosion et les activités humaines, par exemple les travaux agricoles (notamment le labour), l'exploitation de carrières et les cimenteries ou les gros travaux de construction (Lequy, 2012).

A l'heure actuelle les modèles indiquent que les flux mondiaux de poussières éoliennes sont dominés par les grandes zones désertiques d'Afrique du Nord, du Moyen-Orient et de l'Asie (Tanaka et Chiba, 2006 ; in Lequy, 2012). Ces régions arides et non arables génèrent l'essentiel des émissions

de poussières éoliennes avec une grande variation interannuelle d'émission, avec une production mondiale annuelle estimée entre 800 et 2000 millions de tonnes par an (Lawrence et Neff, 2009 ; in Lequy, 2012). Les poussières sahariennes sont la principale source de particules atmosphériques d'origine terrestre : de 170 à 760 millions de tonnes par an (Goudie et Middleton, 2001, in Lequy, 2012). Elles peuvent être transportées sur de longues distances (Prospero et *al.*, 1987 ; Swap et *al.*, 1992 ; cités par Lequy, 2012) et permettent d'établir des connexions biogéochimiques entre les continents (Chadwick et *al.*, 1999 ; Okin et *al.*, 2004 ; Field et *al.*, 2009 ; cités par Lequy, 2012).

Les 3 éléments minéraux (l'azote, phosphore et potassium) ont des origines diverses :

- Origine de l'azote

Selon Villecourt et Roose (1978), les origines de l'azote sont naturelles (marime, poussières et feux de forêts) ou industrielle au niveau du végétal. Lemee (1982) a pu remarquer, que l'azote provient à partir des branches mortes et que l'apport d'azote est important en phase defeuillée qu'en phase feuillée. Comme il provient aussi de la fixation par les micro-organismes (Ovington, 1968 in Duvigneaud, 1982).

- Origine du potassium

Il est secrété selon Rapp (1984), en forte quantité pendant la période de chute des feuilles et la poussée des jeunes feuilles. Comme il provient aussi d'excréments d'oiseaux. Forgeard Gloaguen et Touffet (1979), ont signalé que le potassium résulte également des poussières atmosphériques mais en faible quantité. D'autres chercheurs (Dambrine *et al.*, 1998 ; Ragsdale *et al.*, 1992), ont affirmé qu'une quantité importante du potassium vienne du lessivage qui fait partie du cycle naturel de cet élément .

- Origine du phosphore

Selon le Gall (2004), le phosphore est en général peu éliminé des sols par lessivage. On le retrouve donc en faibles quantités dans les eaux de surface et c'est pourquoi il y est souvent le facteur limitant la croissance des algues.

1.2.1.3. Rôle des éléments N, P et K

- L'azote

C'est l'un des composants fondamentaux 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

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 et Fanin 2012).

- Le potassium

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 protège le végétal contre toutes les formes de flétrissement (Lanier et *al.*, 1976).

1.2.2. Les retombées biologiques

1.2.2.1. Les retombées solides de litières

Dans les écosystèmes forestiers, de grandes quantités de litières sont produites par les arbres sous forme de feuilles mortes. La litière de surface joue un rôle fondamental dans le retour des éléments nutritifs et dans le transfert de l'énergie (Boulmane et *al.*, 2013). C'est particulièrement, un important réservoir des éléments nutritifs des écosystèmes forestiers reposant sur des sols pauvres, où la végétation dépend d'une grande part du recyclage des éléments nutritifs. (Singh, 1978, in Boulmane et *al.*, 2013).

La chute des litières varie en fonction de différents facteurs du milieu, comme le climat et l'espèce (Mangenot et Toutain, 1980 ; Curt et Marsteau, 1997). L'évaluation exacte des litières et des potentialités forestières est difficile en milieu calcaire méditerranéen (Boisseau, 1996): les variations de relief, même faibles, entraînent de forts contrastes topoclimatiques qui influent sur la production des forêts. Les caractéristiques de la couverture pédologique varient fortement à l'échelle métrique : porosité, profondeur du sol, pourcentage de calcaire actif, etc.

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, 1975 et Ouledrabah, 1991).

Pour les forêts françaises de climat tempéré, nous prendrons l'exemple d'une hêtraie de l'est du Bassin parisien. Dans cette dernière forêt la productivité moyenne varie entre 6 et 8 m³/ha/an), le sol forestier reçoit 5 tonnes /ha/an de débris végétaux (dont 4 tonnes de feuilles qui a rechargent la litière début novembre, et 1 tonne de débris divers : branches, brindilles, fleurs, faines, cupules, écailles de bourgeons, etc .) et 300 à 400 kg (en poids sec) de matière organique soluble sous forme de pluviollessivats qui tombent sur le sol surtout pendant la période feuillée (Toutain 1981).

Pour le même climat (tempéré) et dans d'autres stations, la masse des retombées annuelles est évaluée entre 2 et 4 tonnes de matière sèche par hectare et par an représentées pour 50 à 80 % par les feuilles, 3 à 30 % par les rameaux et écorces et 1 à 30 % d'organes divers (Dommergues ,1971).

D'autres études en France (Ranger et *al.*, 1988), ont montré que la production annuelle en biomasse des peuplements classiques traités en taillis en France dépasse 7 tonnes /ha/an (cas des taillis de châtaignier).

La bibliographie sur les retombées de litières des forêts de chêne vert en Algérie demeure très limitée, voire inexistante en ce qui concerne les observations effectuées en forêt de chêne vert dans les Aurès, sauf quelques études sur des périodes de 3 - 6 mois (Aissi, 1991 et Bouras, 1990),

Ces évaluations ne tiennent pas compte des troncs, en principe négligeables dans une forêt exploitée, ni des racines, beaucoup moins bien connues.

Elles ignorent aussi les apports de la végétation herbacée, des mousses et des épiphytes. Leur masse est sans doute inférieure à celle des arbres mais elle n'est pas négligeable (Mangenot, 1980).

1.2.2.1.1. Le rythme des retombées de la litière et variation des teneurs en éléments biogènes des différents organes

Leonardi et Rapp (1981), dans une étude sur un taillis *Quercus ilex* sous un climat méditerranéen, avec 850 à 950 mm de pluie, le chêne vert produit 3,1 tonnes/ha de litières essentiellement par les feuilles (57%). Les glands, les rameaux et les inflorescences représentent respectivement 13, 10 et 8% de la litière totale. Selon l'étude de Escudero (1985) la fraction feuilles constitue 55.8 % de la litière totale, avec une variation saisonnière importante (40 % en novembre) de feuilles participant à la litière du Chêne vert dans les Dehesas du Sud de l'Espagne.

En Espagne, Martin et al. (1996) ont trouvé une production moyenne de litière de 1,9 t/ha/an dans une chênaie (*Quercus rotundifolia*) situé en climat semi aride. Cette étude qui s'est déroulée sur une période de 3 ans (1990 -1993) a affirmé que quantité de litière se compose de 55% feuilles, 13% branches, 17% fleurs, 10.7% glands, 3.4 % autres.

Bussotti et al. (2003) ont trouvé des quantités moyennes de litières chutées de l'ordre de 694 g/m², constitués de 68 % de feuilles, 19 % bois, fruits et inflorescences et 13% divers.

Boulmane et al. (2013), ont constaté qu'il y a une forte variabilité mensuelle et interannuelle des quantités de retombées solides du chêne vert. La litière a tendance à tomber d'Avril à Mai, voir à Juin (Boulmane et al., 2013 ; Makhloufi et al., 2008 et Rapp,1969). Les glands tombent plus tard (Fin été et automne).

Selon plusieurs études (Bussotti et al., 2003 ; Makhloufi et al., 2008 ; Boulmane et al., 2013 ; Ndour et al., 2013), les feuilles seraient responsables de ce rythme mensuel régulier. Les chutes de bois, provoquées souvent par des facteurs météorologiques sont plutôt responsables de certaines irrégularités d'une année à l'autre.

Selon Ranger et al.(1995) et Boulmane et al.(2013), les feuilles et les organes les plus jeunes des arbres sont plus riches en éléments nutritifs et le bois du tronc est le plus pauvre.

L'ordre de classement des différents organes sur la base de leur teneur en éléments biogènes est: Inflorescences et fruits > feuilles > Ecorce du tronc > Rameaux > Branches > Bois du tronc.

La composition d'une feuille morte varie régulièrement. Avant même la chute des feuilles, celles-ci s'appauvrissent par transfert d'azote organique, de sucres et de polyphénols vers les organes pérennants de l'arbre (Mangenot, 1980).

La teneur d'un élément varie considérablement suivant les différents organes. Par ailleurs, dans un même organe, la richesse en biogènes peut dépendre de la classe de fertilité de l'arbre, de son âge (Rapp, 1971 ; Lanier et *al.*, 1976), de la saison (Hasnaoui et *al.*, 1996), l'espèce (Boulmane et *al.*, 2013), substrat (Boulmane et *al.*, 2013 ; Heller, 1969) et même des conditions d'éclairage (Le Tacon et Toutain, 1973).

1.2.2.1.2. Périodicité des apports en éléments biogènes par les litières du chêne vert

Le flux d'éléments minéraux retournant mensuellement au sol varie en fonction des paramètres phénologiques en ce qui concerne les feuilles et les organes reproducteurs et présente donc une rythmicité régulière d'une année à l'autre. Par contre, la quantité des éléments apportés au sol par la chute de branches et brindilles dépend du climat et beaucoup plus aléatoire. (Leonardi et Rapp, 1981). Le maximum de restitution au sol de K, Ca, N, Mg, P, Fe et Mn par les feuilles du chêne vert en France a lieu en mai et juin qui sont les mois principaux de la chute des feuilles.

1.2.2.2. Les retombées liquides

1.2.2.2.1. Importance des pluviolessivats

Le pluviolessivage représente l'entraînement de dépôts de poussières atmosphériques sur la végétation par les précipitations (Rapp, 1969) et aussi d'éléments minéraux libérés par sécrétions foliaires (Forgeard Gloaguen et Touffet, 1979 ; Guillaume, 2013).

Pour Mangenot et Toutain (1980) et Guillaume (2013), le pluviolessivage 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.

Il se décompose en deux mécanismes : le lavage (captation des particules par les gouttes d'eau lors de la formation des nuages) et le lessivage (rabattement des particules d'aérosol par les gouttes lors de la chute de celles-ci durant des précipitations) (Guillaume, 2013).

Selon Cronan et Reiners (1983), le lessivage est soumis aux équilibres chimiques advenant dans la fine couche d'eau présente à la surface des feuilles.

1.2.2.2.2. Facteurs de variation du pluviollessivage et leurs apports en éléments biogènes

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 certains facteurs :

- Les espèces

- La nature de substrat

La roche mère joue un rôle très important surtout pour le calcaire et le phosphore. Toutefois, si le phosphore est présent en grandes quantités dans les sols, il l'est majoritairement sous des formes chimiques qui sont inaccessibles pour les plantes. C'est pourquoi de nombreuses forêts présentent des carences en phosphore (Ponette *et al.*, 1997; Ulrich et Bonneau, 1994).

- Les volumes de précipitations et leurs concentrations en éléments biogènes

Les apports atmosphériques semblent être un des piliers majeurs de la durabilité de l'écosystème à faible fertilité minérale (Legout *et al.*, 2008).

Dans un contexte de changement climatique et pour un écosystème forestier à faible fertilité minérale, une diminution de la pluviométrie annuelle provoquerait alors une baisse des apports atmosphériques. Cette baisse serait très rapidement répercutée sur les flux d'éléments circulant dans l'écosystème (Legout, 2008).

Les eaux de pluies sont généralement des solutions faiblement chargées en éléments minéraux (Legout, 2008).

Les concentrations des pluies en éléments biogènes varient fortement d'un épisode pluvieux à l'autre et les valeurs associées aux précipitations de faible durée étant généralement plus élevées que celles des pluies persistantes (Migon *et al.*, 1989).

La charge réelle dans les pluviollessivats en éléments biogènes est supérieure à la charge théorique résultant du seul phénomène de concentration par évaporation de l'eau interceptée. Il peut y avoir donc incorporation dans les eaux recueillies d'éléments issus de dépôts secs et/ou secrétés par le feuillage (Gauquelin *et al.*, 1992).

Il est à noter que chez le genévrier thurifère, la charge moyenne des eaux d'égouttement, ou pluviollessivats est plus ou moins supérieure à celle des précipitations, selon les ions considérés. Cette différence, pourrait s'expliquer par la concentration par évaporation de l'eau interceptée, le lessivage de dépôts secs et/ou d'éléments minéraux secrétés par le feuillage et la rétention d'éléments minéraux par le feuillage (Gauquelin *et al.*, 1992).

- Caractéristiques et âge du peuplement forestier

Il est certain que l'état sanitaire de l'arbre et son état de feuillage jouent un rôle de captage significatif ; la rugosité de l'écorce et les diverses populations fongiques, algales ou lichéniques qui la colonisent favorisent également le piégeage des éléments sur les parties ligneuses (Badri, 2003).

Ces apports allochtones viennent s'ajouter des sécrétions minérales et organiques, que l'on retrouvera dans les pluviollessivats (Lossaint et Rapp, 1980, in Badri, 2003).

La partie des précipitations, temporairement stockées sur les feuilles, s'évapore ; ce phénomène est l'interception (Atteia et Dambrine, 1993). La pluie suivante sera ainsi enrichie des éléments minéraux restés sur le feuillage (Veen et Dolman, 1989). L'interception a donc une action directe sur les teneurs en éléments minéraux des précipitations sous couvert par concentration relative. Elle ne modifie pas les flux d'éléments déposés.

L'interception, suivie de l'évaporation d'une fraction de précipitations retenues sur le couvert induit une élévation des concentrations dans les précipitations sous couvert (Atteia et Dambrine, 1993). Selon plusieurs auteurs (Deguchi *et al.*, 2006 ; Bryant *et al.* 2005 ; Dumas, 2009) , la structure de l'arbre, son indice foliaire, son âge et la densité du peuplement sont des facteurs importants qui vont influencer le taux d'égouttement, donc sur les volumes d'eaux de pluviollessivats. De façon générale, les concentrations en éléments chimiques majeurs dans les pluviollessivats sont peu différentes pour les peuplements jeunes. En revanche, les concentrations moyennes des pluviollessivats en N, P et K pour les peuplements de hêtre qui ont un âge supérieur à 100 ans sont significativement supérieures à celles des autres âges.

Ces concentrations significativement plus élevées dans les vieux peuplements en comparaison des jeunes, répercutées sur les flux de pluviollessivats, pourraient s'expliquer par une captation plus importante des dépôts secs, liée à l'indice de surface foliaire élevé de ces peuplements (Legout, 2008).

Les rapports K/Na et Ca/Na des pluies étant proches ou plus forts que ceux des poussières du sol, on considèrera que le K et le Ca sont plutôt d'origine continentale (Badri, 2003). Par contre vu le rapport Mg/Na bien inférieur dans les pluies, on peut envisager une origine non continentale du Mg. (Masson, 1966).

Badri, (2003), pense que dans les écosystèmes constitués par des arbres isolés, le phénomène de filtration et de captation des aérosols par le feuillage se manifeste avec une intensité supérieure, ceci d'autant plus que le sol est pratiquement nu à l'extérieur du couvert durant une bonne partie de l'année.

- La situation géographique

Selon Atteia et Dambrine (1993), de nombreuses études portant sur le dépôt d'éléments minéraux hors et sous couvert forestier ont été développées au cours de la décennie 1983- 1993, dans le but est de quantifier l'apport en éléments nutritifs et ceux qui cause la pollution. Ces études ont montré une variation considérable sur le plan spatial.

1.2.2.3. Apports d'éléments minéraux par la pluie et les pluviollessivats

Le lessivage du couvert végétal par les précipitations entraîne vers le sol des éléments fertilisants dont la masse est loin d'être négligeable. les précipitations apportent 9,8 kg d'azote inorganique ha /an et le pluviollessivage multiplie ce chiffre par 1,5 dans un peuplement jeune et par 2 dans une vieille futaie (Lemee, 1974, in Mangenot, 1980).

Pour le potassium, les chiffres sont de 4 et 15 kg respectivement. A cela s'ajoutent des matières organiques (350 kg de sucres ha / an dans une chênaie en Grande-Bretagne). On peut comparer l'eau d'égouttage à une solution nutritive diluée apportant à la litière, composée surtout de substances insolubles et pauvres en azote, des aliments facilement utilisables.

Enfin les pluviollessivats contiennent aussi des polymères bruns apparentés aux substances humiques (Bruckert et *al.*, 1971, in Mangenot 1980).

Une autre étude d'Atteia et Dambrine (1993) réalisée dans une forêt de pressière à apporté d' un coté pour les précipitations 4.85-5.26 kg de N/ ha / ans et 1.13-3.49 kg / ha / ans de K et de l'autre, pour les pluviollessivats 1.68- 18.19 kg / ha / ans d'azote et 3.34-17.4 kg / ha / ans de potassium.

Les tableaux 2 et 3 mentionnent quelques résultats connus sur les apports en N, P et K par les eaux de pluie et d'égouttement dans quelques régions du globe.

Tableau 2: Apport au sol d'éléments minéraux (N, P et k) par les eaux de pluie dans différentes régions du globe (Kg / ha / an).

Pays	Auteurs	N	P	K	Total
Suède	(Nihlgrade, 1970)	8,2	0,07	1,9	10,17
Grande Bretagne	(Allen et <i>al.</i> , 1968)	9,1	0,3	3,4	12,8
	(Carlise, 1966)	9,5	0,4	3	12,9
	(Gore, 1968)	8,1	0,3	2,3	10,9
Nouvelle Zélande	(Milli Er, 1961in Forgeard, 1977)	3,1	0,2	7,4	10,7
France	(Rapp, 1971)	14,6	1	2	17,6
	(Legoute, 2008)	6,6	3	5	14,6
Algérie	(Tounsi, 1990)	9,25 -14	1,14 -1,59	7,68 – 8,6	/
Canada	(Duchesne, 1999)	5,76	0,07	6,71	12,54
Cote d I 'voire	(Villecourt et Roose, 1999)	19	/	3,4	22,4
Maroc	(Badri, 2003)	4,7	8,1	4,9	17,7
Algérie	(Laib, 1991)	1,16-1,68	0,78-1,38	1,06-1,20	/

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

Pays	Auteurs	Essences	N	P	K	Total
URSS	(Sviriddova, 1960 in Forgeard, 1977)	Chêne et hêtre	07-10	0,1-0,3	0,3-3,33	/
Grande Bretagne	(Carlisle, 1966)	<i>Quercus</i>	9,5	0,4	3	12,9
Algérie	(Tounsi, 1990)	Cèdre d'atlas	06,5-14,3	0,64-0,98	12,88-17,90	/
France	(Rapp, 1971)	<i>Quercus ilex</i>	23,9	3,8	4,1	31,8
	(Ranger et al., 2000)	/	10	/	22	32
	(Lequy, 2012)	<i>Fagus sylvatica</i> L	/	0,4-0,7	2,9-12,2	16
Allemagne	(Grunert, 1964 in Forgeard, 1977)	Hêtre et Pin	11	2,2	29	42,2
Canada	(Duchesne, 1999)	Erable, bouleau jaune et hêtre	4,98	0,23	6,71	/
Espagne	(Rodrigo et al., 2003)	<i>Quercus ilex</i>	6,69	0,63	16	23,32
	(Aguillaume et al., 2017)	<i>Quercus ilex</i>	2-7,5		13-17	15-23,5
Maroc	(Badri, 2003)	Genévrier thurifère	13,40	4,80	23,50	41,70

Chapitre 3 : Chêne vert

1.3.1. Importance du chêne vert en Algérie

L'Algérie est l'une des régions méditerranéennes riches en ressources naturelles (faune, sol, végétation). Elle dispose d'une ressource forestière caractérisée par une grande variabilité, associée à toute la gamme de bioclimats méditerranéens, depuis le l'humide jusqu'au saharien (Louni, 1994).

Malgré cette diversité, les forêts algériennes sont dominées par un nombre limité d'espèces ou de groupes d'espèces de plantation ou de forêt naturelle dont certaines fortement endémiques comme le pin d'Alep, cèdres et chêne vert, *Quercus ilex* L (Derbal et al., 2015).

La superficie actuelle du chêne vert est de l'ordre de 108 000, une simple comparaison de cette superficie avec la superficie (354000 - 680000 ha) décrites souvent dans la littérature par plusieurs auteurs (Boudy, 1950 et Letreuch-Bellarouci, 1991) fait facilement distinguer la réduction alarmante des surfaces occupées par le chêne vert.

La figure 2 montre l'importance de l'espace occupé actuellement par le chêne vert par rapport aux autres espèces.

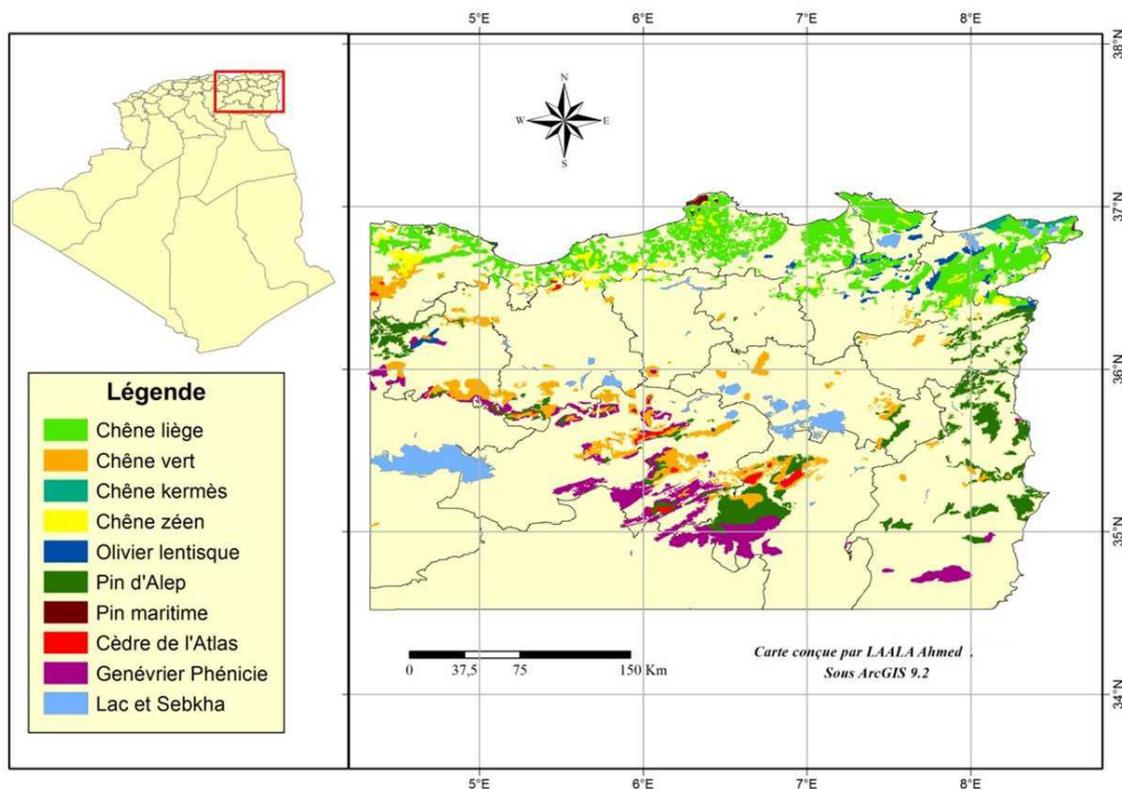


Figure 2 : Principaux écosystèmes forestiers de l'Est algérien source (Laala et Alatu, 2016).

1.3.2. Description du chêne vert

1.3.2.1. Caractéristiques taxonomiques, botaniques et répartition géographique

- Taxonomie

L'espèce *Quercus ilex* occupe dans la systématique de la flore la place suivante :

Règne : Végétal

Embranchement : Trachéophytes

Sous-Embranchement: Ptéropsidés

Classe : Angiospermes

Sous classe : Dicotylédones

Ordre : Fagales

Famille : Fagaceae

Genre : *Quercus*

Sous genre : Sclérophyllodys (Schwartz, 1964)

Espèce : *Quercus ilex* L, 1753 (section *ilex*, Endl, 1847 in Dahmani, 1984).

Le chêne vert (*Quercus ilex* L) ou bien *Quercus rotundifolia* L, constitue un problème taxonomique. Il est très polymorphe et difficile à décrire avec précision. Pour certains auteurs (par exemple Tutin et *al.*, 1993), le chêne vert comporte deux sous espèces *ilex* et *rotundifolia* ; mais celles-ci sont élevées au rang d'espèces par d'autres auteurs, dont les Espagnoles (Garcia Rollan, 1981).

L'acceptation du taxon *rotundifolia* s'étend également au Maghreb. Vicioso, l'un des spécialistes du genre *Quercus* a révisé comme suit les diverses synonymes : *Q. ilex* subs. *similax* (L) C.Viciioso = var. *rotundifolia* (Lam) C.Viciioso = var. *ballota* (Desf.) C.Vicioso (in revision del genero *Quercus* in Espana, I.F.I.E. , Madrid 1950, cité par Fritsch, 1993).

- Caractéristiques botaniques

Selon Lebreton et *al.* (2001) le chêne vert est un arbre sempervirent de moyenne dimension, de 5 à 15 mètres de hauteur, mais qui peut atteindre 25 mètres en milieu humide. Il est micro à mésophanérophyte. Il présente un tronc unique, trapu, tortueux et robuste, à écorce finement fissurée, de couleur brun grisâtre et qui apparaît sous forme de petits carrés. Cet arbre présente un houppier ovale avec un couvert épais à ramifications serrées et denses (Girardet, 1980).

Les feuilles sont alternes, coriaces, petites (3 à 8 cm de long, 1 à 3 cm de large), de forme variable. Elles peuvent être entières, dentées ou épineuses, elliptiques, lancéolées, arrondies. Elles sont aussi épaisses mais non rigides, lisses et vertes sombres. Le pétiole est court 0.5 à 2 mm de longueur (Somon, 1987). Comme leur durée de vie est de deux ans, et la répartition par âge aléatoire sur les rameaux, l'arbre est sempervirent avec rameaux et bourgeons gris-tomenteux (Lecoeur et *al.*, 1996 ; Lebreton et *al.*, 2001).

Les fleurs sont unisexuées (arbre monoïque), et la floraison ne s'effectue que sur la première pousse de l'année pour les fleurs femelles, mais peut se retrouver sur la pousse de l'année précédente pour les fleurs mâles. La floraison s'étend d'avril à mai (Kummerow et *al.*, 1981; Floret et *al.*, 1992).

Les fleurs mâles sont très abondantes et se présentent sous forme de chatons de quelques centimètres de long, avec une couleur verte ou jaunâtre. Les fleurs femelles sont solitaires et se situent à l'aisselle des feuilles supérieures (Boudy, 1952).

Les fruits sont des akènes appelés glands, de dimensions variant de 1 à 3 cm de long. Ils sont regroupés sur un pédoncule commun en nombre de 1 à 5. Les glands astringents mûrissent en un an. Ils sont bruns striés et légèrement pointus au sommet. Ils sont coiffés à leur base arrondie d'une cupule hémisphérique à écailles rapprochées, courtes, de couleur grisâtre.

Selon Boudy (1952) la régénération du chêne vert est très lente et représente son principal handicap dans la concurrence avec les autres essences forestières. Mais sa vitalité est remarquable du fait qu'il rejette des souches jusqu'à un âge très avancé. Sa longévité moyenne est de 200 à 300 ans et plus. Le chêne vert présente un système racinaire pivotant pouvant atteindre 10 mètres de profondeur et des racines latérales traçantes et drageonnantes.

- Répartition géographique

Le chêne vert est une espèce à large répartition géographique. Selon Boudy (1950) cette essence s'étend depuis la Chine et l'Himalaya jusqu'en Grande - Bretagne, puis aux confins Sahariens. Mais, c'est surtout une espèce méditerranéenne (Seigue, 1985 ; Aguilhaume et *al.*, 2017).

Quercus ilex L. est originaire de la région méditerranéenne vers le Nord et le bassin de la Loire. En dehors de cette région, il est cultivé et parfois naturalisé, notamment en France

septentrionale et en Angleterre méridionale (Tutin et *al.*, 1993). L'aire du Chêne vert s'étend sur l'ensemble du bassin méditerranéen notamment dans la partie occidentale_ c'est ce que traduisent les flores en qualifiant l'espèce de circumméditerranéenne. Cependant, ceux qui ont prospecté tous les pays méditerranéens savent qu'en termes d'occupation du tapis végétal, le chêne vert joue un rôle indiscutablement plus important dans la partie occidentale du bassin méditerranéen que dans sa partie orientale (Barbero et Loisel, 1980).

Dans le midi français, il serait l'essence la plus dominante. Il est rencontré tout le long de la frontière Espagnole à celle de l'Italie. Il est abondant dans le secteur méridional du massif central, mais beaucoup moins dans les alpes maritimes (Vernet, 1973 ; Madjidieh, 1982).

En Espagne, il colonise toutes les provinces à l'exception de la Galice, mais il est particulièrement abondant en Andalousie occidentale (Canadell et *al.*, 1988).

Au Portugal, il est présent au Sud, et plus dispersé au Nord le long de la frontière espagnole (Rivas- martinez, 1975).

En Italie, au Sud (en Calabre), le chêne vert est toujours présent au dessus de 1000 mètres, dans le supra méditerranéen (Achhal et *al.*, 1979). Il est également rencontré en Sicile, et occasionnellement au niveau de la côte sud de la mer noire (Quezel, 1980). En Sardaigne il forme de beaux peuplements en Ombrie et en Toscane (Susmel et *al.*, 1976). De même qu'en Corse, il est aussi bien développé dans les étages thermo et méso méditerranéen, qu'au centre, mais les forêts de chêne vert se font rares (Gamisans, 1976).

Le chêne vert est également présent en Yougoslavie, en Albanie, et au niveau du nord occidental de la Grèce. Il est moins abondant en Crête où il occupe le méso et le supra méditerranéen et absent de Chypre (Barbero et Quezel, 1979).

En Turquie il se rencontre dans la région d'Istanbul, sur la côte de la mer noire et sur la bordure montagneuse du plateau anatolien, sur le versant occidental du Zagros et aux limites de l'aire de l'Hindukuch (Akman et *al.*, 1979).

Dans sa variété de *Quercus ballota*, il est présent au Pakistan et en Afghanistan, mais l'impact anthropozoïque étant très important, les forêts sont très dégradées (Browiez, 1982). Le chêne vert se raréfie en Syrie, en Jordanie et en Palestine (Kabakibi, 1992).

Il est à remarquer que bien que sa répartition géographique semble assez large, d'après Seigue

(1985) le chêne vert est parfois disséminé, parfois mélangé, très souvent dégradé, si bien qu'il est difficile d'en faire une bonne répartition.

Au Maghreb, le chêne vert est assez répandu. Au Maroc, il se situe au moyen atlas et sur le revers oriental du Maroc, il peut même être présent à 2800 mètres d'altitude (Achhal, 1987).

En Tunisie par contre, il est peu représenté et caractérise particulièrement la continentalité.

En Lybie cette essence est contestée et confondue avec *Quercus coccifera* (Benia, 2010).

En Algérie, cette essence est présente de la frontière tunisienne à celle du Maroc (figure.3). Elle s'étend surtout dans la partie occidentale. Il couvrait une grande superficie (680 000 hectares selon Boudy (1950), alors que Letreuch Bellarouci (1991), ont présenté une superficie de 354 000 hectares. Dans l'Oranie, son expansion commence à l'est des monts de Tlemcen où il constitue d'importants massifs forestiers allant de Sebdou à la frontière Algéro-marocaine. Il constitue des formations mixtes avec les thuyas aux environs de Maghnia et de Sabra.

Dans la région de Tiaret notamment le massif de Tagdempt et des Sdamas (forêts du tell), se rencontrent des forêts importantes à base d'un mélange de chêne vert et de pin d'Alep et à El Hassania (Saida), il est rencontré à 1260 mètres d'altitude (Benia, 2010).

Au niveau de l'Algérois, les peuplements de chêne vert sont également assez importants. Cette essence est rencontrée dans le massif de Zaccar et forme un taillis qui descend jusqu'à Miliana. Dans celui de Boughar, elle est mélangée au pin d'Alep, alors que dans le massif de Theniet el Had et celui de Mouzaia, elle constitue le tapis végétal. Dans l'atlas Blidéen, sur les monts de Chéra, elle est rencontrée sous forme de maquis. Sa présence est également notée dans l'Ouarsenis (Mesfek, 2014).

A l'Est le chêne vert est présent sur les monts de Medjerda, sur les monts de Tébessa à Ain el Badie. Dans les Aurès, il se cantonne en zones steppiques sur les versants des djebels, souvent à des altitudes supérieures à 1200 mètres. Sur le massif du Chélia sont rencontrées des forêts mixtes de chêne vert et de cèdres. Sur les monts de Belezma, cette essence constitue des taillis sur la pente Nord, et des maquis à chêne vert et genévrier (*Juniperus oxycedrus*) sur

la pente Nord-est. Le chêne vert se rencontre également dans le constantinois, de même qu'au niveau des massifs de Babor et Tababor où il occupe de grandes surfaces. Au Sud c'est dans l'atlas saharien, notamment la région de Djelfa et du djebel Senalba que l'on rencontre le chêne vert (Gharzouli, 1989 in Benia, 2010).

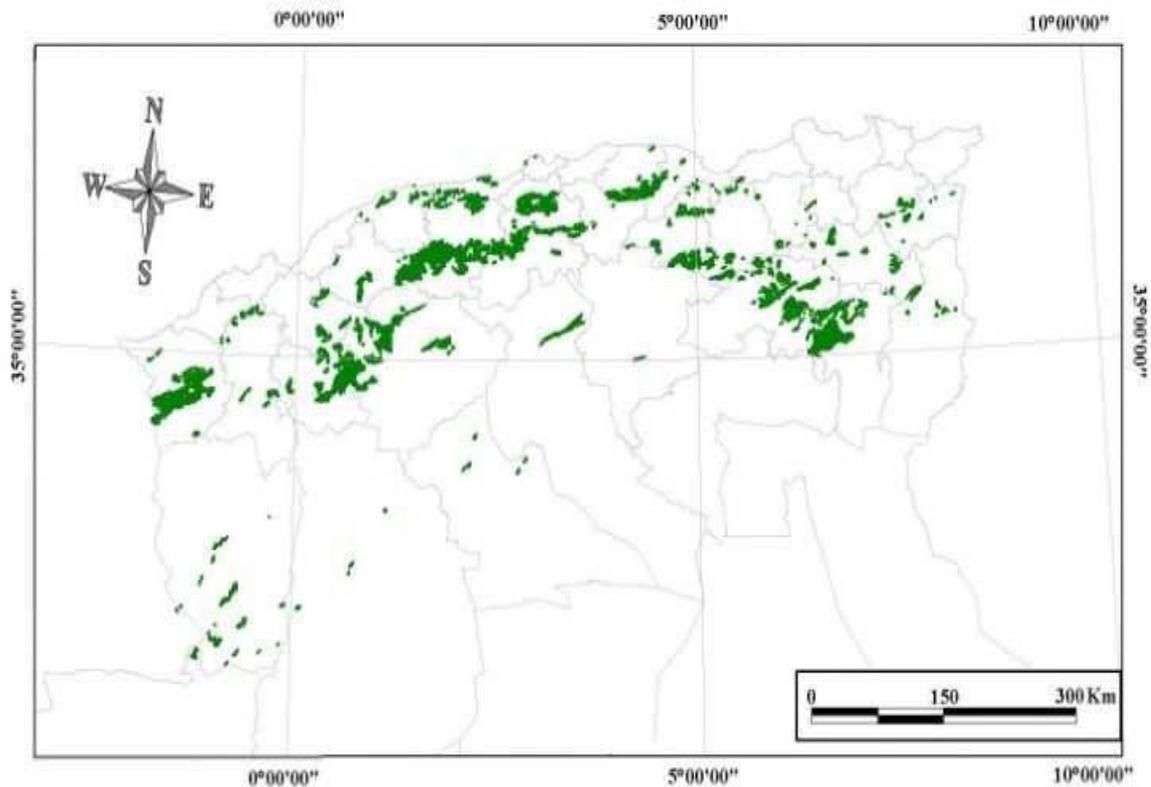


Figure 3: Répartition du chêne vert en Algérie (D.G.F 2007, modifiée, in Nasrallah, 2014).

1.3.2.2. Caractéristiques écologiques et exigences climatiques

Le chêne vert (*Quercus ilex* L.), en italien, leccio et en espagnol, encina ou encore appelé Yeuse, est très commun dans la région méditerranéenne. C'est une espèce frugale à très grande longévité (centaines d'années), héliophile, thermophile (mais résistante au froid), xérophile, à large amplitude trophique (Rameau et *al.*, 1989 et Chevalier, 1996).

L'une des principales raisons du succès du chêne vert en zone méditerranéenne, réside dans sa remarquable résistance aux contraintes écologiques et en particulier hydriques. Le chêne vert présente un certain nombre de traits biologiques lui permettant de survivre et de continuer à fonctionner pendant les périodes de sécheresse. Ainsi, en plus d'un enracinement profond, le chêne vert peut répondre à une forte sécheresse par le développement d'une surface évapotranspirante limitée qui est en relation avec la faible réserve hydrique des sols sur lequel il pousse (Barbero et *al.*, 1992 et Berrichi., 2011).

Le chêne vert est une essence plastique et robuste qui montre une aptitude, à s'accommoder de conditions climatiques variées. Cette aptitude lui permettant ainsi, de couvrir plusieurs zones à étages bioclimatiques différents. Il supporte autant les froids hivernaux que les grandes sécheresses estivales. En effet, le chêne vert peut supporter un indice xérothermique de 0 à 150.

Dans l'étage semi-aride, dans les Aurès et les montagnes du Sud-oranais il représente le type xérophile des chênaies algériennes alors que dans les étages Subhumide et humide il connaît son plein développement en peuplement, surtout dans la partie occidentale de l'Algérie. Selon Zhang et Romane (1991) une forte corrélation significative subsiste entre la croissance et le développement du chêne vert et la variation des paramètres climatiques (précipitations et températures).

Pour les précipitations, le chêne vert admet une tranche pluviométrique annuelle variant de 384 à 1462 mm (Sauvage, 1961). Selon Barry et *al.*, (1976) in Haichour (2009). Néanmoins il peut se contenter d'un minimum de 250 mm et se confronte à la sécheresse qui entrave sa productivité. Zhang et Romane (1991) ont confirmé que ce sont principalement les pluies d'été qui ont une influence positive sur l'épaisseur du cerne chez le chêne vert. Selon les mêmes auteurs un été pluvieux, suivant une fin de printemps ou un début d'été sec provoque la formation d'un faux cerne qui n'aurait lieu que dans le cas où il y a une diminution, ou même un arrêt momentané, de la croissance, suivi d'un nouveau départ de celle-ci. Le climat méditerranéen est caractérisé par des fortes variations climatiques inter et intra annuelles.

Selon Nasrallah (2014) l'eau est une denrée rare, compte tenu que son cycle irrégulier et perturbé. Arrus (1985) confirme que l'apport pluviométrique annuel sur un sol nu dans le nord algérien se décompose en 23 % de ruissellement, 4.6 % d'infiltration et 72% d'évaporation. Ces derniers chiffres montrent que le ruissellement est plus fort au détriment d'une faible infiltration. Le couvert forestier du chêne vert joue certainement un rôle pour contrôler les eaux de ruissellement selon Boudjaja (1995) et assure la conservation et la régulation du débit de l'eau par sa mobilisation et son stockage surtout dans les bassins versant et les milieux fragiles (Nasrallah, 2014).

Malgré les faibles volumes de précipitations qui s'infiltrent à travers le sol des chênaies le chêne vert continue à survivre et développer durant les périodes de sécheresse, selon Kummerow et *al.* (1981) le chêne vert a adapté sa croissance et sa reproduction au rythme des saisons. C'est ainsi que les phases de débourrement et la mise en place des nouveaux rameaux, feuilles et la floraison se déroulent tout au printemps avant l'installation du stress hydrique.

De même Achrar et *al.*, (1991) ; De Lillis et Fontanella (1992) ont affirmé que la régulation de l'ouverture des stomates autorise le chêne vert à résister ainsi à des potentiels hydriques très négatifs. L'ensemble de ces caractéristiques assurent pour cet arbre un bilan carbonaté positif, ce qui lui permet de maintenir une certaine croissance, même faible.

Le niveau de production de carbone par la photosynthèse est lié au niveau des précipitations. Selon Achrar et *al.*(1991) une pluviométrie de 355 mm /an est nécessaire pour maintenir la quantité du carbone lié la respiration des feuilles de chêne vert. En dessous de cette quantité de pluviométrie, l'arbre utilise ses réserves. Le même auteur affirme qu'il faut au moins 200 mm de précipitations annuelles pour la formation des tissus vivants. Vis-à-vis des températures, le chêne vert supporte une variation de (m) allant de -3°C à $+7^{\circ}\text{C}$, sa limite inférieure extrême est de -15°C . Il résiste à des températures maximales (M) pouvant atteindre plus de 42°C (Dahmani 1997). Une étude de résistance thermique des Feuilles de chêne vert effectuée par Trabaud et Methy (1994) montre que l'exposition à des extrêmes thermiques (-20°C durant moins de deux heures et $+50^{\circ}\text{C}$ durant 30 mn) n'altère pas leur capacité photosynthétique. Cette résistance est liée à la sclérification qu'elles acquièrent après le premier mois.

D'après Zhang et Romane (1991) la croissance du chêne vert, les températures et les précipitations ne sont pas indépendantes, les mois pluvieux sont relativement plus frais que les autres. Dans une étude en Algérie, Souidi et *al.* (2014), ont affirmé que la région ouest algérienne a été particulièrement touchée par le changement climatique avec une augmentation des températures et une baisse des précipitations au printemps et en été. De 1998 à 2007, la région a subi une série d'années exceptionnellement chaudes et sèches avec une hausse moyenne des températures de 1.2°C sur la période, qui nécessite une adaptation des espèces forestières.

Les mêmes chercheurs ont affirmé que les populations de chêne liège localisées dans la forêt de Nesmoth et Akboub se trouvent dans des conditions climatiques assez sévères. Nesmoth a accusé un déficit hydrique net de 197 mm de précipitation entre 1913 et 2004 et l'Akboub un déficit de 150 mm mais le *Quercus suber* se maintient dans cette région malgré des tranches pluviométriques inférieures à 400 mm/an.

Les populations de *Quercus suber* ont augmenté leur densité stomatique et diminué leur surface foliaire pour pouvoir lutter contre le phénomène de dessèchement. Les stomates étant les structures morphologiques qui contrôlent la photosynthèse et la transpiration (Souidi et *al.*, 2014). En effet, les réponses d'adaptation morphologique et physiologiques sont fréquemment signalés pour les espèces ligneuses (Fernández et *al.*, 2000 ; Maley et Parker, 1993 et Reich et

al., 1998). Par exemple, les caractères anatomique et morphologique, tels que ceux liés aux stomates ou à la morphologie de la feuille, peuvent être inversement corrélé avec le gradient de la surface des feuilles qui ont des réponses photosynthétiques selon leurs caractéristiques (Aussenac, 2000 et Miller, 1938), ce fait a été directement liée à la tolérance à la sécheresse et aux préférences pour un habitat particulier (Brix, 1979 ; Souidi *et al.*, 2014).

1.3.2.3. Caractères édaphiques

Du point de vue édaphique, il parait également comme essence la plus plastique. Il semble être indiffèrent a la composition chimique du substrat, car il est présent sur tous les types de substrat, sauf sur sols compacts, asphyxiants ou saturés. Ceci, semble résulter de l'absence de compton des espèces plus dynamiques (Miglioretti, 1987). Dans un sol profond, le chêne vert établit un pivot par contre dans un sol superficiel, ces racines tracent et l'arbre devient buissonnant. Les adaptations sont de ce point de vue extraordinaire (Berrichi, 2011).

En Algérie on le rencontre sur grès, calcaires, marnocalcaires, dolomies et schistes. Il s'accommode de tous les types de substrat silicieux ou calcaire et de sols superficiels ou profonds. Cependant le chêne vert, comme les principales essences forestières, fuit les substrats mobiles et les sols hydromorphes (Haichour, 2009).

1.3.2.4. Situation altitudinale

En France, le chêne vert colonise les plaines et les collines, alors qu'en Afrique du Nord, il est considéré comme une essence de montagne. Il n'apparait pas au dessous de 400 m d'altitude ou il est éliminé par les essences de plaine de l'association *Oléo-lenticetum* (Boudy, 1952).

Selon Barbero et Loisel (1980) les limites altitudinales supérieures de la repartions du chêne vert en fonction de l'altitude varient d'un pays a l'autres. En France, il occupe les zones côtières et ne dépasse pas 200-300 m au lac de garde, et atteint 500-600 m dans la Drome 1000 m sur l'Adret du lubéron. Dans les parties les plus méridionales de son aire et notamment sur le grand Atlas Marocain, le chêne vert peut constituer des peuplements continus jusqu'a 2400 - 2500 m.

Ozenda (1966) a confirmé un décalage altitudinale en ce qui concerne les peuplements méso-méditerranéens du bassin méditerrané occidental ou ils se localisent en moyenne entre 600 et 1200 m dans le haut Atlas et entre 400 et 800 m dans les Alpes Maritimes. En Algérie

et plus précisément dans l'Atlas tellien, le chêne vert apparaît à partir de 400 m d'altitude et monte jusqu'à 1700 m (Maire, 1926 ; Quezel, 1976). Dans les Aurès ses limites altitudinales oscillent entre 1200 et 1900 m et entre 1500 et 2200 m dans l'Atlas saharien (Letreuch belarrouci 1995).

1.3.3. Intérêts du chêne vert

- Intérêts écologiques

Le chêne vert assure plusieurs fonctions à savoir :

- La production du bois, de glands et de fourrage, la protection contre l'érosion, la désertification et les incendies (Letreuch belarrouci, 1995; Nasrallah, 2014).
- Il participe au maintien des sols, et assure une protection physique et une stabilisation diminuant le risque d'érosion lors des crues torrentielle et la chute de pierres. Il joue un rôle très important dans interception des pluies, sa partie arienne brise la forces vive de cette eau de pluie et retient une partie quelle relâche progressivement (Limousin *etal.*, 2008 ; Nasrallah, 2014).
- Production de combustible pour les populations locales (plantations villageoises).
- Fourniture de matière première pour la fabrication de pâte à papier (plantations industrielles) (Daya. 2006).
- Le chêne vert constitue par sa superficie et sa répartition sur une partie considérable du réseau hydrographique le meilleur moyen pour la protection des barrages et la restauration des sols (Nasrallah, 2014).
- Les chênaies vertes algériennes constituent sur le plan écologique un ciment vert de la forêt nord africaine.
- Intérêt économique

Le chêne vert reste depuis longtemps un bois de charonnage apprécié. On fait aussi des rabots et des varlopes, des dents d'égrenages, des poulies de bateaux, des boule a jour, des manches douille, très solide et du grande durée (Lieutaghi, 2004).

Le collage du bois connaît depuis ces dernières années un essor industriel important et couvre un vaste domaine d'applications (entre autre l'ameublement, les charpentes).

Il a permis la création de nouveaux matériaux répondant ainsi aux besoins actuels et à des caractéristiques bien particulières.

Ces produits sont aussi bien des produits de transformation:

- Les panneaux sandwich d'isolation.
- Les contre-plaqués.

- Les panneaux agglomérés.
- Les éléments de construction (Daya, 2006).
- Production de combustible pour les populations locales (plantations villageois fourniture de matière première pour la fabrication de pâte à papier (plantations industrielles) (Daya, 2006).

Deuxième partie : Matériel et méthodes

2.1. Situation et caractéristiques de la zone d'étude

2.1.1. Situation géographique et description des sites d'étude

Les mesures ont été réalisées dans trois stations : Hamla (futaie), Larbaa (futaie) et Marcona (taillis) (Figure.4), pour l'interception des précipitations. Les deux dernières ont servi aussi pour la quantification des retombées solides (litières) et les pluviollessivats.

La chênaie Hamla se trouve à 1500 m d'altitude, sur le versant Nord de la partie centrale du Djebel Tugurt, à 12 km au Nord-Ouest de la ville de Batna. Elle fait partie du Parc National du Belezma. Son âge est entre 50-90 ans.

Sa végétation est dégradée et se compose essentiellement chêne vert accompagné par (*Cedrus atlantica*) dépérissant et de *Juniperus oxycedrus*. La densité du peuplement est de 350 tiges / ha. Elle repose sur un substrat calcaires dolomitique et un sol brun calcaire peu profond (Abdessemed, 1981) et en pente de 45%.

Les chênaies Larbaa et Marconna se situent respectivement à 1640 et 1310 m d'altitude, sur le versant Nord de la forêt du S'gag, à 12 et 28 km au Sud de la ville de Batna.

Leurs âges sont estimés respectivement entre 50 et 90 ans et entre 25 et 40 ans (Marconna est moins âgée que les 2 autres).

Leurs végétations ont connu plusieurs incendies successifs et se composent de *Quercus ilex* associé à des densités variables de *Pistacia atlantica*, *Stipa tenacissima*, *Ampelodesma mauritanica*, *Globularia alypum* et *Rosmarinus officinalis*.

Les densités des peuplements sont de 280 tiges/ha pour le site de Larbaa et 370 tiges/ha pour celui de Marconna. Leur sol est de type calcimagnésique, en pente de 10 à 18 %.

L'indice foliaire (LAI) étant de 1.4, 1.6 et 1 pour Hamla, Larbaa et Marconna respectivement.

Il est à noter que le couvert végétal des trois stations est affaibli par une succession d'années sèches étalées sur la décennie 1992 - 2002.

A signaler aussi que les versants des stations d'étude sont tous exposés au nord et jouissent donc d'un microclimat de nuance humide, caractérisé localement par des précipitations conséquentes, des températures moins froides et des influences fraîches et pluvieuses, comparativement aux versants exposés au sud.

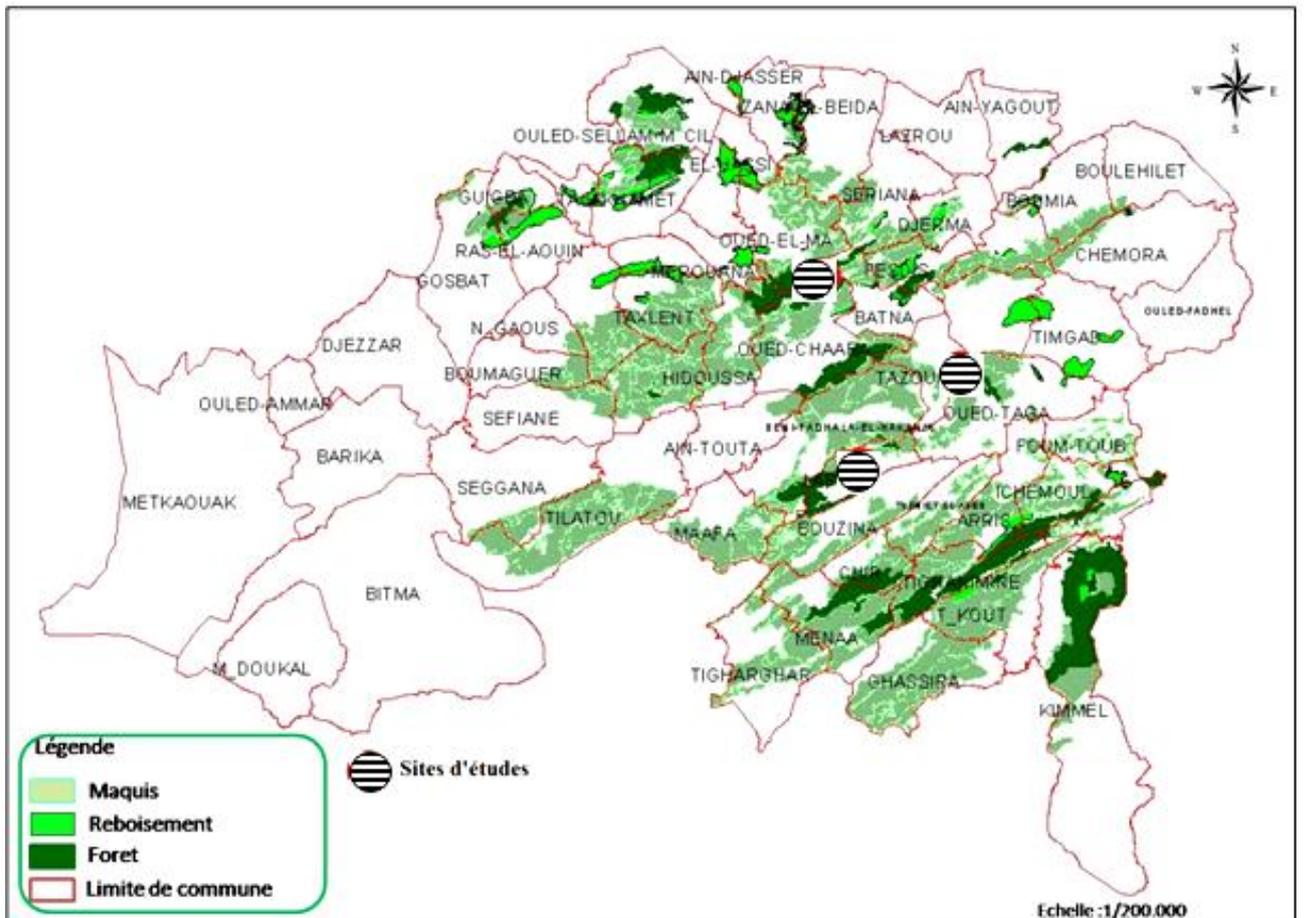


Figure 4 : Situation géographique des stations d'étude (Conservation des forêts de la wilaya de Batna 2015).

2.1.2. Caractéristiques climatiques de la zone d'étude

Les paramètres climatiques, telles les températures et les précipitations sont importants pour l'étude de l'interception des précipitations (Llorens et Domingo, 2007).

Le climat de la région d'étude relève du régime méditerranéen à deux saisons bien distinctes, celle des pluies et celle de la sécheresse. D'une manière générale, il est caractérisé par des pluies fréquentes durant la période froide de l'année (Haichour, 2009).

Les postes météorologiques situés en pleines chênaies et surtout au voisinage immédiat des stations d'étude, avec des données complètes et fiables sont actuellement non disponibles, c'est pourquoi nous avons eu recours à l'exploitation des données climatiques de 1989 à 2010, provenant de la station météorologique de Ain Skhouna située à l'Aéroport de Batna (latitude 35°45'19" Nord, longitude 06°19' Est altitude 821.29 m).

2.1.2.1. Valeurs des principaux paramètres climatiques

- Les précipitations

La hauteur moyenne annuelle des précipitations calculée sur la période de 22 ans (1989-2010) était de 331.28 mm. Cette valeur- témoigne de la faiblesse de la pluviométrie dans la région. Par ailleurs, on observe une irrégularité dans la répartition mensuelle (Tableau 4). La fluctuation interannuelle est importante (188 à 596 mm / an).

Tableau 4: Moyennes mensuelles des pluies (Station Ain Skhouna Batna (1989-2010)).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
P (mm)	33,25	21,25	30,67	36,24	46,25	16,96	7,19	19,43	38,51	22,50	26,26	32,75

- La température

Les températures moyennes et les valeurs minimales (m) et maximales (M) calculées sur la période considérée sont récapitulées dans le Tableau 5. Elles révèlent l'existence d'un hiver froid et vigoureux, avec une moyenne des minimas de 0.06 C° en Janvier, et un été chaud, avec une moyenne des maximas (le mois le plus chaud) de 35.37 C° en Juillet. La température moyenne est de 15,6 C°.

Tableau 5 : Les températures moyennes mensuelles (Station Ain Skhoua Batna ,1989-2010).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
M (°C)	11,82	13,70	17,18	19,82	25,89	31,73	35,57	34,82	29,08	23,85	17,08	12,74
m (°C)	0,06	0,49	2,95	5,57	9,88	14,45	17,04	17,29	14,32	10,00	4,63	1,49
$\frac{M+m}{2}$ (°C)	5,94	7,10	10,06	12,70	17,88	23,09	26,31	26,05	21,70	16,93	10,85	7,11

Les valeurs les plus élevées sont enregistrées durant la période hivernale (décembre et janvier), où l'humidité relative dépasse 73 %. La sécheresse de l'air s'établit de juin à août , avec une HR inférieure à 47 % (Tableau 6).

Tableau 6: Humidité relative moyenne mensuelle (Station Ain Skhoua Batna (1989-2010).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
H.R. (%)	74,27	67,82	62,68	60,14	55,68	46,23	39,23	43,32	56,09	60,91	66,86	73,55

La région de Batna subit des vents à dominance sud ouest à ouest. La vitesse mensuelle moyenne est relativement peu variable (2,78 à 3,99 m/s, tableau 7). Celle estimée sur la période de 22 ans considérée est 3.40 m/s.

Tableau 7: Vitesse moyenne mensuelle du vent m/s (Ain Skhoua Batna ,1989-2010).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Vitesse du vent (m/s)	2,78	3,24	3,60	3,99	3,67	3,74	3,60	3,53	3,38	3,05	3,20	3,06

2.1.2.2. Synthèse climatique

Il est bien évident que les facteurs qui ont un rapport avec le climat, n'agissent jamais de façon isolée, mais simultanément. L'étude de chacun de ces facteurs représente certes une approche indispensable pour la compréhension des phénomènes écologiques (Haicour, 2009).

La combinaison de deux principaux facteurs climatiques ; la température et la pluviométrie permettent de déterminer les périodes sèche et humide, ainsi que la localisation de la zone d'étude au niveau d'un étage bioclimatique.

2.1.2.2.1. Diagramme ombrothermique

Le Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен (Figure 5), met en évidence une période de sécheresse très longue de plus de cinq mois (de Mai à Novembre), selon la typologie de Gausсен, qui considère qu'un mois est secs quand $P < 2T$.

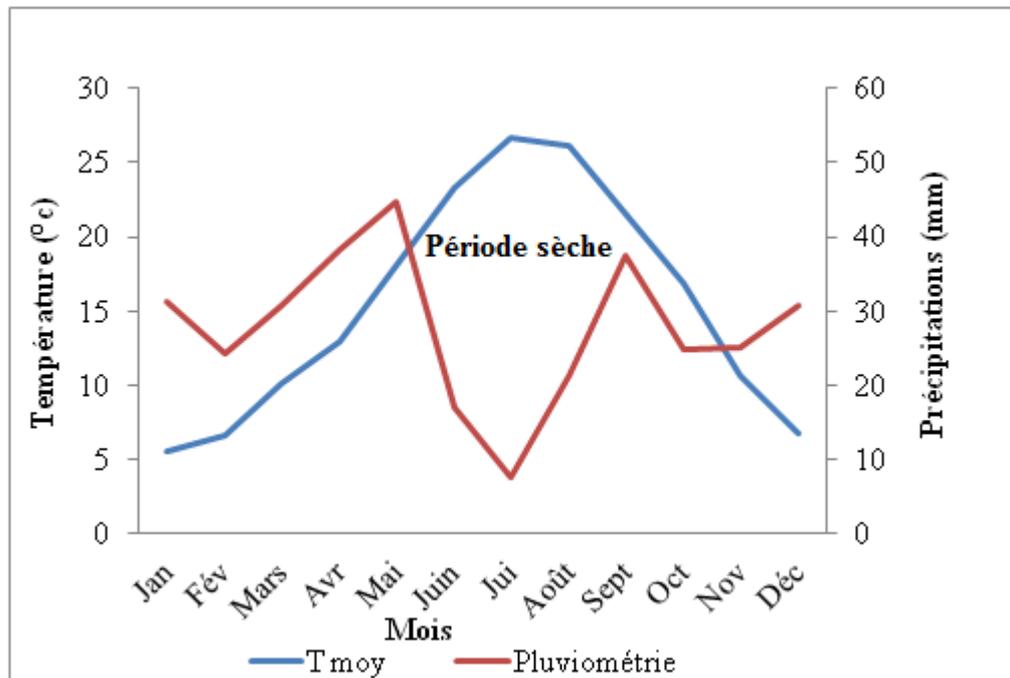


Figure 5 : Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен pour la station d'Ain Skhouna (moyennes calculées sur la période de 1989-2010).

2.1.2.2.2. Climagramme d'Emberger (1971)

Le quotient pluviométrique Q_2 d'Emberger calculé est de 31,99.

$$Q_2 = 3.43 \times \frac{P}{(M - m)} \quad \Rightarrow \quad 3.43 \times \frac{331.28}{35.57 - 0.06} = 31.99$$

Couplée avec la moyenne de la température minimale (0,06 °C), cette valeur permet de situer la région d'étude dans l'étage bioclimatique semi-aride froid (Figure 6).

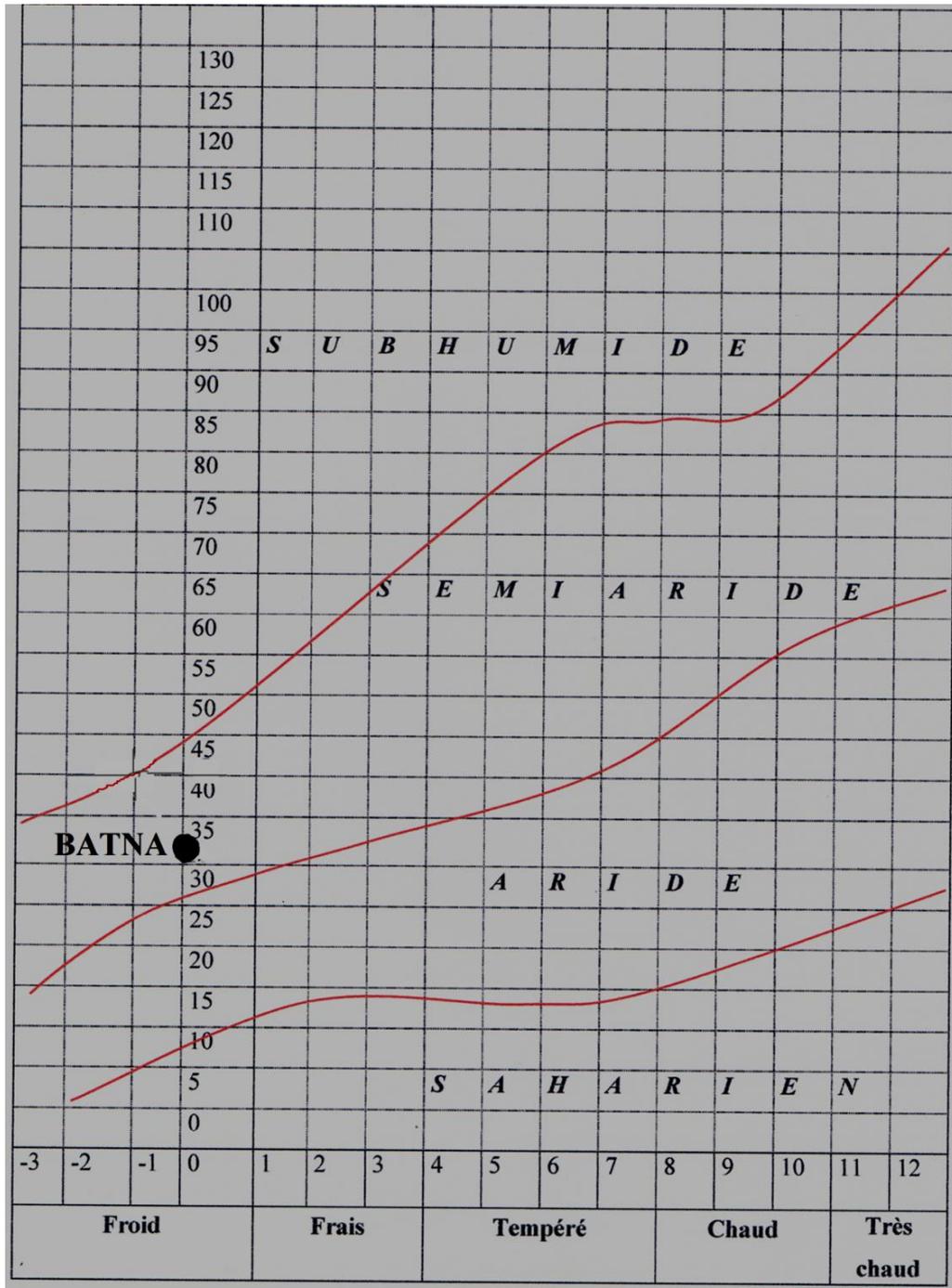


Figure 6 : Climagramme d'Emberger pour la station de Station météorologique de Ain Skhouna Batna (1989-2010).

2.2. Matériel et Méthodes

2.2.1. Matériel

Divers instruments, appareils et produits chimiques ont servi pour la récupération des différentes fractions d'eau étudiées et les retombées solides en plein champs, ainsi que les dosages des éléments NPK au laboratoire.

2.2.1.1. Matériel pour la récolte des liquides (pluies et pluviollessivats) et des litières

- Récipients de 5 litres en plastique en forme de cônes renversés.
- Colliers en plastique pour récupérer les eaux de l'écoulement.
- Mastic pour éviter les fuites des eaux d'écoulement au niveau du tronc.
- Bidons de 10 litres en plastique pour transporter les eaux recueillies (précipitations et pluviollessivats).
- Tuyaux en plastique de diamètre et de 2cm de long, pour collecter les eaux d'écoulement.
- Supports métalliques des récipients de collecte des eaux et des cages de piégeage des litières.
- Récipients en bois pour les litières.
- Grille en plastique pour capter les litières.
- Des sacs en plastiques de 5 kg.
- Bouteilles en plastique de 10 litres.

2.2.1.2. Matériel pour les mesures des volumes des eaux recueillies, la préparation et le dosage des éléments N, P et K

- Eprouvette de 250 ml.
- Eau distillée.
- Erlen.
- Papier filtre.
- Colorimètre.
- Pipette et tubes à essai.
- Balance de précision.
- Distillateur d'azote.
- Photomètre à flamme.
- Spectrophotomètre (650 nm).
- Agitateur.
- Broyeur.
- Etuve.

- Réactifs et produit chimiques: phosphovanadomolybdique, réactif sulfo-molybdique, phenolphthaline, acide sulfurique (H₂SO₄) + catalyseur (Se), acide ascorbique et acide borique.

2.2.2. Méthodes

2.2.2.1. Recueil des retombées liquides (précipitations, égouttement, écoulement et interception)

Le protocole relatif à l'étude de l'interception est inspiré des ceux utilisés par Gash *et al.* (1995), Dumas (2009) et Limousin *et al.* (2008), en raison de leurs avantages tels que leur facilité d'application et la prise en compte de l'écoulement le long des troncs. En effet, plusieurs auteurs ont démontré qu'il y a une marge d'erreur plus grande dans l'évaluation de l'interception lorsqu'on néglige l'écoulement (Limousin *et al.*, 2008 ; Fathizadeh *et al.*, 2013; Sadeghi *et al.*, 2015 a ; Sadeghi *et al.*, 2015 b; Attarod *et al.*, 2015).

Ce protocole a été surtout validé par de nombreuses études menées dans divers couverts forestiers de différents pays (Gash, 1979; Carlyle-Moses et Price 1999 ; Navar *et al.*, 1999 ; Schellekens *et al.*, 1999 ; Jackson, 2000 ; Mateos , 2001; Mosello *et al.*, 2002 ; Bryant *et al.*, 2005 ; Sraj *et al.*, 2008).

Les précipitations et les eaux d'égouttement sont collectées manuellement à l'aide de récipients en plastique en forme de cône renversé, munis d'un couvercle dont la partie inférieure conique est percée de petits trous pour réduire au maximum l'évaporation et retenir les débris végétaux et animaux. Les récipients ont été fixés sur des supports métalliques bien enfoncés dans le sol (figures 7 a et b).

Les quantités des eaux de précipitation (à découvert) ont été évaluées par la mise en place de 10 récipients répartis aléatoirement dans une zone au sol nu, éloignée de 10 m environ du couvert végétal.

Pour quantifier les eaux d'égouttement (pluviolessivats) quatre récipients (figure 7a) ont été installés sous la canopée de chaque arbre parmi les 25 arbres sélectionnés. Les hauteurs moyennes de 25 arbres choisis pour cette étude variaient de 2,5 à 5 m et de 25 à 90 ans d'âge. La surface globale de collecte pour tous les récipients (100 récipients) est de 4.9 m². Cette dernière est jugée suffisante pour estimer convenablement les eaux d'égouttement sous couvert (Rodrigo et Avila, 2001). De même Llorens et Domingo (2007) ont montré que

les eaux d'égouttement peuvent être estimées manuellement en utilisant (3 - 163) récipients avec une surface totale de réception qui varie entre 0.03 et 14.5 m².

Les eaux d'écoulement ont été recueillies par 12 collecteurs scellés solidement autour des troncs des arbres, avec des colliers en plastique rendus étanches à l'aide de mastic (figure 7 c). Les collecteurs étaient légèrement inclinés pour permettre le raccordement de leur point le plus bas qui facilite le transfert rapide de l'eau captée vers un bidon. Les parties supérieures des collecteurs ont été couvertes pour éviter l'entrée des eaux d'égouttement.

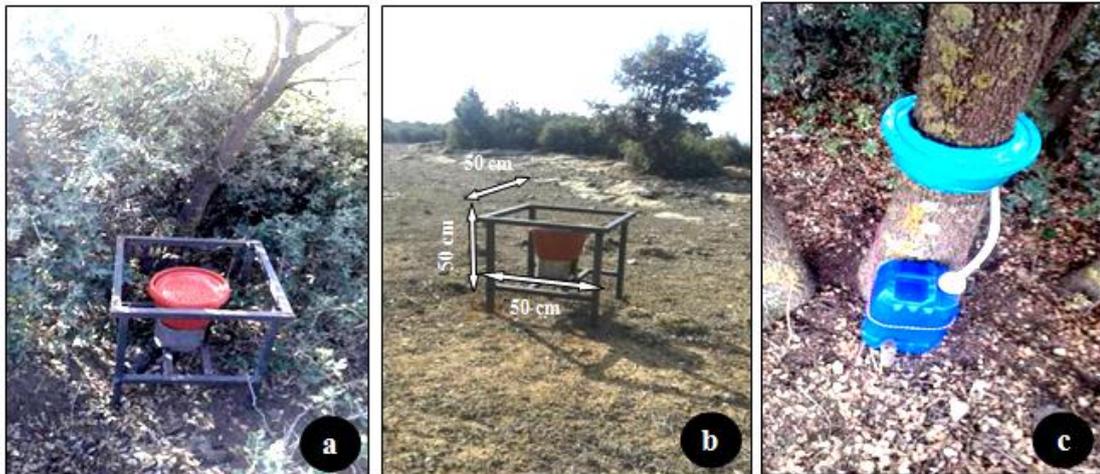


Figure 7 : Dispositifs utilisés pour récupérer les eaux d'égouttement (a), de précipitations (b) et d'écoulement (c).

L'emplacement des dispositifs d'estimation des eaux d'égouttement et d'écoulement était presque fixe durant toute la période des mesures (2011-2013), sauf quelques uns pour lesquels le changement a été fait après le contrôle de l'état du récipient. A signaler ici que le contrôle de l'état des matériels sur terrain se fait après chaque événement de mesure.

Les volumes des eaux (précipitations, égouttement et écoulement) ont été mesurés en continu de janvier 2011 à décembre 2013, avec une éprouvette, le plus rapidement possible après la chute des pluies.

Les volumes d'eau recueillis sont par la suite convertis en mm par la formule :

$$P \text{ (mm)} = 10 \times V / S \text{ (Vilard-goudou et Richard, 1956).}$$

Sachant que : S = surface de réception en cm² et V = volume d'eau recueilli en cm³.

Les surfaces des couronnes des arbres sont considérées comme des surfaces de réception pour les eaux d'écoulement (pour convertir en mm). elle varie selon la taille et la forme des arbres (Livesley et *al.*, 2014; Siegert et Levia, 2014).

Dans le cas d'absence d'égouttement et d'écoulement malgré la chute faible des pluies, le terme jours sans pluie nette est a été utilisé.

La quantité d'eau interceptée, exprimée en mm a été estimée par la formule :

$I \text{ (mm)} = P - (P_d + E_g + E_c)$ (Ausennac 1968 ; Bellot *et al.* 1999 ; Limousin *et al.* 2008 ; Dumas 2009).

Avec : I = eau interceptée, P = pluie incidente, P_d = pluie directe, E_g = égouttement et E_c = écoulement.

A coté des récipients réservés aux mesures des précipitations et des eaux d'égouttement, cinq récipients destinés uniquement à récupérer les eaux de pluviollessivats ont été placés. Ces dernier récipient est pratiquement identique à celui utilisé pour mesurer l'égouttement.

Les 10 récipients ont un emplacement fixe et les prélèvements d'eau se font à la fin de chaque mois.

La protection contre la lumière, pour éviter la pollution algale, est assurée par l'usage de récipients opaques sombres (figure 7 a).

Le nettoyage mensuel des récipients utilisés spécialement pour récupérer les pluviollessivats à analyser a été effectué régulièrement afin d'éliminer les dépôts et cela avant de les installer sous les arbres.

2.2.2.2. Récupération des retombées solides (litières)

Pour l'estimation de la biomasse de la litière tombée sur le sol, une dizaine de quadras carré, en bois, d'une surface de $0,25 \text{ m}^2$ et de 50 cm de hauteur ont été installés sous les houppiers des arbres (figure 8 A). La hauteur de 50 cm est jugée suffisante pour éviter tout transport de la litière par le vent. Le fond de ces collecteurs est constitué par une grille en plastique (figure 8 B) ayant des mailles de 2 mm. Ces collecteurs sont placé chacun sur 4 pieds de 50 cm de hauteur.

Notons que ce type de dispositif est souvent utilisé pour la récupération des litières (Martin *et al.*, 1996 ; Badri, 2003 ; Boulmane, 2013 ; Jérôme *et al.*, 2016 et Bindzi *et al.*, 2017).

Les collecteurs sont espacés aléatoirement les uns des autres de 5 à 10 m. dans les deux stations concernées.

La litière se trouvant dans chaque quadra est collectée mensuellement. Puis les retombées solides sont séparées en trois fractions essentielles (bois brindilles et écorce (BBE), fruits et inflorescences (Fr et In) et feuilles de chêne vert (Fcv), (Figure.9).

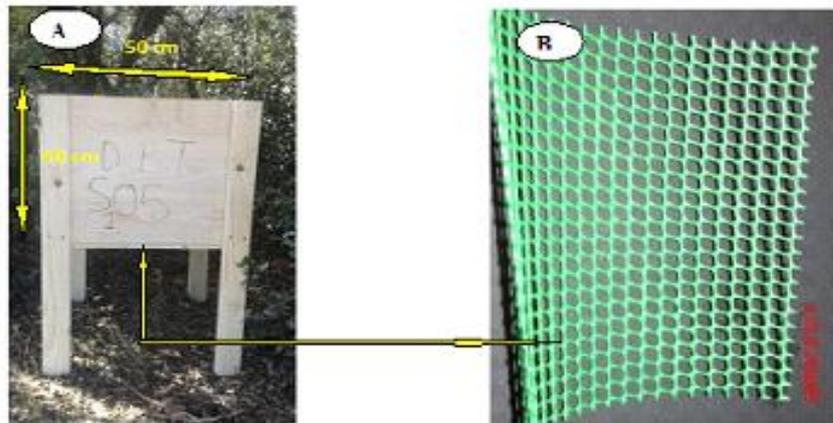


Figure 8 : Dispositif de quadra à la litière sur son support en bois (A) et la grille (B) en plastique placée au fond

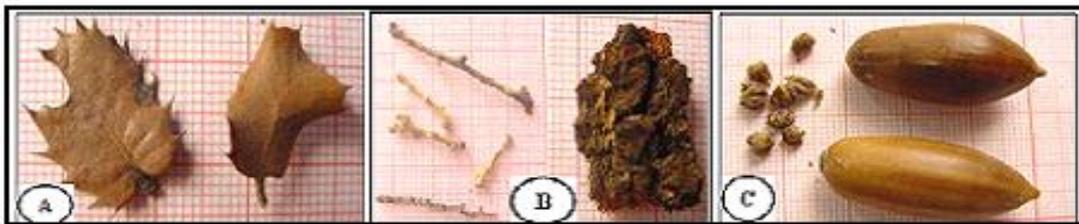


Figure 9: Les trois fractions des litières considérées (A: Feuille de chêne vert, B: Bois brindilles et écorce et C: Fruits et inflorescences).

2.2.2.3. Préparation des échantillons et dosage des éléments N, Pet K

- Retombées liquides

Les échantillons d'eau, prélevés dans des bouteilles en plastique préalablement rincées avec de l'eau distillée ont été conservés à l'abri de la lumière et transportés au laboratoire pour l'estimation des volumes et les analyse chimiques, aussi rapidement que possible.

Au total, plus de 90 échantillons ont été soumis à l'analyse (3 dosages N, P et K par échantillon). Après une filtration rapide avec du papier filtre des eaux récoltées, destinée à éliminer les matières flottantes, les échantillons des précipitations et des pluviollessivats sont prêts pour les dosages de NPK.

- Retombées solides (litières)

Concernant les retombées solides, les différentes fractions de litières ramenées sont pesées, puis conservées au frais dans des sacs en plastique bien fermés (dont on connaît le poids). Par la suite, elles ont été séchées à 105 °C jusqu'au poids constant puis, repesés séparément.

Après séchage, ces différentes fractions sont broyées jusqu'à obtention d'une poudre fine et homogène, prête pour les analyses chimiques.

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) pour les litières.
- Le potassium est quantifié par le photomètre à flamme.

Il est à noter que les quantités des précipitations, égouttement, écoulement et interception collectées sont exprimés en mm. Cependant, les résultats relatifs aux apports en éléments N, P et K par les pluvioloessivats et les litières sont exprimés en kg / ha / an.

2.2.2.4. Outil statistique

Les résultats des retombées liquides et solides obtenus sont soumis à l'analyse de la variance (ANOVA) au seuil d'erreur de 5 %. Le logiciel utilisé est le SPSS version 10.0.5 (SPSS Inc.).

Microsoft Excel a été utilisé pour la construction des modèles de prévision des paramètres étudiés ($P_d + E_g$, E_c , et I) (Régressions linéaires), coefficient de variation ainsi que les courbes relatives aux retombées de litières et leurs apports en éléments nutritifs.

Troisième partie : Résultats et discussion

3. Variation des retombées liquides et solides dans différentes stations

3.1. Variation des retombées liquides et relation entre précipitation et égouttement, écoulement et interception.

3.1.1. Variation des retombées liquides

3.1.1.1. Variation des précipitations

3.1.1.1.1. Variation des précipitations à Hamla

- Variations intra et interannuelles

Les précipitations sont un des processus hydrologiques les plus variables. Elles sont caractérisées par une grande variabilité dans le temps, aussi bien à l'échelle annuelle qu'à celle d'un événement pluvieux (Limousin, 2009).

Au cours de la période allant de 2011 à 2013, le dispositif installé sur le sol nu de la chênaie Hamla a permis d'enregistrer des hauteurs de précipitations annuelles comprises entre 246,9 et 528,4 mm de pluie, répartis sur 90 à 135 jour humides.

La chênaie de Hamla a reçue des quantités de pluies qui varient fortement d'un mois à l'autre (Figure 10) et d'une année à l'autre (Figure 11). La variation intra-annuelle est nettement plus élevée pour l'année 2011 (Son CV est de 75,5 %, contre 65,9 et 53,0 % pour respectivement 2012 et 2013).

En général, les mois les plus humides dépassant 100 mm sont Mars, Avril, Mai, Septembre et Octobre. Ceux secs sont juillet et août (Figure 12).

La fluctuation interannuelle est considérable. Elle est plus marquée en particulier au cours des mois d'Avril, Mai, Juin, Juillet et Octobre (Figure 11), avec des coefficients de variation supérieures à 54 % (Les Cv dans l'ordre sont: 57.2, 143.0, 101.0, 54.0 et 68.5 %).

Sur le plan global, l'année 2011 est très significativement plus arrosée (528,4 mm) que 2012 et 2013 qui totalisant dans l'ordre 246,9 et 334,5 mm (Probabilité de signification de F calculé par

ANOVA est de 0,011, tableau 08). Cependant, les deux années 2011 et 2013 sont considérées comme pluvieuses, alors que 2012 est plutôt moyennement humide (Rhanem, 2010).

Tableau 08: Appréciation de la signification de la variation inter et intra-annuelle des quantités des précipitations dans la station de Hamla par l'ANOVA.

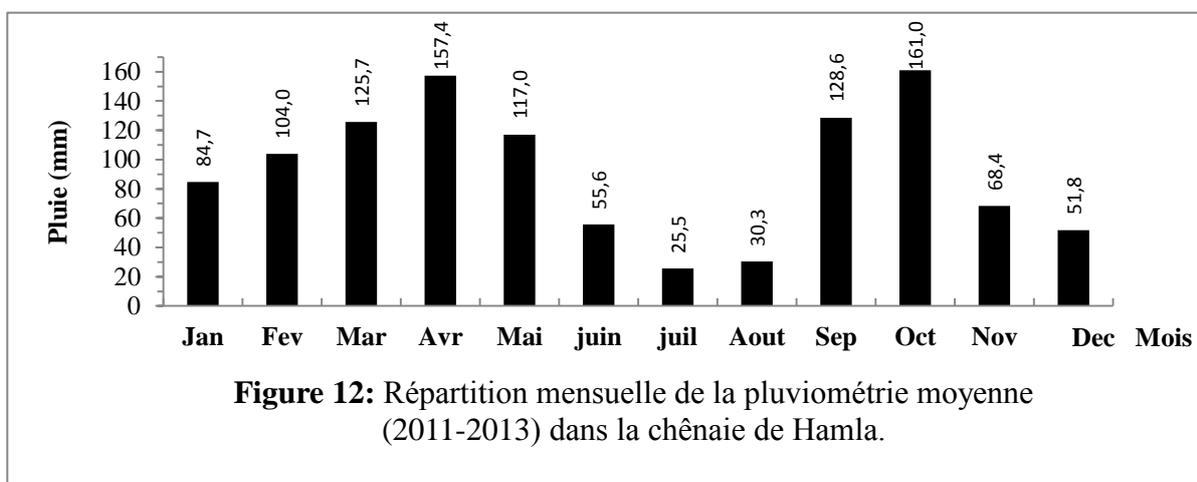
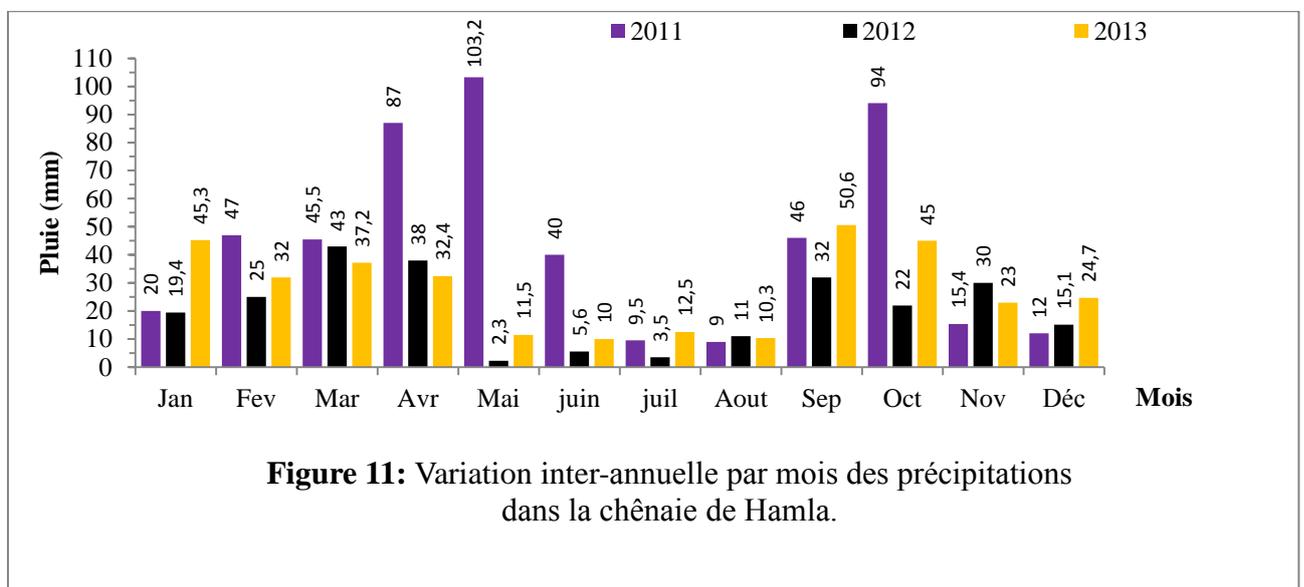
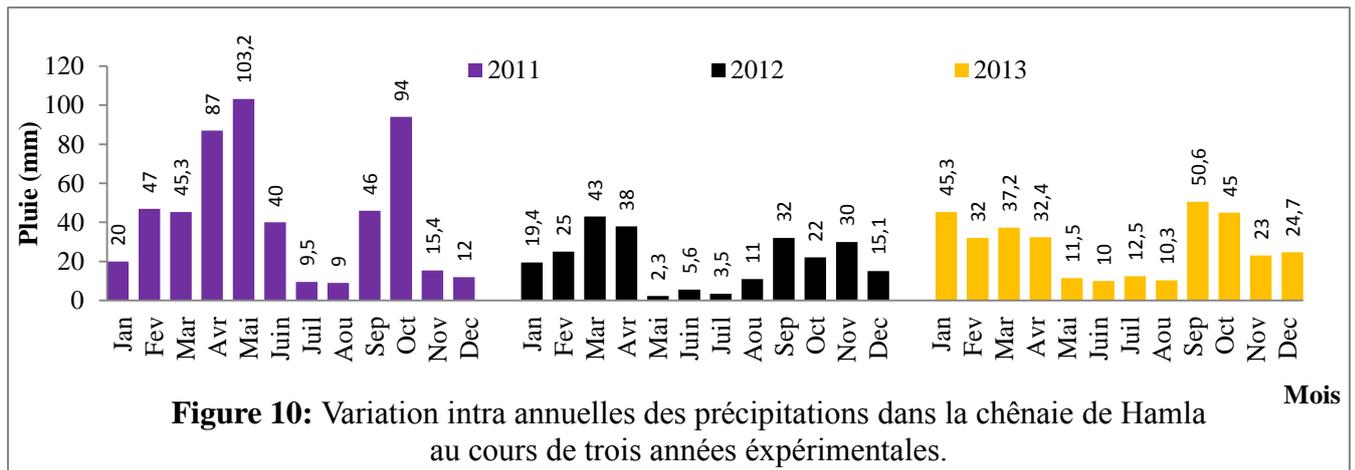
Sources de variations	Probabilité de signification de F calculé	Signification
Variations interannuelles	0,01	Significative à 99 %
Variations intra-annuelles 2011	0,142	Non significative
Variations intra-annuelles 2012	0,03	Significative à 95 %
Variations intra-annuelles 2013	0,53	Non significative

Cette irrégularité est en accord avec les résultats de Smadhi (2011) qui a analysé les données climatiques du Nord algérien sur une période de 71 ans. Meddi et Toumi (2013) qui ont évalué la variabilité interannuelle des pluies en Algérie sur 37 ans, sont parvenus aux conclusions similaires, selon lesquelles, la variation des précipitations annuelles au niveau des Aurès est importante (44 à 48 %).

De même Amri (2013) et Chermat (2013) ont rapporté que les (P) dans les régions à climat semi aride sont très irrégulières et se réduisent souvent à quelques journées de la saison pluvieuse, alors que quatre à cinq mois, voire six, sont pratiquement secs.

Ces variabilités importantes des précipitations bien connues (Limousin, 2009), .résulteraient du fait que le plus souvent, une part importante de la pluie annuelle se produit lors d'un petit nombre d'événements pluvieux (Nedjraoui et Bédrani, 2008).

Les pluviométries moyennes enregistrées dans la chênaie de Hamla durant les 3 années concordent avec les observations de Belkaid (2016) qui rapportent que la région du massif des Aurès (monts du Belezma) est caractérisée essentiellement, par un bioclimat semi-aride où les précipitations varient entre 200 et 700 mm/an.



- Fréquences des classes de précipitation

La concentration des précipitations doit être prise en compte dans l'interception et la prévision des différentes fractions créées par l'action des arbres.

Le nombre de jours de précipitations est une variable souvent négligée, alors que son rôle est indéniable. Il est non moins essentiel de savoir avec quelle fréquence les précipitations arrivent. C'est-à-dire de déterminer le nombre de jours de précipitations et leur répartition saisonnière. La quantité d'eau pluviale n'est donc pas la seule façon d'apprécier l'importance de ce facteur météorologique; le dénombrement des jours avec pluie est également intéressant. En effet, le nombre de jours avec pluie et leur intensité influe directement sur l'égouttement, écoulement et interception (Rhanem, 2010 et Limousin et *al.*, 2008).

Les précipitations journalières enregistrées durant la présente étude à Hamla sont très irrégulières et comprises entre 0,4 et 70,2 mm.

Les résultats de classement des précipitations et leurs fréquences dans des intervalles allant de 0 à 80 mm, sont reportés dans le tableau 09. Ce dernier montre que le nombre de jours durant lesquels les précipitations sont inférieures à 4 mm, représente un pourcentage très élevé (> 80 % du total de jours pluvieux au cours des 3 années).

Tableau 09 : Répartitions en classes des quantités des précipitations journalières enregistrées durant la période d'étude à Hamla.

Classes des pluies journalières	Année d'observation								
	2011			2012			2013		
	Fréquence (Jours)	Précipitations cumulées		Fréquence (Jours)	Précipitations cumulées		Fréquence (Jours)	Précipitations cumulées	
		mm	%		Mm	%		mm	%
] 0-2 mm]	72	80,2	15,18	46	56,8	23,01	38	47	14,05
] 2-4 mm]	39	116,4	22,03	35	105,4	42,69	38	114,3	34,17
] 4-6 mm]	11	54,3	10,28	2	10	4,05	8	36,6	10,94
] 6-8 mm]	0	0	0,00	2	14	5,67	4	28,7	8,58
] 8-10 mm]	3	27,9	5,28	2	19,5	7,90	2	18,8	5,62
] 10-80 mm]	10	249,6	47,24	3	41,2	16,69	4	89,1	26,64
Total	135	528,4	100	90	246,9	100	94	334,5	100

3.1.1.1.2. Variation des précipitations à Larbaa

- Variations intra et interannuelles

Le cumul des précipitations recueillies dans la chênaie de Larbaa varie avec le jour, le mois et l'année (Figures 09 et 10).

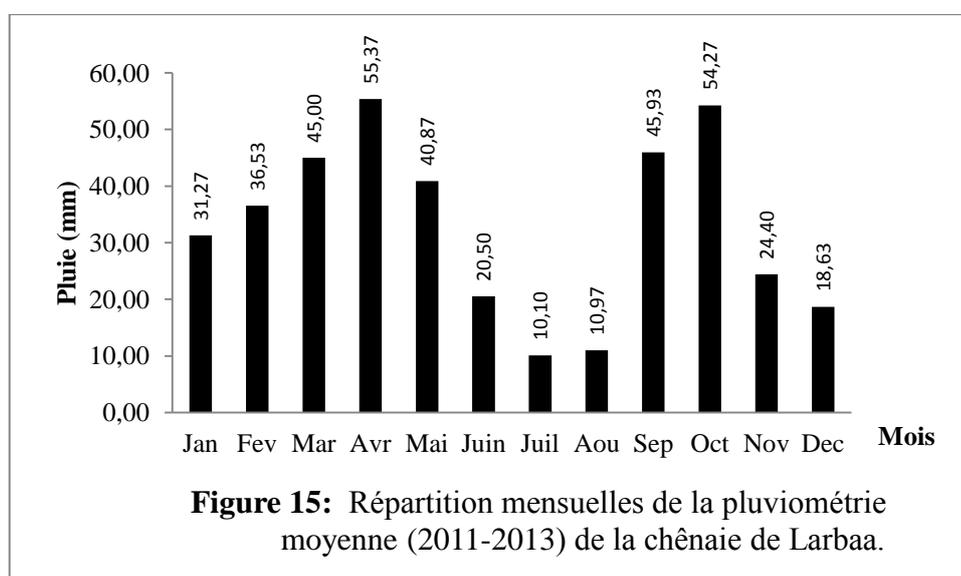
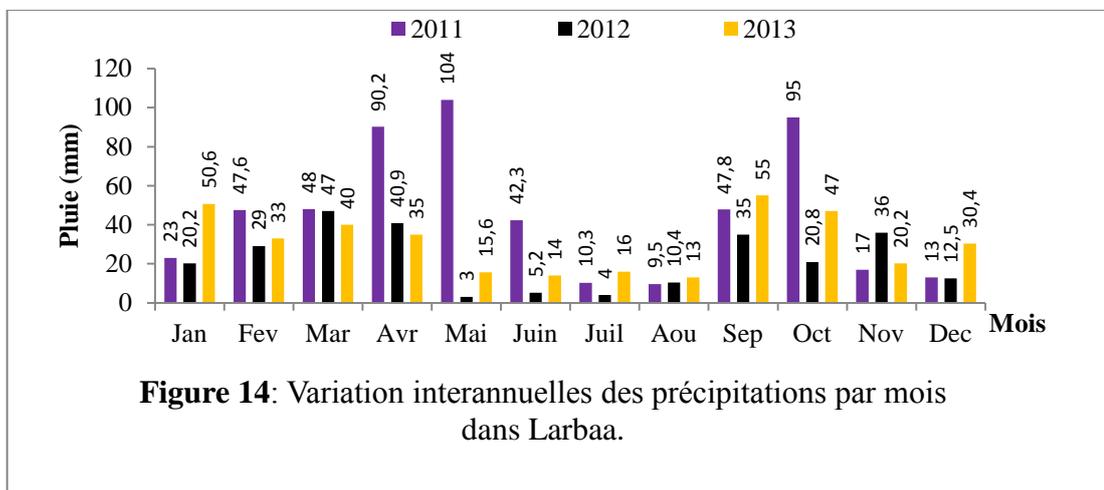
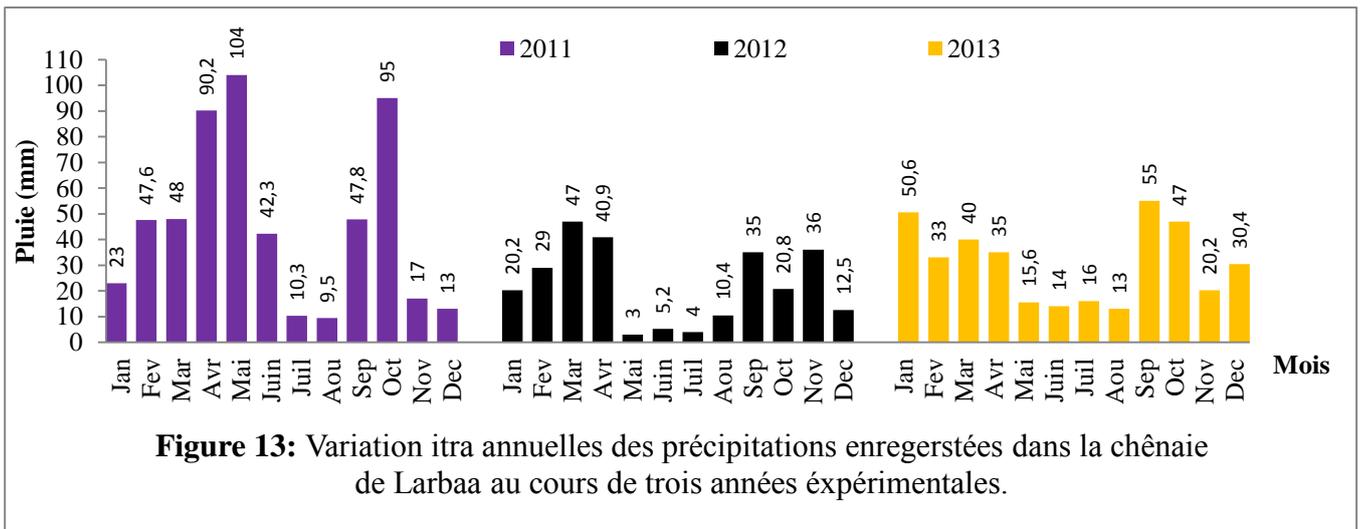
Les écarts entre les valeurs moyennes des précipitations entre les mois de la même année et celles entre les années, ont été appréciées par l'analyse de variance (Tableau 10).

Les résultats de l'ANOVA indiquent la différence entre les pluviométries des 3 années est très significative. L'année 2011 est de loin la plus humide (547.7 mm en 120 jours) et 2012 la plus sèche (264 mm en 87 jours). La pluviométrie de l'année 2013 est intermédiaire (369.8 mm en 84 jours).

Comme les moyennes annuelles, celles mensuelles des années 2011 et 2012 sont aussi significativement divergentes (La probabilité de signification de F calculé est < à 5 %, tableau 14). D'une manière générale, les mois les plus secs étaient juillet et août, alors que les mois d'avril, septembre et octobre étaient souvent les plus arrosés (Figures 13,14 et 15).

Tableau 10 : Appréciation de la signification de la variation inter et intra-annuelle des précipitations dans la station de Larbaa par l'ANOVA.

Sources de variation	Probabilité de signification de F calculé	Signification
Variations interannuelles	0,002*	Significative à plus de 99%
Variations intra-annuelles 2011	0,002*	Significative à plus de 99%
Variations intra-annuelles 2012	0,024*	Significative à plus de 95%
Variations intra-annuelles 2013	0,51	Non significative



- Fréquences des classes de précipitation

La distribution des précipitations est déterminante pour le taux de l'interception, puisque les volumes de l'interception sont largement dépendants des volumes des précipitations et des durées de ces dernières.

La présentation des résultats des volumes de précipitations et leur répartition dans le temps est très importante pour suivre la variation des paramètres (P) , (E_g+P_d) , (E_C) et (I) à l'échelle mensuelle et annuelle (Bellot et Escarre, 1998; Marin *et al.*, 2000; Xiao *et al.*, 2000; Staelens *et al.*, 2008).

Les précipitations journalières enregistrées à Larbaa sont comprises entre 0,2 et 35 mm.

Les résultats de classement des précipitations et leurs fréquences dans des intervalles allant de 0 à 40 mm sont reportés dans le tableau 11. Ce dernier montre que le nombre de jours durant lesquels les précipitations sont inférieures à 4 mm, représente un taux élevé (> 64 % du total de jours humides). Néanmoins ce pourcentage est le plus faible par rapport à la totalité des chênaies étudiées.

Tableau 11: Répartitions en classe de quantité des précipitations enregistrées durant la période d'étude.

Class de pluies journalières	2011			2012			2013		
	Fréquence (Jours)	Précipitations cumulées		Fréquence (Jours)	Précipitations cumulées		Fréquence (Jours)	Précipitations cumulées	
		mm	%		mm	%		mm	%
] 0-2 mm]	39	48,1	8,78	41	57,6	21,82	22	28,8	7,79
] 2-4 mm]	49	151,9	27,73	36	110	41,67	32	101,6	27,47
] 4-6 mm]	6	27,7	5,06	5	24,9	9,43	17	89,2	24,12
] 6-8 mm]	9	63,5	11,59	0	0	0,00	7	48,3	13,06
] 8-10 mm]	7	66	12,05	1	9,4	3,56	3	27,4	7,41
] 10-40 mm]	10	190,5	34,78	4	62,1	23,52	3	74,5	20,15
Totale	120	547,7	100	87	264	100	84	369,8	100

3.1.1.1.3. Variation des précipitations à Marconna

- Variations intra et interannuelles

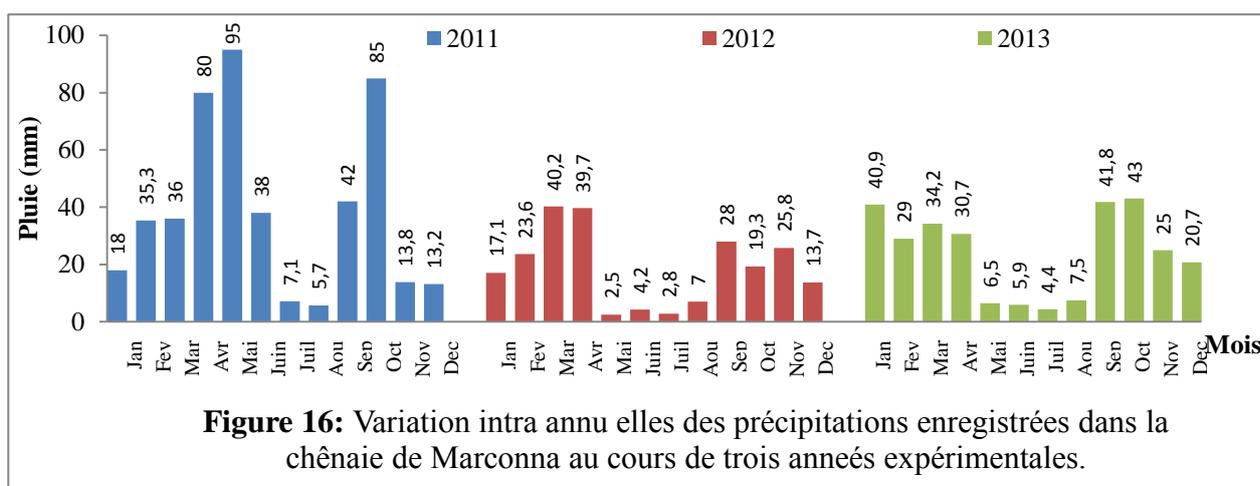
Les précipitations de la chênaie de Marconna paraissent avoir en toutes saisons un caractère épisodique, sans une alternance bien définie saison humide-saison sèche. Elles sont réparties très irrégulièrement tout au long de l'année et d'une année à l'autre (Figures 16,17 et 18).

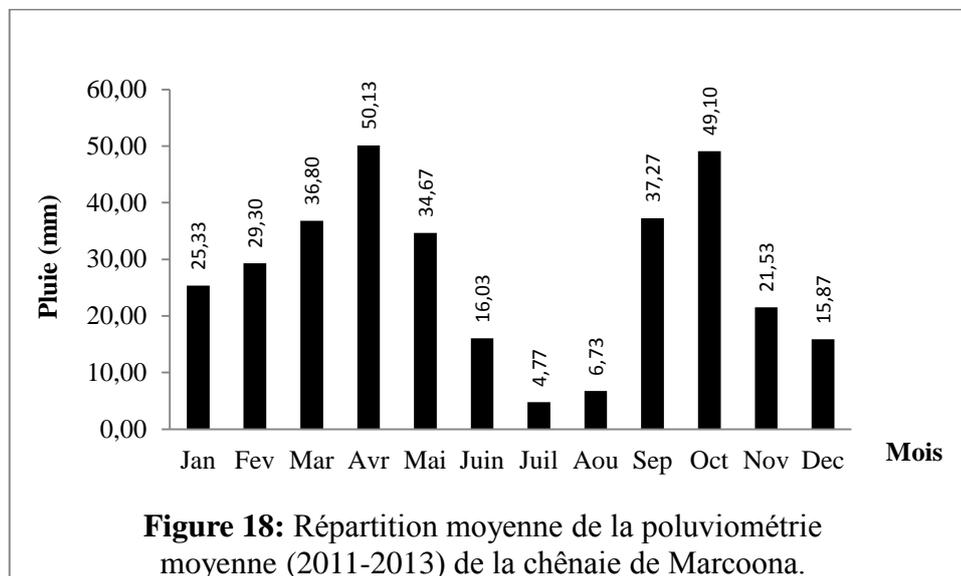
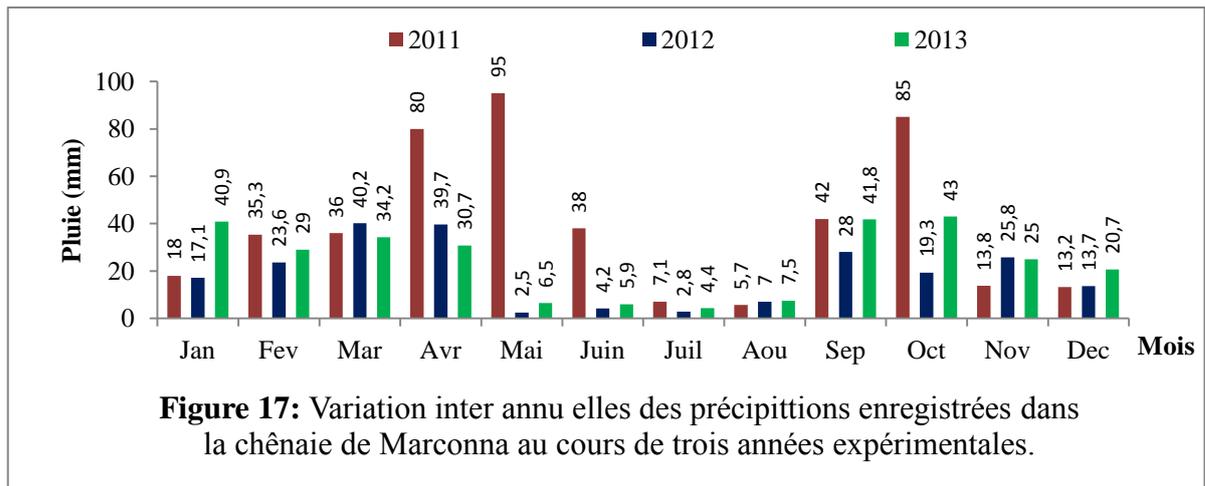
Cette variation est très significative entre les 3 années mesurées, mais pas toujours importante entre les mois de la même année (cas de 2012 et 2013, tableau 12). En effet, 2011 a été très humide avec 469,1 mm de précipitation en 110 jours. Les années suivantes 2012 et 2013 ont été moins arrosées, avec respectivement 223,9 mm en 84 jours et 290 mm en 87 jours.

Concernant la variation inter-mensuelle (significative pour 2011, tableau 16), les mois de juillet et août étaient souvent les plus secs et les mois d'avril, septembre et octobre étaient les plus arrosés (Figure 16 ,17 et 18).

Tableau 12: Appréciation de la signification de la variation inter et intra-annuelle des précipitations dans la station de Marconna par l'ANOVA.

Source de variation	Probabilité signification de F calculé	Signification
Variations interannuelles	0,006*	Significative > 99 %
Variations intra-annuelles 2011	0,033*	Significative à 95 %
Variations intra-annuelles 2012	0,11	Non Significative
Variations intra-annuelles 2013	0,13	Non Significative





- Fréquences des classes de précipitation

Les précipitations journalières enregistrées à Marconna varient de 0,3 à 50,8 mm.

Le nombre de jours durant lesquels les précipitations journalières sont inférieures à 4 mm sont élevés au même titre que les autres stations (> 70% du total de jours de précipitation de l'année de chaque année, tableau 13).

Tableau 13: Répartitions en classe de quantité des précipitations enregistrées durant la période d'étude.

Classe de pluies journalières	2011			2012			2013		
	Fréquence (Jours)	Précipitations cumulées		Fréquence (Jours)	Précipitations cumulées		Fréquence (Jours)	Précipitations cumulées	
		mm	%		Mm	%		mm	%
] 0-2 mm]	59	66,8	14,24	48	53,6	23,94	43	54,3	18,75
] 2-4 mm]	18	50,8	10,83	24	62,2	27,78	18	50,7	17,51
] 4-6 mm]	13	67,7	14,43	5	24,2	10,81	15	72,9	25,17
] 6-8 mm]	5	37,3	7,95	3	20,8	9,29	7	46,9	16,19
] 8-10 mm]	5	44,1	9,40	0	0	0,00	0	0	0,00
] 10-60 mm]	10	202,4	43,15	4	63,1	28,19	4	64,8	22,38
Total	110	469,1	98	84	223,9	100	87	289,6	100

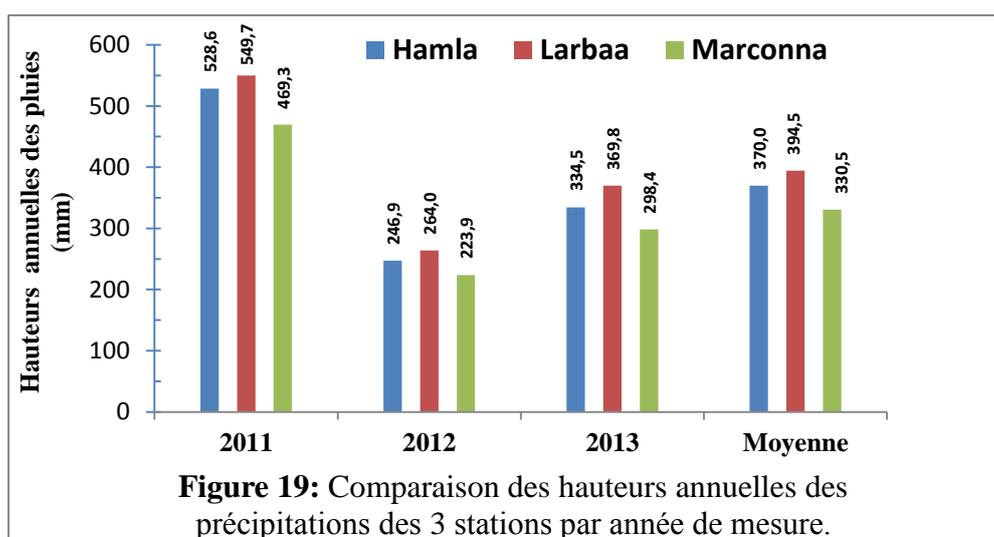
3.1.1.1.4. Variation interstation des précipitations

Au cours de la période d'étude les quantités moyennes de précipitations recueillies dans les trois stations expérimentales montrent que les chênaies de Hamla, Larbaa et Marconna ont accumulé respectivement 375,9, 393,8 et 327,5 mm de pluie. Néanmoins, l'ANOVA n'a pas montré une différence significative pour les précipitations (tableau 14). Rappelons que la station de Larbaa est plus élevée (altitude 1640 m) que les deux autres stations. La chênaie de Larbaa a reçue des volumes de (P) plus importants comparativement aux deux autres chênaies. Cette différence est attribuée selon Smadhi (2011) ; Meddi et Toumi (2013) à la différence de l'altitude, la chênaie de Larbaa se trouve une altitude de 1640 m contre 1500 et 1310 pour Hamla et Marconna respectivement.

Les précipitations sont un des processus hydrologiques les plus variables. Elles sont caractérisées par une grande variabilité dans l'espace et ceci quelle que soit l'échelle spatiale prise en compte (régionale, locale, etc.) (Brahmi, 2014). Les précipitations sont très souvent soumises à des effets locaux. L'altitude, la pente et l'orientation des versants sont autant de variables qui agissent sur la variation des précipitations (Creech et McNab, 2002 ; Laborde et Traboulsi, 2002 ; Boubaker et Gammar, 2002 et Fouchier et *al.*, 2004, tous cités par Joly, 2011 ; Cosandey et Robinson, 2000).

Tableau 14: Appréciation de la signification de la variation spatiale des quantités des précipitations, égouttements, écoulement et interception par l'ANOVA.

Sources de variations spatiales	Probabilité de signification de F calculé	Signification
Variations des précipitations	0,39	Non significative
Variations des égouttements	0,99	Non significative
Variations des écoulements	0,97	Non significative
Variations des interceptions	0,00	Significative à plus de 99 %



La figure 15 fait ressortir clairement que la succession des trois stations selon les volumes de précipitations est comme suit : Larbaa , Hamla et Marconna. Les moyennes des trois années pour les trois stations vont de 300 et 400mm / an.

Selon, Joly (2011), trois facteurs expliquent cette variation.

- L'altitude est incontestablement la variable qui explique la fluctuation de précipitations
- L'amplitude des vallées et la distance à la forêt la plus proche sont les deux variables qui expliquent le plus les précipitations après l'altitude. Les précipitations sont d'autant plus faibles que les vallées sont profondes et que la forêt la plus proche est distante.
- L'ampleur des reliefs est moins fréquemment significative que son homologue inverse, la profondeur des vallées. En fait, seuls les reliefs les plus proéminents peuvent avoir une influence sensible sur les précipitations.

Tableau 15: Coefficients de variation interstations des précipitations.

Mois / Année	Coefficient de variation interstations des précipitations (%)		
	2011	2012	2013
Janvier	12,4	8,5	10,6
Fevrier	15,7	10,8	6,6
Mars	14,7	7,9	7,8
Avril	7,1	3,7	6,6
Mai	4,9	13,9	40,7
Jun	5,4	14,4	40,6
Juillet	18,6	17,6	54,6
Aout	25,6	22,8	26,8
Septembre	6,6	11,1	13,7
Octobre	6,0	6,5	4,4
Novembre	10,4	16,7	10,6
Décembre	5,0	9,4	19,7
Année	8,1	8,2	8,3

Tableau 16 : Hauteurs des précipitations moyennes mensuelles et annuelles dans les 3 stations (mm).

Année / Station	2011			2012			2013		
	Hamla	Larbaa	Marconna	Hamla	Larbaa	Marconna	Hamla	Larbaa	Marconna
Janvier	20,0	23,0	18,0	19,4	20,2	17,1	45,3	50,6	40,9
Fevrier	47,0	47,6	35,5	25,0	29,0	23,6	32,0	33,0	29,0
Mars	45,5	48,0	36,0	43,0	47,0	40,2	37,2	40,0	30,7
Avril	87,0	92,2	80,0	38,0	40,9	39,7	32,4	35,0	6,5
Mai	103,2	104,0	95,0	2,3	3,0	2,5	11,5	15,6	5,9
juin	40,0	42,3	38,0	5,6	5,2	4,2	10,0	14,0	4,4
Juillet	9,5	10,3	7,1	3,5	4,0	2,8	12,5	16,0	7,5
Aout	9,0	9,5	5,7	11,0	10,4	7,0	10,3	13,0	41,8
Septembre	46,0	47,8	42,0	32,0	35,0	28,0	50,6	55,0	43,0
Octobre	94,0	95,0	85,0	22,0	20,8	19,3	45,0	47,0	43,0
Novembre	15,4	17,0	13,8	30,0	36,0	25,8	23,0	20,2	25,0
Décembre	12,0	13,0	13,2	15,1	12,5	13,7	24,7	30,4	20,7
Année	528,6	549,7	469,3	246,9	264	223,9	334,5	369,8	298,4

Le nombre moyen de jours pluvieux diffère d'une station à l'autre il était de 106, 97 et 93 pour Hamla Larbaa et Marconna.

Les répartitions mensuelles des pluies des 3 stations sont très comparables au cours des deux premières années de mesures (Tableau 16). Les Cv mensuels vont de 4,9 à 25,6 % pour l'année 2011 et de 3,7 à 22,8 %. (Tableau 15). En revanche, la pluviométrie enregistrée par les 3 stations durant les mois de Mai, Juin et Juillet de l'année 2013 sont remarquablement divergentes (Les Cv sont élevés de 40,6 à 54,6 %, tableau 15). En effet, au cours de cette période (Mai-Juillet), la chênaie de Larbaa est plus arrosée (14 à 16 mm) que Hamla (10 à 12,5 mm) et surtout Marconna (4,4 à 7,5 mm, tableau 16).

Il est intéressant de remarquer que pour les précipitations annuelles, les 3 stations sont pratiquement très proches. Elles reçoivent des pluviométries annuelles équivalentes pour chacune des 3 années de mesure (Figure 19). Les Cv sont très faibles et de valeur identiques (8,1 à 8,3, tableau 19).

Les résultats indiquent que pour les trois stations le mois de Mai est le plus arrosé (103.2 mm de pluie à Hamla, 104 à Larbaa et 95 mm à Marconna). Les mois les moins humides sont juillet et août.

En 2012, le mois de Mars est le plus pluvieux pour toutes les chênaies, mais pour l'année 2013 le mois le plus arrosé est janvier pour Larbaa et Hamla et septembre pour la station de Marconna. Ces résultats montrent que les pluies les plus fortes, relatives à chaque chênaie, ont la même probabilité d'apparition dans les périodes de sécheresse comme pour l'hiver. Les événements les plus pluvieux sont indépendants de la pluviosité moyenne sur une période donnée.

3.1.1.2. Variation de l'égouttement

3.1.1.2.1. Variation de l'égouttement à Hamla

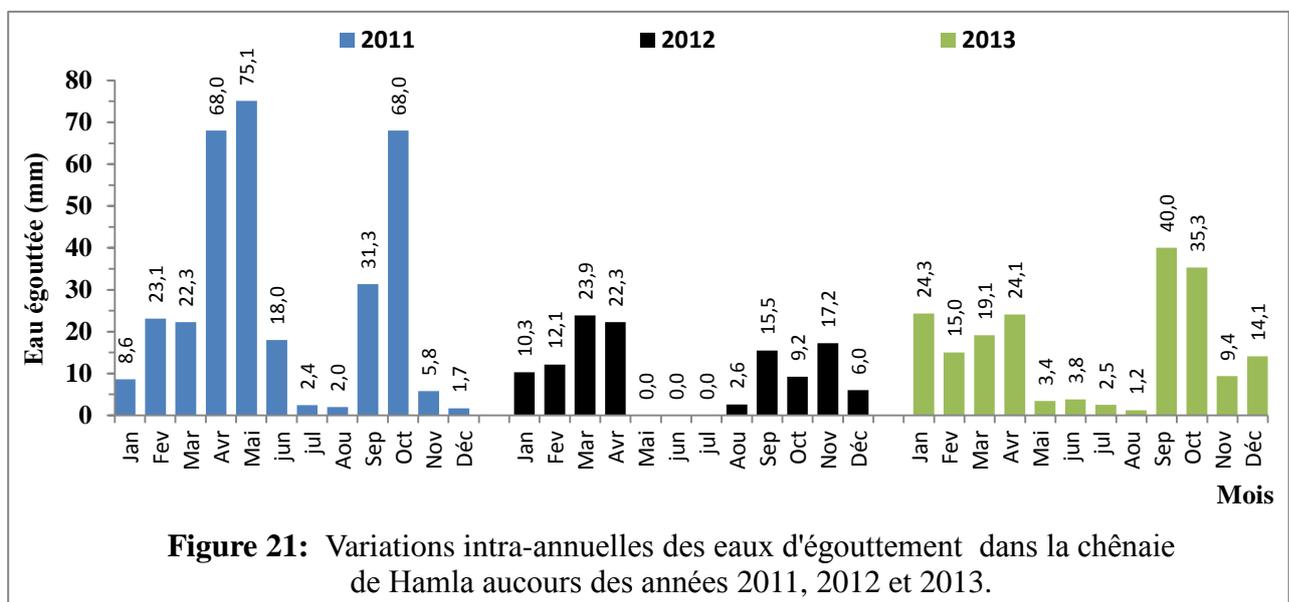
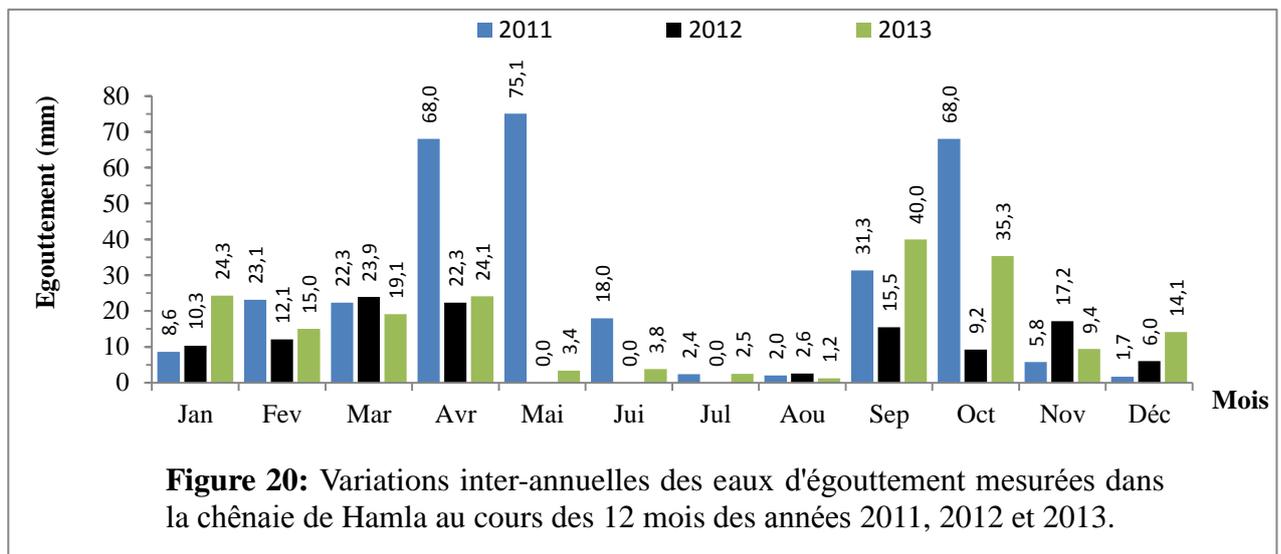
La quantité de pluie atteignant le sol est un paramètre essentiel à la recharge de la réserve en eau du sol (flux entrant). Cette quantité dépend avant tout de l'intensité et des volumes des précipitations.

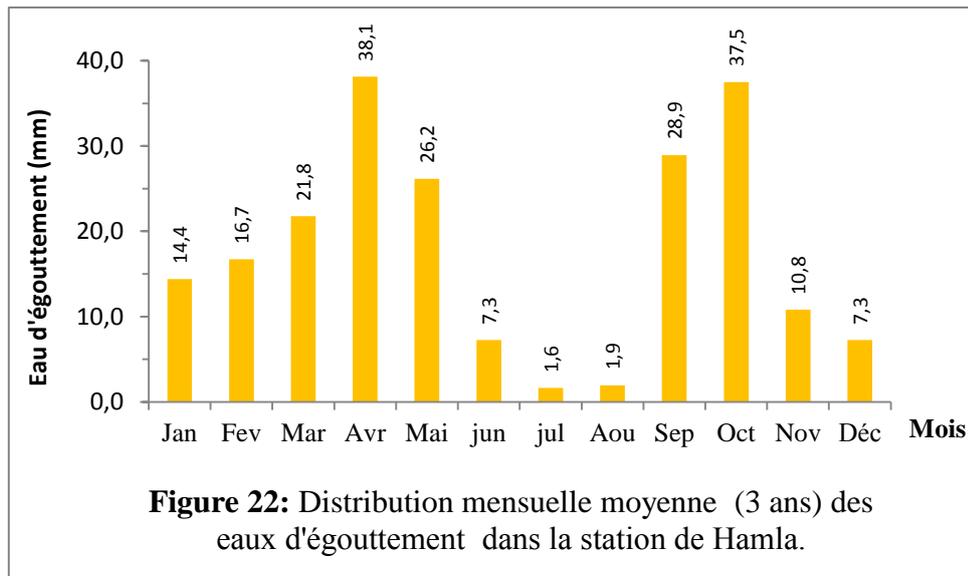
Le nombre de jours de pluie qui déclenche les égouttements, varie avec l'année et le mois considérés. Il est de 75 jours pour l'année 2011, 53 jours pour 2012 et 60 jours pour 2013.

Le dispositif installé sous le feuillage a permis d'évaluer la proportion de pluies qui atteint le sol par égouttement.

Dans la chênaie de Hamla, la fraction d'eau qui arrive au sol par égouttement représente en moyenne 57,4 % des précipitations (soit un volume total de 212 mm d'eau / an qui arrive au sol par égouttement), étalée sur un maximum de 75 jours / an.

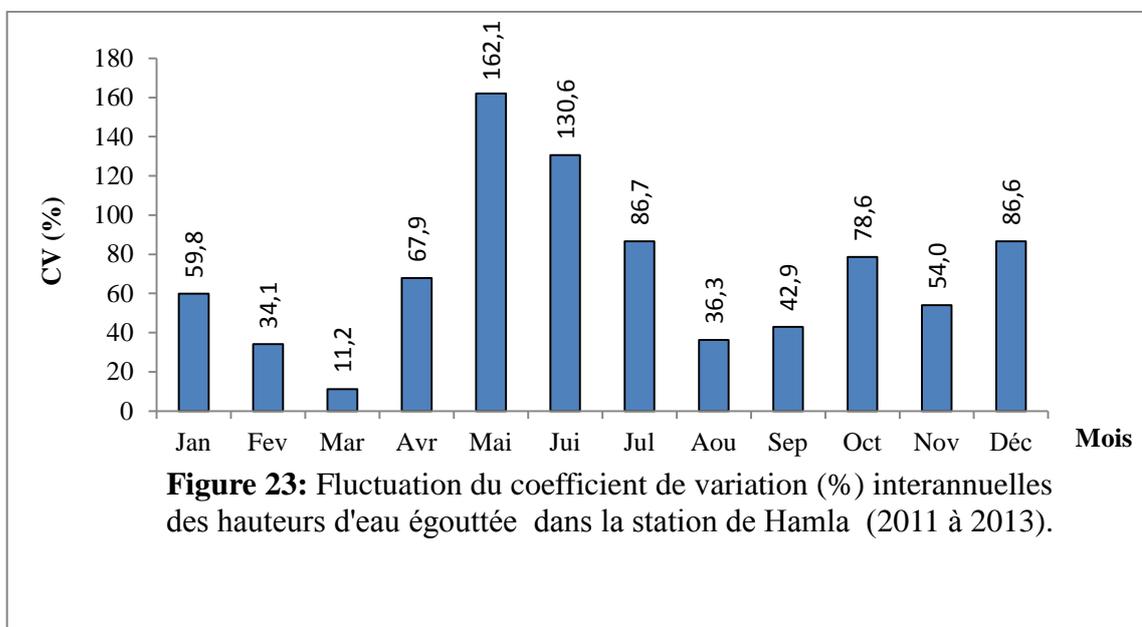
Le volume des eaux d'égouttement est irrégulier. Il dépend à la fois de l'année et du mois météorologiques considéré (Figures 20, 21 et 22).





La variation inter-annuelle (Figure. 20) suit globalement celle des précipitations. Elle s'observe sur toute l'année. Cependant, elle est plus accentuée en automne (Octobre, Novembre et Décembre) et surtout au printemps (Avril, Mai, Juin et juillet). Les Cv calculés sont indiqués sur la Figure 23.

Les variations intra-annuelles sont également élevées, avec des CV dépassant 80 % (102,0 % pour 2011, 86,1 % pour 2012 et 80,1 % pour 2013).



Sur le plan quantitatif, l'analyse statistique des E_g a révélé une différence significative entre les 3 années de mesure (tableau 17). L'année 2011 a enregistré la valeur la plus importante de l'égouttement, avec une moyenne de 0,89 mm/jour. En revanche, 2012 s'est distinguée par un

égouttement limité ($\bar{x} = 0,33$ mm/jour), avec une absence totale de l'égouttement durant les mois de Mai, Juin et Juillet (Figure 17).

A l'échelle mensuelle, l'ANOVA n'a révélé aucune différence significative durant les trois ans pris séparément (tableau 17).

Tableau 17 : Appréciation de la signification de la variation inter et intra-annuelle des quantités d'égouttement dans la station de Hamla par l'ANOVA.

Source de variation	Probabilité de signification de F calculé	Signification
Variations interannuelles	0,035	Significative à 95 %
Variations intra-annuelles 2011	0,230	Non significative
Variations intra-annuelles 2012	0,157	Non significative
Variations intra-annuelles 2013	0,467	Non significative

La moyenne calculée sur les 3 années mesurées montre que, les mois de juillet et août (été) enregistrent les plus faibles volumes d'eau d'égouttement. Les mois de fort égouttement sont Avril et Octobre (Figure 22).

Les taux d'égouttement que nous avons mesurés (57.4% en moyenne) semblent relativement faibles en comparaison avec les données de certains auteurs qui mentionnent que l'égouttement varie selon les lieux et les espèces, mais il se situe dans la plupart des cas entre 65 et 85% (Aussenac et Boulangeat, 1980 ; Dumas, 2009 ; Aussenac, 1970 ; Fathizadeh *et al.*, 2013). Pour le chêne vert Llorens et Domingo (2007) rapportent des valeurs d'égouttement fluctuant entre 63,8 et 77,8 %, dans différents pays européens de la méditerranée. Néanmoins, cet égouttement important signalé par ces auteurs est accompagné par des quantités des pluies annuelles comprises entre 478 et 1275 mm.

Toutefois, Limousin *et al.* (2008) ont trouvé un taux d'égouttement de 55,6 % dans une chênaie caractérisée par un indice foliaire de 3,1. Ce taux est proche de celui de notre étude (57,4%), malgré un indice foliaire estimé à 1,4. Donc, il est vraisemblable que le facteur principal qui a influé sur l'égouttement était le régime pluviométrique.

L'égouttement relativement bas, peut être expliqué en partie, par les précipitations majoritairement faibles enregistrées à Hamla (entre 246,9 et 528,4 mm/an), ainsi que par leur répartition dans le temps.

Les résultats relatifs aux répartitions des précipitations journalières sur plusieurs intervalles indiquent que le nombre de jours avec des pluies faibles (< 4 mm) est très élevé. Cela se répercute

sur le nombre de jours d'égouttement et d'écoulement, et par conséquent sur les quantités d'eaux qui arrivent au sol forestier par ces voies.

Attarod *et al.* (2015) ont démontré que le changement du régime pluviométrique en climat semi aride, touche beaucoup plus la fréquence des précipitations journalières comprises entre 0,1 et 5 mm, où la fréquence de précipitations inférieures à 5 mm est devenue très importantes. Sous un climat semi aride, Sadeghi *et al.* (2016) signalent des taux d'égouttement faibles pour une essence de feuillus, lorsque les précipitations journalières sont comprises entre 0,4 et 2,5 mm, et des taux d'égouttement importants lorsque les précipitations journalières sont supérieures à 10 mm. De même Dumas (2009) a mentionné que durant les faibles averses, il n'y a pratiquement pas ou peu d'eau qui traverse la canopée ; alors que pour les épisodes pluvieux longs, la quantité d'eau qui traverse la canopée peut complètement saturer les différents niveaux de stockage possibles.

Par ailleurs, d'autres facteurs comme les particules en suspension dans l'atmosphère dues à l'érosion fréquente du sol (Chermat *et al.*, 2013) peuvent entraver l'égouttement en s'accumulant sous forme de poussières sur les feuilles et les branches des arbres, sous l'effet de l'insolation prolongée et les vents.

A l'échelle mensuelle, les valeurs d'égouttement faibles enregistrées durant la période estivale peuvent être expliquées par les fortes températures et les vents chauds et secs venants du sud (sirocco) (Emberger, 1938 ; Chermat *et al.*, 2013) qui provoquent une forte évaporation notamment pour les pluies inférieures à 4 mm.

Il est à noter que les faibles volumes d'eau d'égouttement qui arrivent au sol de la chênaie de Hamla peuvent influencer la fertilité du sol à long terme. En effet, selon Matias *et al.* (2011), la diminution des volumes de (P) et E_g entraînent une diminution de la quantité des éléments nutritifs qui enrichissent le sol.

En réalité, malgré des taux d'égouttement faibles mesurés, le chêne vert de la station de Hamla ne montre pas de signes de faiblesse. Il prouve sa forte capacité à s'accommoder à différents types de climats. Ainsi, il supporte les grandes sécheresses estivales et un indice xérothermique de 0 à 150 (Haichour, 2009).

3.1.1.2.2. Variation de l'égouttement à Larbaa

La proportion annuelle de jours pluvieux ayant induit l'égouttement dans la station de Larbaa dépend largement de l'année météorologique. Elle a été de 70 % (85 jours d'égouttement sur 120

jours pluvieux) en 2011, 59,8 % (52 jours) en 2012 et 75,0 % (63 jours) en 2013. Soit en moyenne 68.7 % des jours pluvieux qui produisent un égouttement.

En termes de volume, cela se traduit par 328.4 mm (59.9 % de P) en 2011, 112,2 mm (42.5 % de P) en 2012 et 200,8 mm (51.3 % de P) en 2013. Cela correspond à un égouttement moyen de 213.8 mm / an (54.3 % de la pluviométrie annuelle)

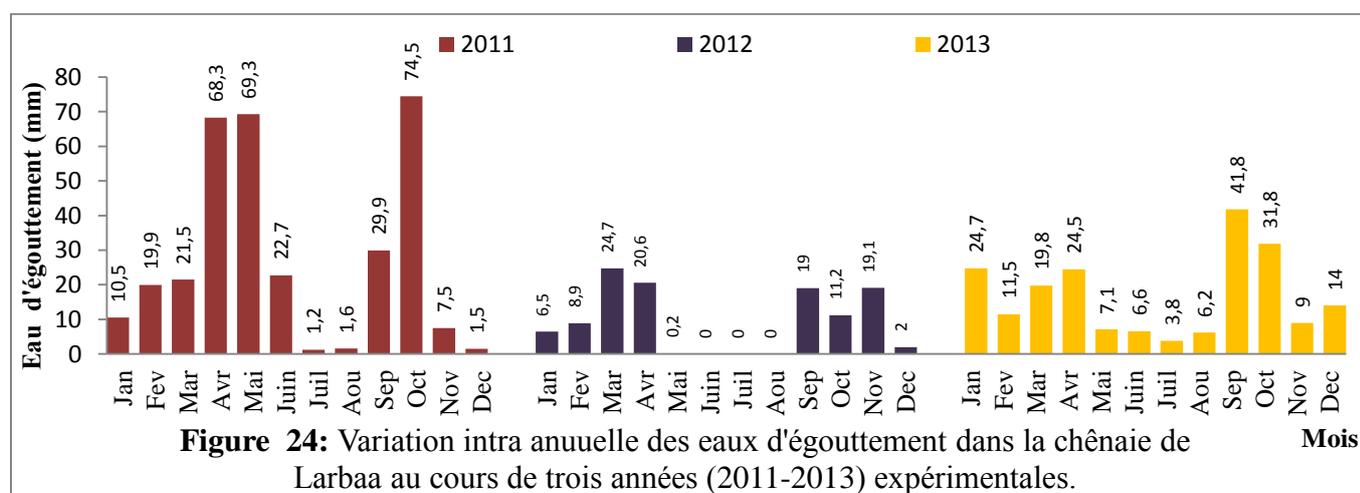
Sur le plan statistique, les apports d'eau d'égouttement par les 3 périodes mesurées sont significativement divergents Cette différence significative s'observe également entre les moyennes mensuelles de l'année 2011 (F significatif au seuil de 1 %, tableau 18).

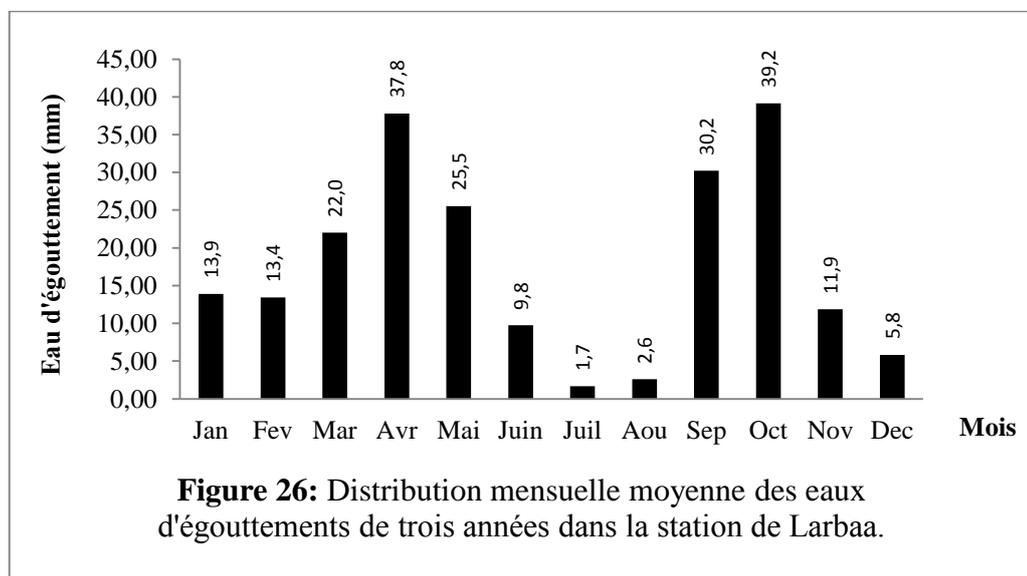
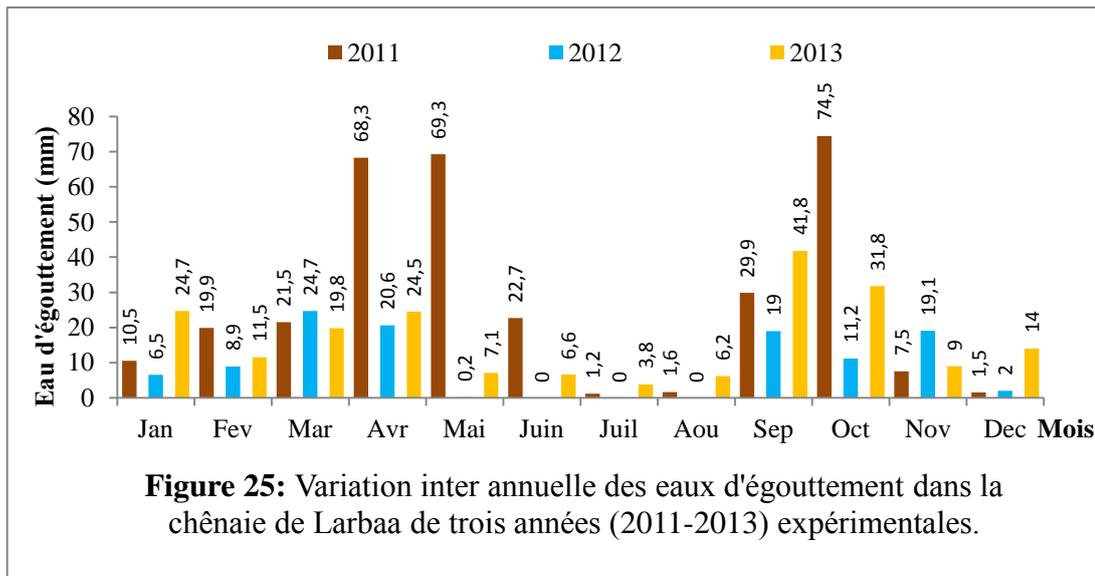
Tableau 18 : Appréciation de la signification de la variation inter et intra-annuelle des précipitations dans la station de Larbaa par l'ANOVA.

Source de variation	Probabilité de signification de F calculé	Signification
Variations interannuelles	0,002	Significative > 99 %
Variations intra-annuelles 2011	0,001	Significative.> 99 %
Variations intra-annuelles 2012	0,17	Non Significative
Variations intra-annuelles 2013	0,42	Non Significative

Les fluctuations inter et intra-annuelles sont détaillées au niveau mensuel et illustrées par les figures 24, 25 et 26).

Il est à noter l'absence d'égouttement durant souvent les mois juillet et Août, car la pluviométrie de cette période est très limitée En revanche, les mois d'avril, septembre et octobre sont ceux qui contribuent le plus à l'approvisionnement du sol en eau sous forme d'égouttement (Figures 24, 25 et 26).





Le taux moyen d'égouttement à Larbaa de 54.3 % paraît tout de même en dessous de ceux rapportés par la littérature, de l'ordre de 64 à 77.8 % pour la même espèce en méditerranée, sous une pluviométrie de 478 à 1275 mm (Llorens et Domingo, 2007).

Les raisons de cette faiblesse de l'égouttement dans la chênaie de Larbaa pourrait certainement être expliquées, au moins en partie, par les cumules pluviométriques annuels relativement bas (394.0 mm /an en moyenne).

On pourrait aussi attribuer cette réduction du taux d'écoulement à la répartition même dans le temps des chutes de pluie. En effet, il a été compté en moyenne au moins 64 % des jours pluvieux apportaient moins de 4 mm d'eau. Cela diminue les quantités d'eau qui s'accumulent sur le feuillage et par conséquent, celles qui arrivent au sol par gouttes.

En zone semi-aride, cette relation entre l'intensité des précipitations journalières et le taux d'égouttement a déjà été discutée par Sadeghi *et al.* (2016). Ce dernier a rapporté que le taux d'égouttement n'est vraiment important que lorsque les précipitations journalières dépassent 10 mm. D'autres facteurs sont susceptibles de contribuer à la réduction de l'égouttement, tels, les vents chauds et les températures élevées, notamment en été (Emberger 1938 ; Chermat *et al.* 2013).

3.1.1.2.3. Variation de l'égouttement à Marconna

Les taillis de chêne vert en Algérie se présentent sous l'aspect de futaies sur souches avec absences totale de réserve. L'origine de cette structure provient sans aucun doute de la surexploitation et du pâturage non contrôlé. Les cépées qui composent le taillis paraissent relativement jeunes (Khater, 2010). Néanmoins, il exerce un rôle important pour la redistribution des précipitations.

La station de Marconna ne fait pas exception, elle est aussi comme Hamla et Larbaa concernée par une variabilité du nombre de jours de pluie provoquant l'égouttement. Ce dernier est de 78 jours pour l'année 2011, 52 pour 2012 et 62 jours pour 2013.

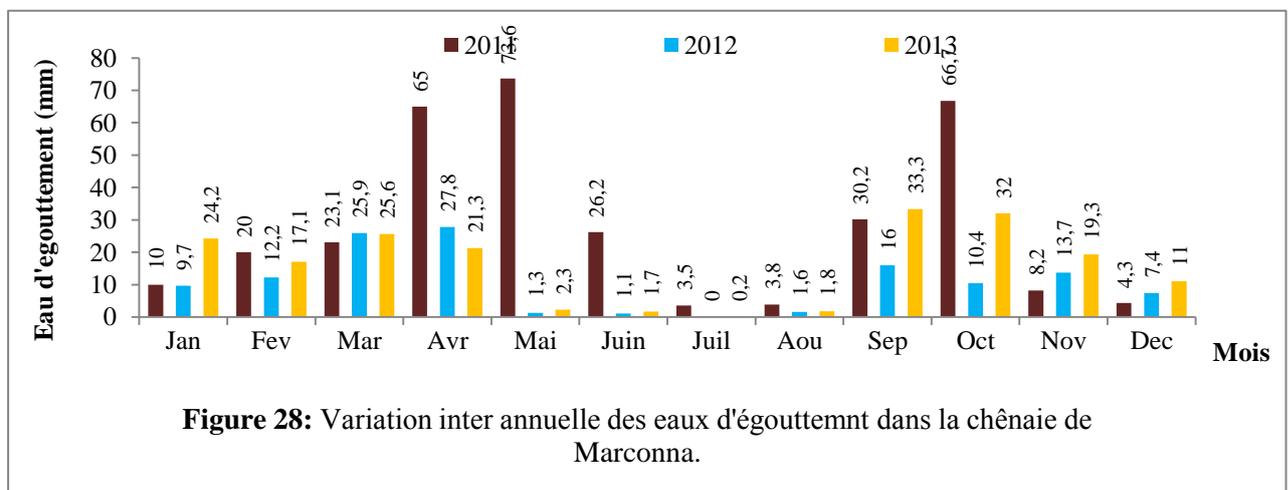
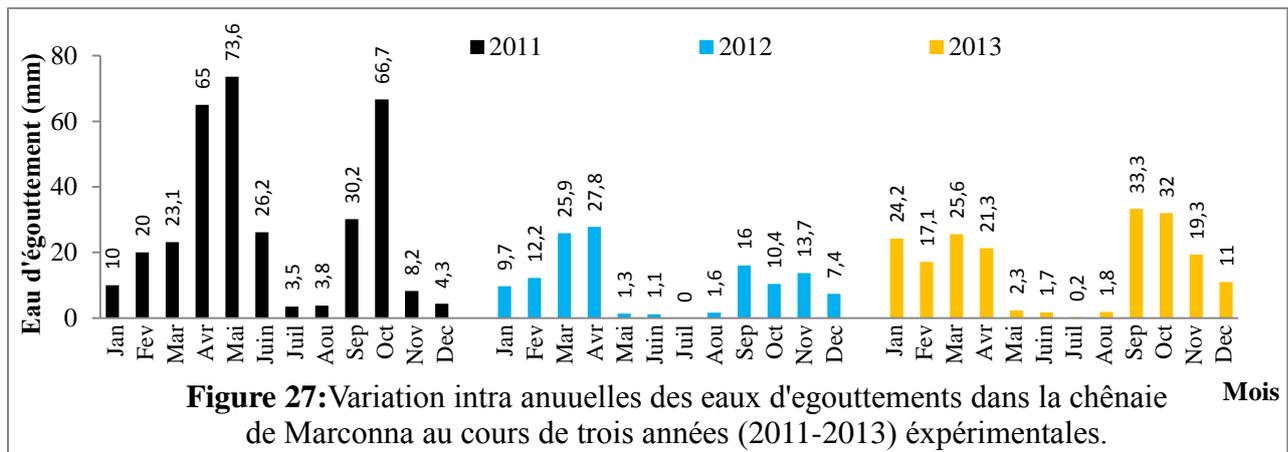
Cela signifie que 62 à 71 % des jours de précipitations tombées sur ce taillis de chêne vert arrivent réellement au sol forestier par égouttement.

La quantité d'eau égouttée est significativement différente d'une année à l'autre (Tableau 23 et Figure 29). En effet, l'égouttement annuel a été de 334.6 mm (71.3 % de la pluviométrie annuelle) en 2011, 127.1 mm (56.8 % de P) pour 2012 et 189.8 mm (65.5 % de P) pour 2013. Sa valeur moyenne annuelle sur toute la durée expérimentale a été de 217.1 mm/an (66.1 % de P).

Les variations intermensuelles (intra-annuelles) sont statistiquement faibles pour 2012 et 2013 (Figure 28) et à peine significatives pour 2011 (La probabilité de signification de F est tout juste inférieure au seuil de 5 %, tableau 19). Cette période se distingue par des valeurs d'égouttement nettement plus élevées durant les mois de Mai (65 mm), juin (74 mm) et octobre (67 mm) comme le montre la figure 28.

Tableau 19 : Appréciation de la signification de la variation inter et intra-annuelle des quantités d'égouttement dans la station de Marconna par l'ANOVA.

Source de variation	Probabilité de signification de F calculé	Signification
Variations interannuelles	0,006*	Significative > 99 %
Variations intra-annuelles 2011	0,046*	Significative à 95 %
Variations intra-annuelles 2012	0,19	Non Significative
Variations intra-annuelles 2013	0,14	Non Significative



Le taux moyen d'égouttement des précipitations dans le taillis de Marconna (66.1%) est plus élevé que celui des autres stations étudiées. Il se rapproche des valeurs (63.8 à 77.8 %) mentionnées par Llorens et Domingo (2007) pour le chêne vert de différents pays méditerranéens ayant une forte pluviométrie de 478 à 1275 mm.

Il est probable que le taux d'égouttement élevé du taillis de Marconna soit la conséquence de la répartition de la pluviométrie annuelle sur un nombre de jours relativement faible (94 jours, contre 106 pour Hamla et 97 pour Larbaa). Le houppier des arbres et leur densité plus élevée à Marconna auraient aussi favorisé l'égouttement.

3.1.1.2.4. Variation inter-station de l'égouttement

Le pourcentage des jours de pluies qui ont réellement déclenché des égouttements par rapport au nombre total de jours de précipitation varie d'une chênaie à l'autre, par exemple il

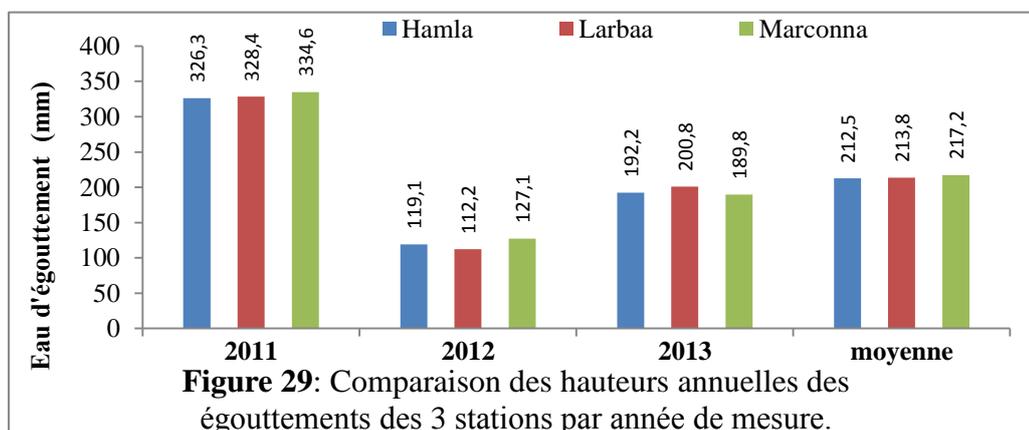
varie entre 59.77 et 75% à Larbaa et de 61.90 à 71.26% à Marconna, mais il ne varie que du 55.55 à 63.82% à Hamla .

Le tableau 20 indique que les volumes des eaux d'égouttement au cours de l'année sont presque semblables (Les Cv varient entre 1.3 et 6.2%). Par contre, ces égouttements pour certains mois comme mai, juin, juillet, août et décembre sont différents. Le plus faible taux moyen de l'égouttement a été enregistré à Hamla, (57.45 %) et les plus élevés à Marconna avec un maximum de 66.30%. Il est utile de marquer que la station qui a enregistré une quantité importante des eaux d'égouttement était celle qui a le moindre âge et la faible densité (270 tiges /ha).

La proportion de pluie qui atteint le sol par égouttement varie quelque peu d'une station à l'autre (Figure.29). Il semble que l'âge du chêne vert influent sur le taux d'égouttement, car la station qui a enregistré une quantité importante des eaux d'égouttement était celle qui est la moins âgée.

Tableau 20 : Volumes mensuels et annuels (mm) des eaux d'égouttement reçues par les 3 stations au cours des 3 années de mesure.

Année	Station	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
2011	Hamla	8,6	23,1	22,3	68,0	75,1	18,0	2,4	2,0	31,3	68,0	5,8	1,7	326,3
	Larbaa	10,5	19,9	21,5	68,3	69,3	22,7	1,2	1,6	29,9	74,5	7,5	1,5	328,4
	Marconna	10,0	20,0	23,1	65,0	73,6	26,32	3,5	3,8	30,2	66,7	8,2	4,3	334,6
2012	Hamla	10,3	12,1	23,9	22,3	0,0	0,0	0,0	2,6	15,5	9,2	17,2	6,0	119,1
	Larbaa	6,5	8,9	24,7	20,6	0,2	0,0	0,0	0,0	19,0	11,2	19,1	2,0	112,2
	Marconna	9,7	12,2	25,9	27,8	1,3	1,1	0,0	1,6	16,0	10,4	13,7	7,4	127,1
2013	Hamla	24,3	15	19,1	24,1	3,4	3,8	2,5	1,2	40	35,5	9,4	14,1	192,2
	Larbaa	24,7	11,5	19,8	24,5	7,1	6,6	3,8	6,2	41,8	31,8	9,0	14	200,8
	Marconna	24,2	17,1	25,6	21,3	2,3	1,7	0,2	1,8	33,3	32,0	19,3	11,0	189,8



Le cumule des précipitations journalières de 0 - 4 mm varie entre 37.21 à 65.92% pour la station de Hamla. Ces pourcentages sont pratiquement les mêmes pour Larbaa. En revanche, le sol de Marconna, qui a reçu les plus grands volumes d'eau d'égouttement, les précipitations de 0- 4 mm varient entre 25.07% et 51.72 % des pluies totales.

Sur le plan statistique les régimes des précipitations des trois chênaies ne sont pas significativement différent (Tableau 14).

Le régime des précipitations et l'indice foliaire légèrement distincts entre les trois stations peut expliquer la variation spatiale de l'égouttement (Aussenac et Boulangeat,1980 ; Dumas , 2009 ; Aussenac, 1970). Dumas (2009) indique que durant les faibles averses pas ou peu d'eau traverse la canopée, alors que, lorsque l'épisode pluvieux est plus long, la quantité d'eau qui traverse la canopée peut complètement saturer les différents niveaux de stockage possible.

L'écorce épaisse et rugueuse du chêne vert jouent aussi un rôle très important pour l'égouttement des pluie (Aussenac et Boulangeat,1980 ; Dumas, 2009 ; Aussenac,1970) , Les caractéristiques des troncs des trois chênaies sont différentes, elles favorisent selon l'âge et la morphologie des arbres l'accumulation des poussières sur les feuilles et branches de l'arbre ce qui entrave l'égouttement. Même les précipitations elles mêmes sont parfois chargées de sable et poussière surtout en mois d'avril.

L'absence des actions sylvicoles ainsi que l'action anthropique ont créé une mosaïque de canopées qui contribuent à une variation spatiale de l'égouttement sur des distances très courtes (Chappell et *al.*, 2001).

Le coefficient de variation des égouttements durant la période d'étude est compris entre 1.1 et 173.2%, ce qui nous renseigne sur la forte variation de (E_g). Pypker et *al.* (2005) et Herbst et *al.* (2008) ont montré que plus le couvert forestiers est uniforme, plus la variabilité spatiale diminue et l'inversement.

Selon Chappell et *al.* (2001), le régime spatial de l'égouttement dépend fortement de celui des précipitations reçues par le couvert forestier.

Davie et Durocher (1997) ont indiqué que la variabilité spatiale de l'égouttement est très forte surtout pour les couverts forestiers qui ont des petits indices foliaires (LAI) et reçoivent des intensités de pluie faible. L'augmentation de (LAI) réduit les espaces vides, par conséquent les variations de l'égouttement seront moindres.

3.1.1.3. Variation des eaux d'écoulement

3.1.1.3.1. Variation de l'écoulement à Hamla

Le dispositif scellé sur les troncs des arbres de chêne vert a permis d'évaluer la proportion de pluies qui s'écoule le long des troncs. Le suivi régulier des précipitations à Hamla a révélé que le nombre de jours pluvieux qui a provoqué des écoulements est très faible. Il est compris entre 7 et 13 jours/an.

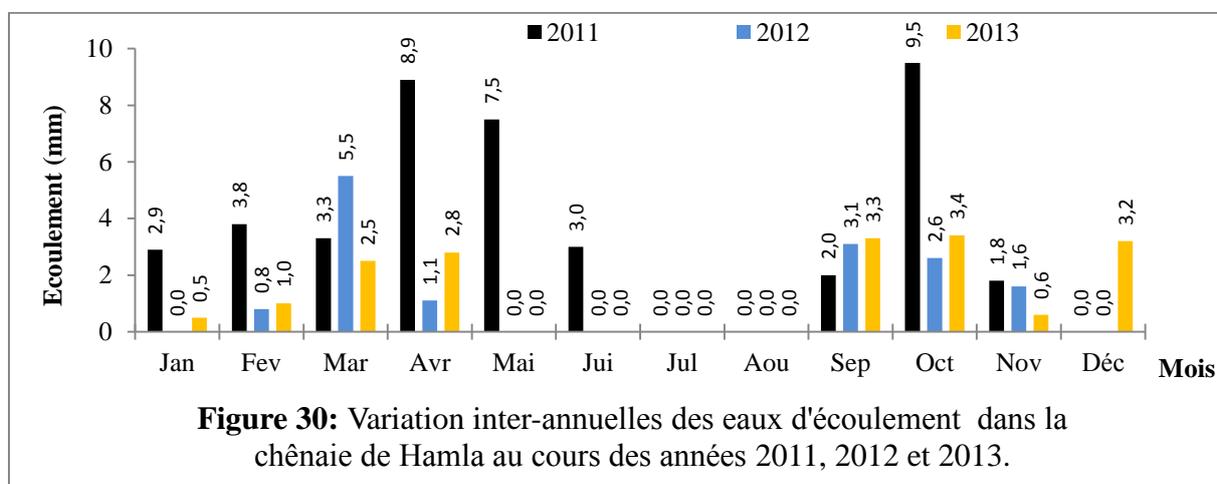
Globalement, l'écoulement représente un taux moyen de 6,73 % des pluies moyennes annuelles enregistrées dans la station de Hamla, soit une hauteur annuelle moyenne d'écoulement de 24,9 mm (sur les 370 mm des précipitations moyennes annuelles).

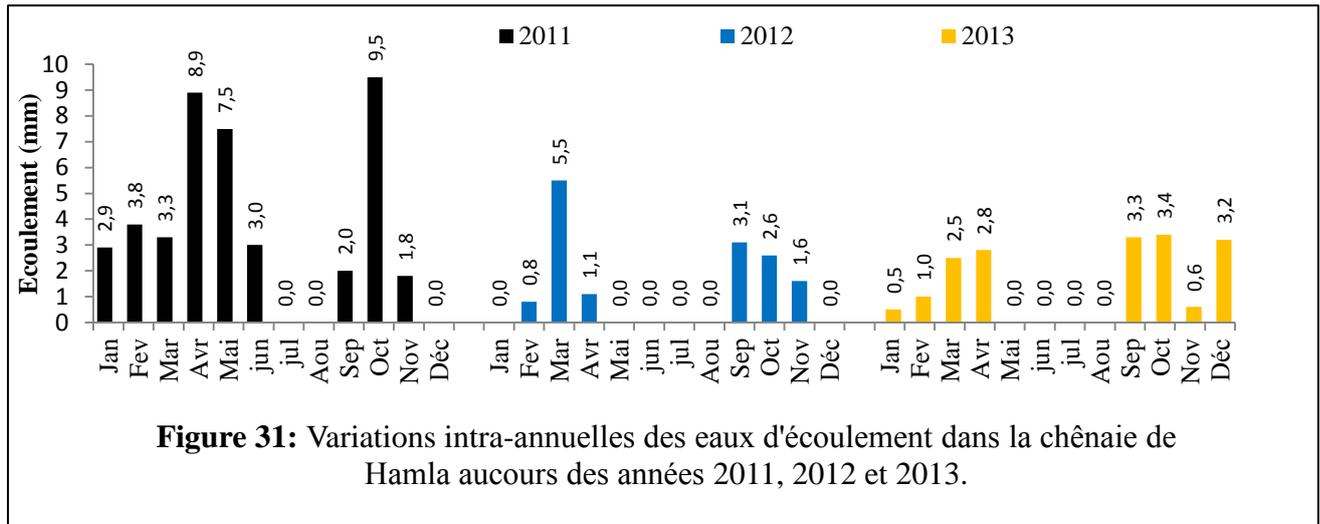
Comme les précipitations et l'égouttement, les volumes des pluies qui arrivent au sol en suivant les troncs, varient aussi avec l'année et le mois considérés.

Les variations interannuelles sont illustrées par la Figure. 30. La divergence entre les 3 années s'observe en fin décembre (cv = 141.4 %), au cours des 2 premiers mois d'hiver (Janvier et Février, avec des CV de 11.7 et 73.3 %), au printemps (Avril, Mai et juin, avec des CV allant de 78.5 à 141.4 %).

Les variations intra-annuelles (inter-mensuelles) sont aussi visibles sur la Figure.31. Les coefficients de variation calculés sont de 94.3 % pour 2011, 141.0 pour 2012 et 101.3 pour 2013.

Il est à préciser que l'analyse de variance n'a pas révélé d'écarts significatifs entre les écoulements mensuels d'une même année, et ce pour les 3 années.





L'année 2011 a connu le volume le plus élevé de l'écoulement (42.7 mm), bien que l'ANOVA n'a pas montré une différence significative avec les 2 autres périodes. L'année 2012 s'est distinguée par l'écoulement le plus faible (14.7 mm), avec une absence totale de l'écoulement durant six mois (janvier, mai, juin, juillet, août et décembre (Figure.31).

Les taux d'écoulements mesurés (6,7 % des précipitations en moyenne des 3 années) sont en accord avec d'autres études menées sur *Quercus spp.* En effet, Petit et Kalombo (1984), Limousin *et al.*(2008) et Fathizadeh *et al.*(2013) ont montré que le pourcentage de l'eau qui circule le long des troncs peut atteindre 10 % des précipitations. Bellot (1989) et Comin *et al.* (1987) ont estimé ce taux d'écoulement à une valeur supérieure à 13 % dans des sites qui cumulent des précipitations entre 570 et 862 mm / an.

Par contre, d'autres auteurs (Carlyle-Moses *et al.*, 2004 ; Holwerda *et al.*, 2006) ont mentionné que le taux d'écoulement est négligeable (< 5 %).

Le taux et le volume d'écoulement est lié directement à l'importance des précipitations journalières.

La présente étude a révélé que le nombre de jours caractérisés par des précipitations supérieures à 4 mm ne représente qu'un pourcentage faible par rapport au nombre total de jours de précipitations (< 20%). De même, Sadeghi *et al.* (2016) ont trouvé un taux d'écoulement nul sous le couvert de *Fraxinus rotundifolia* et *Cupressus arizonica* pour la classe de pluies de 0 à 2,5 mm.

La trajectoire des gouttelettes d'eau est modifiée par le vent ce qui a pour effet d'augmenter ou de diminuer l'eau écoulée selon la biomasse, la morphologie et la ramification du feuillage des différents arbres qui constituent la chênaie. La phénologie de l'arbre influe sur la surface de la canopée et donc sur la capacité de stockage de l'eau et l'interception (Pypker *et al.*, 2005). Ainsi,

l'écorce épaisse et rugueuse du chêne vert entrave le déclenchement de l'écoulement des pluies (Aussenac et Boulangeat, 1980 ; Dumas, 2009 ; Aussenac, 1970).

Un volume considérable des précipitations est retenu par l'écorce du chêne vert et certains chercheurs (Aussenac et Boulangeat, 1980) pensent que son rôle doit être non négligeable pour la biologie de l'arbre.

La quantité d'eau écoulee qui arrive au contour très proche du chêne vert est bénéfique pour son enracinement. Les espèces à fort écoulement ont des racines denses et ramifiées (Aussenac et Boulangeat, 1980).

Dans la chênaie de Hamla, la variation intermensuelle (intra-annuelle) de l'écoulement a été très forte. Les taux d'écoulement sont liés étroitement avec les quantités de pluies. Les mois de juillet et août, qui ont enregistré les précipitations les plus faibles, se sont caractérisés par un taux d'écoulement nul. Ces quantités d'égouttement et d'écoulement estivales faibles vont certainement limiter la production du bois. Rappelons que Zhang et Romane (1991) ont confirmé déjà que ce sont principalement les pluies d'été qui ont une influence positive sur l'épaisseur du cerne chez le chêne vert.

Il est utile de préciser que théoriquement le chêne vert admet une tranche pluviométrique annuelle variant de 384 à 1462 mm (Sauvage, 1961). Néanmoins, il peut se contenter d'un minimum de 250 mm de pluie. Cette dernière quantité est suffisante sans soustraire l'interception (Barry et al. 1976, in Haichour, 2009).

Dans la présente étude la quantité moyenne des trois années de mesure (237mm) qui est parvenue au sol forestier de Hamla, par égouttement et écoulement prouve que le chêne vert est confronté actuellement à une sécheresse qui entrave réellement sa productivité.

3.1.1.3.2. Variation de l'écoulement à Larbaa

Le nombre de jours de précipitation qui ont provoqué des écoulements est très faible (7 et 13 jours/an). Sur les 3 années d'étude, l'écoulement représente un taux moyen de 5.56 % des précipitations reçues par la chênaie de Larbaa.

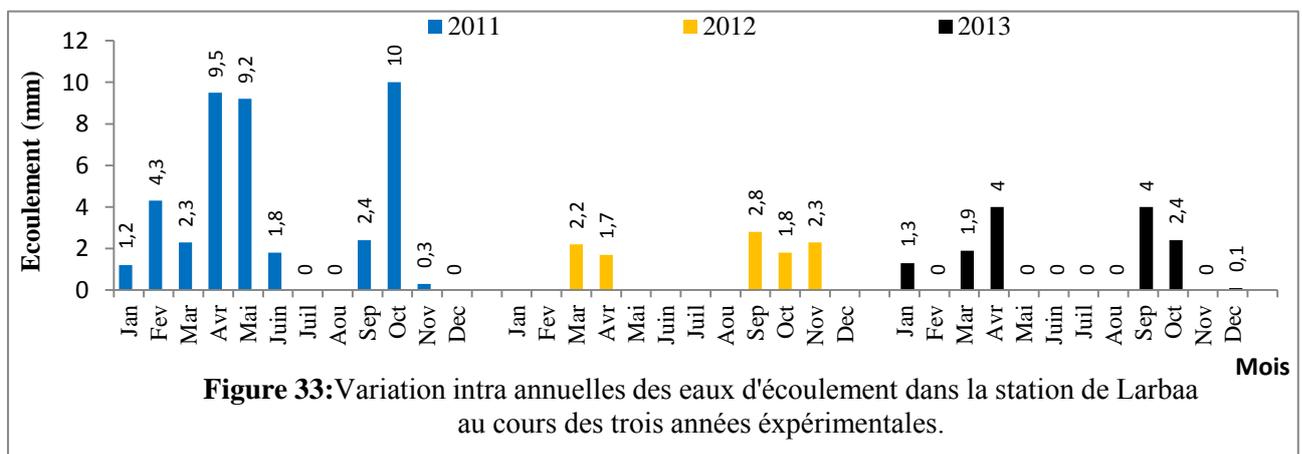
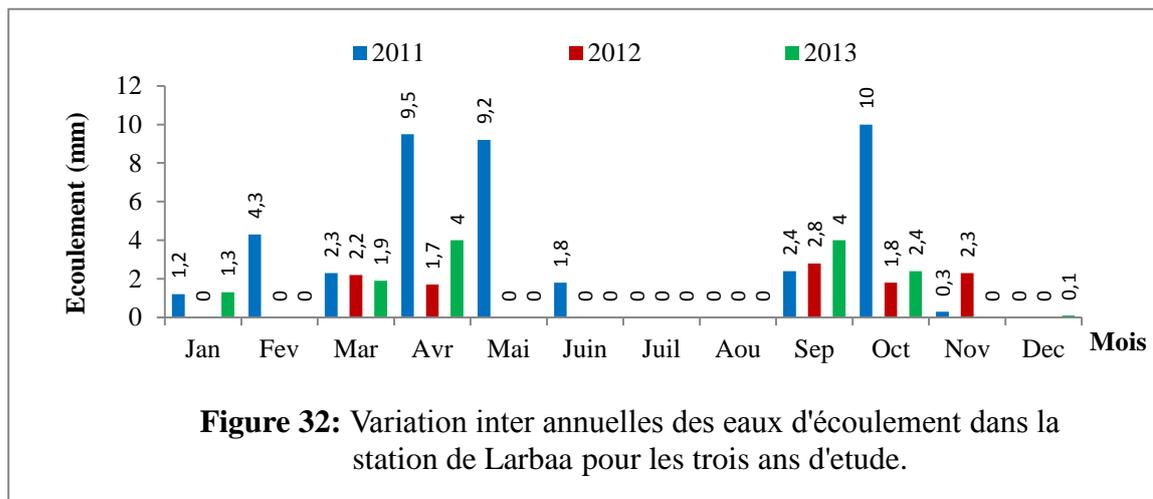
La fluctuation des volumes des pluies écoulées tant au niveau notamment annuel est remarquable (Figures 32 et 33). Cette fluctuation interannuelle est significative (Tableau 21) L'année 2011 a connu le volume le plus élevé de l'écoulement (41 mm = 7.5 % des pluies enregistrées, contre seulement 10.8 mm ou 4.7 % pour 2012).

Il est à remarquer que l'année 2012 se distingue par l'absence totale de l'écoulement durant sept mois (janvier, février, mai, juin, juillet, août et décembre) (Figure 32). Le manque d'écoulement en été (juin et juillet) est commun aux 3 années de mesure.

De tels écoulements nuls surtout en hiver vont certainement provoquer des effets néfastes sur le fonctionnement de cette chênaie notamment sur les jeunes plants issus de semis régénération destinés à assurer la régénération.

Tableau 21: Appréciation de la signification de la variation inter et intra-annuelle des précipitations dans la station de Larbaa par l'ANOVA.

Source de variation	Probabilité de signification de F calculé	Signification
Variations interannuelles	0,011*	Significative à 99 %
Variations intra-annuelles 2011	0,13	Non Significative
Variations intra-annuelles 2012	0,78	Non Significative
Variations intra-annuelles 2013	0,55	Non Significative



Le taux d'écoulement relativement réduit pour cette chênaie par rapport à Hamla et Marconna est dû au diamètre important des arbres à Larbaa et à l'écorce épaisse et rugueuse du chêne vert qui entrave réellement le déclenchement de l'écoulement des pluies surtout pour les précipitations faibles (Aussenac et Boulangeat, 1980 ; Dumas, 2009 ; Aussenac, 1970).

Selon Aussenac et Boulangeat (1980), le volume d'eau écoulé qui survient au contour très proche du tronc de chêne vert est bénéfique pour son enracinement et notamment sa régénération.

Le taux et le volume d'écoulement est lié directement à l'importance des précipitations journalières. Notre étude a révélé que le nombre de jours caractérisés par des précipitations supérieures à 4 mm ne représente qu'un pourcentage faible par rapport au nombre total de jours de précipitations (< 40%). De même, Sadeghi *et al.* (2016) ont trouvé un taux d'écoulement nul sous le couvert de *Fraxinus rotundifolia* et *Cupressus arizonica* pour la classe de pluies entre 0 à 2,5 mm.

Dans la présente étude, la variation intermensuelle de l'écoulement a été très forte. Les taux d'écoulement sont liés étroitement avec les quantités de pluies. Les mois de juillet et août, qui ont enregistré les précipitations les plus faibles, se sont caractérisés par un taux d'écoulement nul.

3.1.1.3.3. Variation de l'écoulement à Marconna

Le nombre de jours de précipitation qui ont provoqué des écoulements est important par rapport aux deux futaies de Larbaa et Hamla. Il est compris entre 11 et 27 jours/an.

Globalement, l'écoulement représente un taux moyen annuel de 7.13 % (23.36 mm / an) des précipitations.

Les figures 34 et 35 présentent la fluctuation des volumes des pluies écoulées selon les années et les mois. L'année 2013 a connu le volume le plus élevé de l'écoulement (22.4 mm = 7.73 % des précipitations annuelles), mais l'analyse de variance n'indique pas de différence interannuelle significative (Tableau 22).

Le taux d'écoulement en 2012 est de 6.79 % des pluies tombées (15.2 mm), avec une absence totale de l'écoulement durant quatre mois (mai, juin, juillet et août). L'année 2011 était de 6.92 % des pluies écoulées le long des troncs des arbres (32.5 mm d'eau).

Pour la variation intra-annuelle, les taux mensuels de Ec sont proches pour les 3 années.

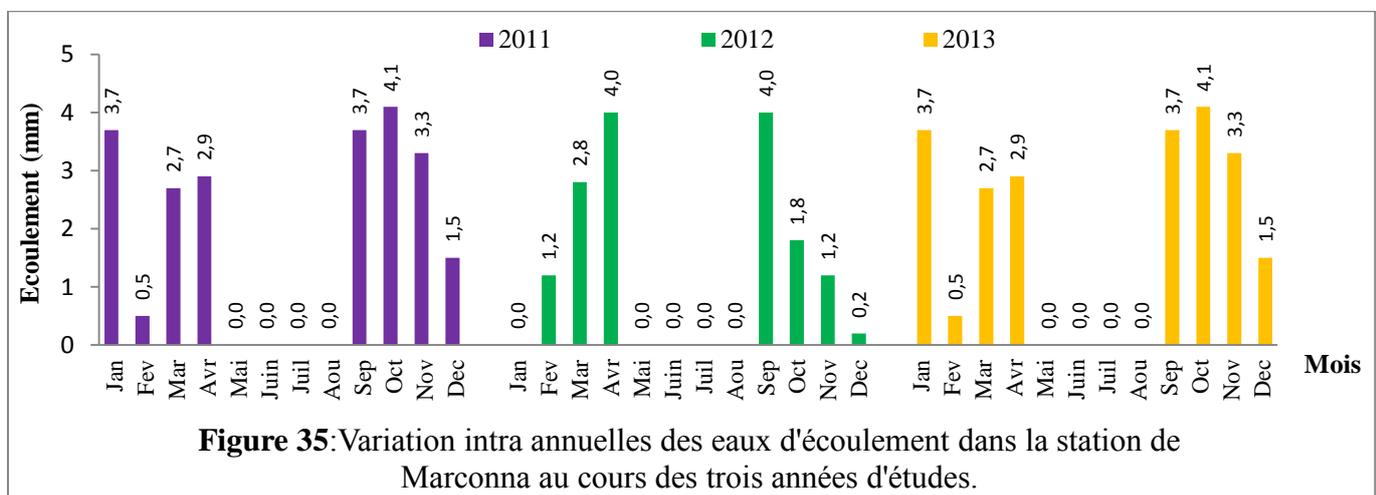
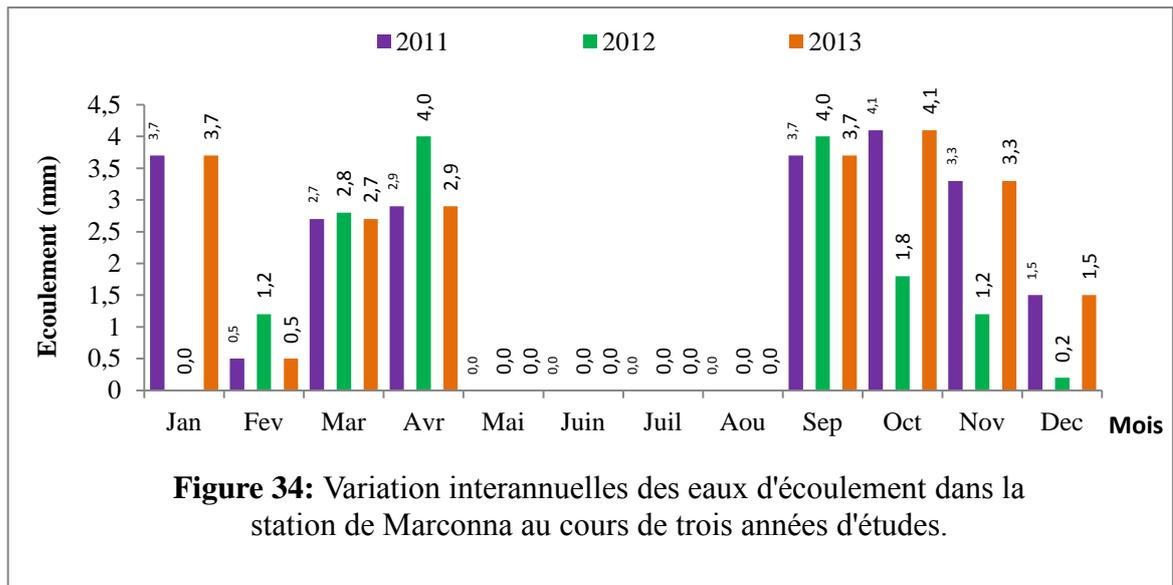


Tableau 22: Appréciation de la signification de la variation inter et intra-annuelle des quantités d'écoulement dans la station de Marconna par l'ANOVA.

Source de variation	Probabilité de signification de F calculé	Signification
Variations interannuelles	0,19	Non significative
Variations intra-annuelles 2011	0,052	Non significative
Variations intra-annuelles 2012	0,59	Non significative
Variations intra-annuelles 2013	0,39	Non significative

Le taux moyen d'écoulement obtenu sur toute la période de mesure (7.13%) est relativement plus élevé par rapport à celui de la station de Larbaa (5.54 % à Larbaa, 6.7 % à Hamla,) et à celui < 5 % trouvé par Carlyle-Moses *et al.* (2004) et Holwerda *et al.*(2006). Chez la même espèce il peut

atteindre 10 % des précipitations (Petit et Kalombo, 1984 ; Limousin *et al.*, 2008 ; Fathizadeh *et al.*, 2013) et même 13 % sous une pluviométrie importante.

La trajectoire des gouttelettes de l'eau est modifiée par le vent pour augmenter ou diminuer l'eau écoulée selon la biomasse, morphologie et ramification du feuillage des différents arbres qui constituent le taillis (Branson *et al.*, 1981; Crockford et Johnson, 1983 ; Crockford et Richardson, 1983, 1987, 1990 ; Van Elewijck, 1989).

L'angle d'insertion des branches ainsi que l'écorce épaisse et rugueuse du chêne vert entravent le déclenchement de l'écoulement des pluies (Aussenac et Boulangeat, 1980 ; Dumas, 2009 ; Aussenac, 1970).

3.1.1.3.4. Variation inter-station de l'écoulement

L'écoulement de l'eau de pluie le long des troncs des arbres a été mesuré au cours de 121 événements pluvieux pour les trois stations d'études. Sur l'ensemble de ces mesures, l'écoulement représente 6,73, 5,54 et 7,13 % des précipitations reçues pour respectivement Hamla, Larbaa et Maronna. Le plus grand nombre de jours d'écoulement (27 jours) a été enregistré dans la station de Maronna en 2011. Le plus faible (5 jours) revient à la station de Larbaa en 2012.

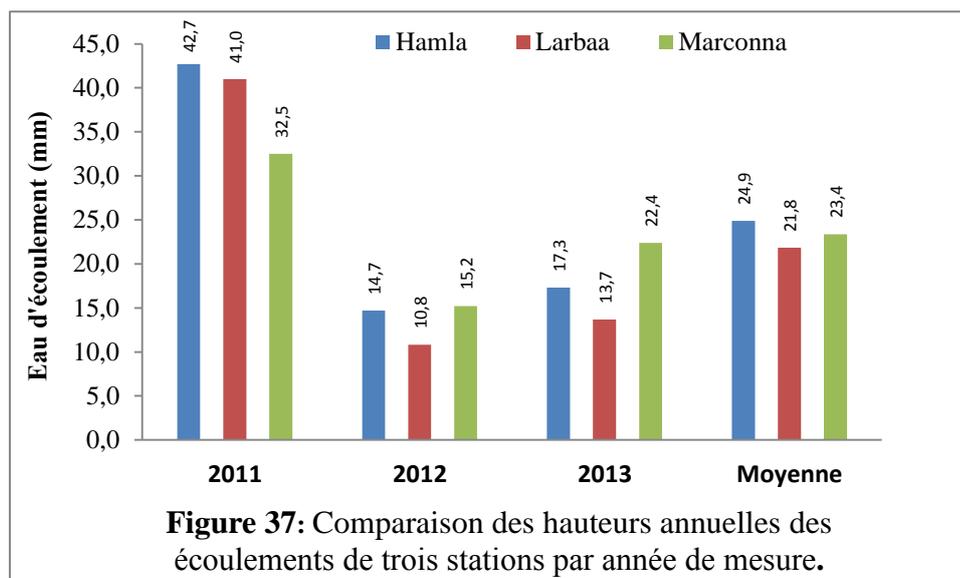
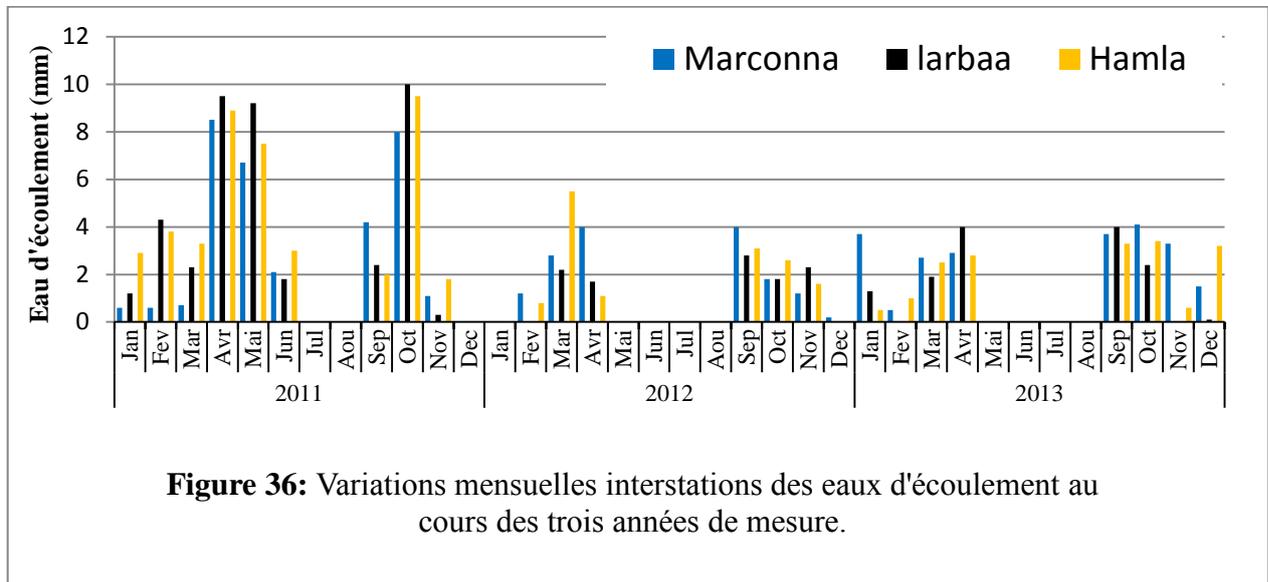
Le nombre de jours de précipitation qui ont déclenché des écoulements est très faible, de l'ordre de 5,75 à 24,54% du nombre total de jours de précipitations.

La confrontation des valeurs moyennes annuelles des eaux d'écoulement des différentes stations par l'analyse de variance n'a pas révélé d'écart significatif (Tableau 14 et Figure 37). La figure 36 montre que les écoulements les plus forts se produisent souvent au printemps et en automne, notamment pour l'année 2011 ont été enregistrés souvent durant les deux saisons, printemps et automne pour l'ensemble des chênaies étudiées (en mars, avril, mai et octobre suivant les années, figure 36).

Selon Chappell *et al.* (2001) le régime spatial de l'écoulement dépend aussi fortement des régimes spatial des précipitation reçues sur le couvert forestier et ne prend de l'ampleur qu'après des fortes intensités de précipitations. Il est clair que le taux d'écoulement est lié directement à l'importance des précipitations journalières et les caractéristiques morphologiques des arbres qui constituent les différentes chênaies.

Aussenac et Dumas (2009) mentionnent que la variation du taux écoulement peut s'expliquer par la relation qui existe entre l'âge de l'arbre et l'écoulement. La mauvaise conformation et l'inclinaison différente des arbres peuvent expliquer parfois certains changements des régimes de ruissèlements le long du tronc. Selon les mêmes auteurs, la trajectoire des gouttelettes de l'eau est

modifiée par le vent et l'intensité des pluies pour augmenter ou diminuer l'eau écoulee selon la densité, la biomasse, la morphologie et les ramifications du feuillage des différents arbres qui constituent les chênaies.



3.1.1.4. Variation des eaux d'interception

3.1.1.4.1. Variation de l'interception à Hamla

Les quantités d'interception sont considérables. Elles ont représenté en moyenne 35,8 % des précipitations correspondant à une hauteur d'eau moyenne annuelle de 132.5 mm). Cette interception élevée signifie que le sol forestier bénéficie de faibles quantités d'eau, ce qui a des

conséquences sur les microorganismes, la faune et la flore. A titre d'exemple, la faible humidité dans le sol peut affecter le taux de germination des graines et des glands des essences forestières dans la région et affaiblir leur régénération naturelle.

Les volumes de l'interception sont élevés. L'année 2011 a enregistré le volume moyen d'interception le plus important avec 0,75 mm/jour.

Pour la variation de l'interception, il est noté une oscillation des volumes des précipitations interceptés plus ou moins élevée, selon l'année et le mois considérés (Figures.38 et 39). La variation inter-annuelle est plus élevée en Mai et Juin (Figure 34). Les variations intermensuelles des 3 années sont proches (Figure 39). Leurs CV sont de 41.5 t 40.2 % et 45.9% pour respectivement 2011, 2012 et 2013.

Tableau 23: Appréciation de la signification de la variation inter et intra-annuelle de l'interception dans la station de Hamla par l'ANOVA.

Sources de variations	Probabilité de signification de F calculé	Signification
Variation interannuelle	0,000	Significative à 99 %
Variation intra-annuelle 2011	0,512	Non significative
Variation intra-annuelle 2012	0,032	Significative à 95 %
Variation intra-annuelles 2013	0,002	Significative à 99 %

L'analyse de variance (tableau 23) indique que la fluctuation des taux d'interception entre les années, ainsi que celle inter-mensuelle (intra-annuelle) 2012 et 2013 sont significativement forte. Celle intra-annuelle 2011 est moins importante.

D'une façon générale, les taux d'interception les plus faibles ont été enregistrés durant les mois d'avril, septembre et octobre ; alors que les taux les plus élevés ont été mesurés durant les mois de juillet et août (Figure 40).

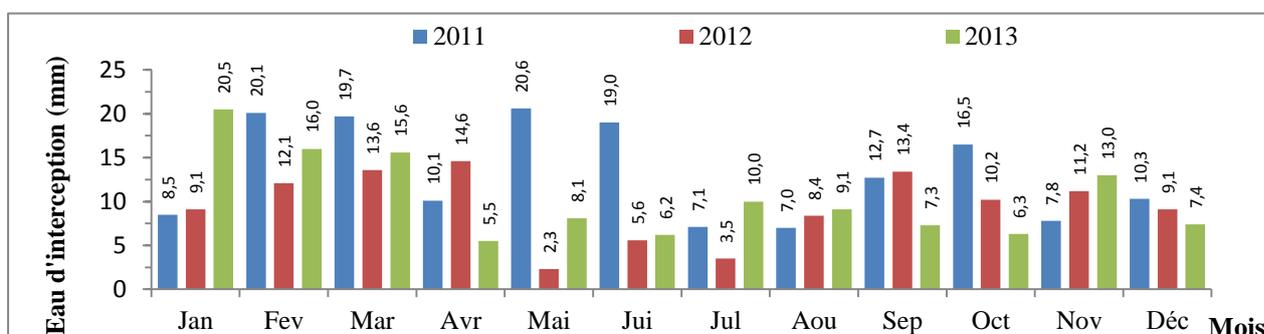
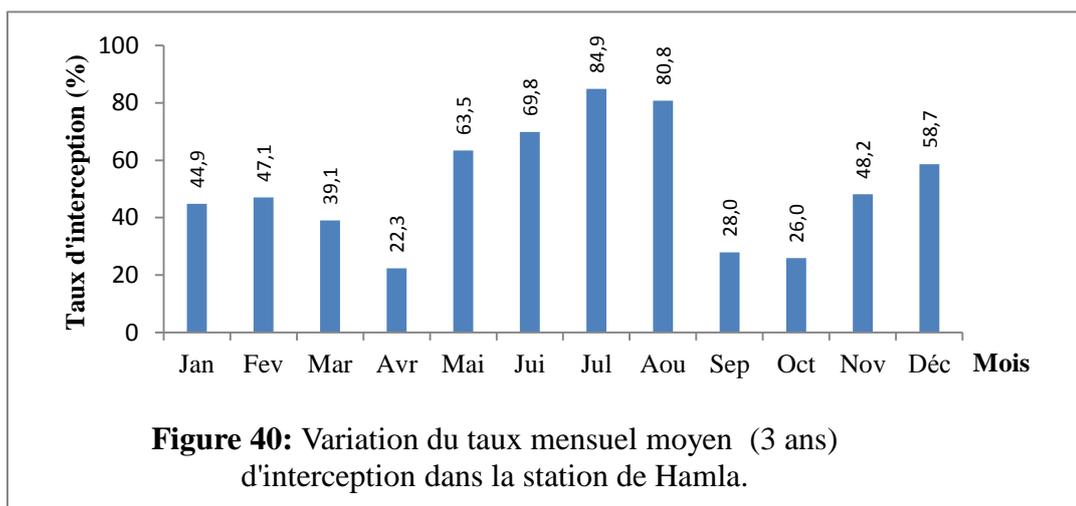
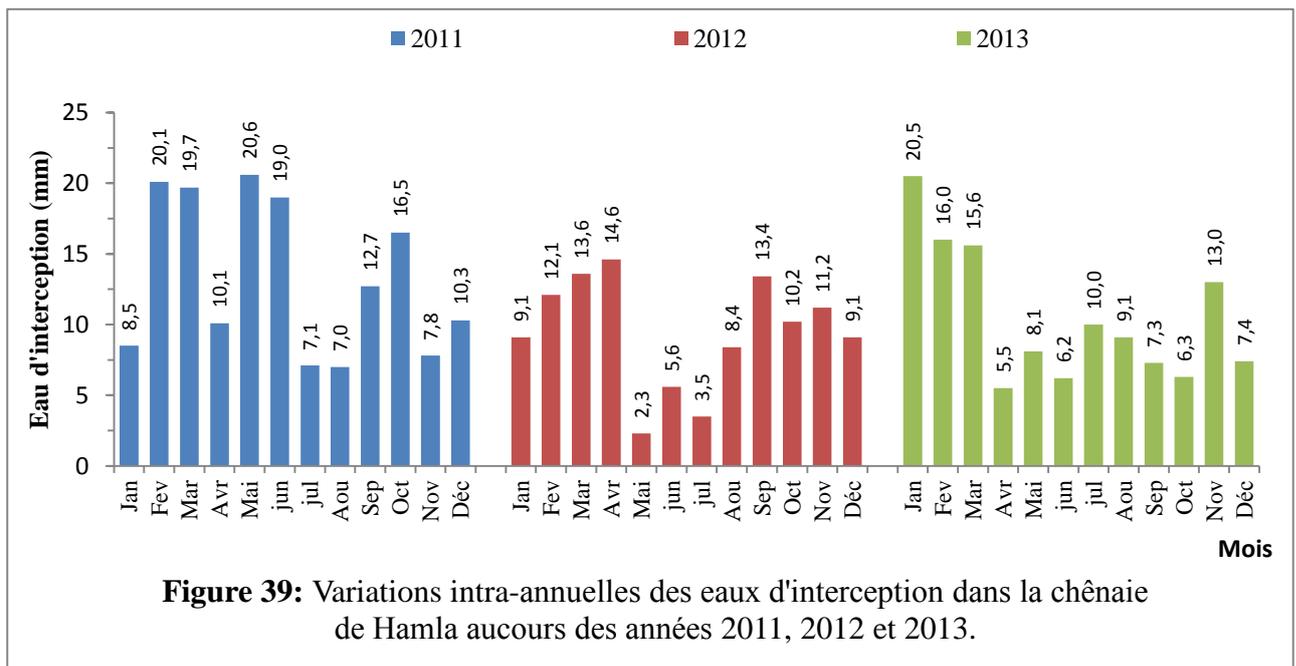


Figure 38: Variations inter-annuelles des eaux d'interception dans la chênaie de Hamla au cours des années 2011, 2012 et 2013.



Le taux moyen annuel d'interception trouvé à Hamla est de 35,8 % (132,5 mm évaporés sur les 370 mm de pluies annuelles moyennes). Ce taux paraît élevé par rapport à ceux rapportés par diverses études conduites sur le chêne vert ($I < 31\%$) (Dolman, 1987 ; Bellot, 1989 ; Humbert et Najjar, 1992 ; Rodrigo et Avila, 2001 ; Carlyle-Moses *et al.*, 2004 ; Limousin *et al.*, 2008 ; Pereira *et al.*, 2009). Cependant, en considérant les volumes d'interception, Limousin *et al.* (2008) ont trouvé un volume de 497 mm correspondant à un taux de 30,9 %.

Le régime pluviométrique journalier semble être le facteur principal responsable de l'interception élevée dans la chênaie de Hamla. Dans la présente étude, le nombre de jours où les précipitations journalières sont inférieures à 4 mm, représentent la classe la plus fréquente par

rapport au total des jours de précipitations (Tableau 09). Ces faibles pluies s'évaporent souvent avant la naissance de l'égouttement et l'écoulement et augmente ainsi le volume et le taux d'interception.

De nombreux auteurs s'accordent sur le fait que les faibles quantités de pluies journalières contribuent à l'augmentation des taux d'interception quelle que soit la formation arborée considérée (Aussenac, 1981 ; Gash *et al.*, 1995 ; Attarod *et al.*, 2015 ; Sadeghi *et al.*, 2016 ; Van Stan *et al.*, 2016).

D'un autre côté, d'autres facteurs peuvent influencer sur le volume et le taux d'interception, tels que l'âge de l'arbre (Dumas, 2009) qui va influencer sur l'indice de surface foliaire (Teixeira Filho, 1995 ; Gomez *et al.*, 2001 ; Deguchi *et al.*, 2006) et la capacité de stockage de la canopée, la radiation solaire (Linhoss *et al.*, 2016) et la densité du peuplement (Rapp et Romane, 1968 ; Bellot *et al.*, 1999 ; Bryant *et al.*, 2005).

L'analyse des informations liées à la structure de la canopée ont montré une relation entre les caractéristiques du peuplement et le taux d'égouttement et d'écoulement et par conséquent une influence directe sur le taux d'interception (Bellot *et al.*, 1999 ; Bellot et Escarre, 1998).

Nos résultats montrent que la variabilité de l'interception est forte entre les mois. De même, Humbert et Najjar (1992) ont affirmé l'existence des différences mensuelles et saisonnières notables pour le chêne.

Cette variabilité intra-annuelle est largement tributaire de l'importance des précipitations journalières incidentes et de la température. Schuttleworth (1977) et Hall (1985) ont indiqué que les pertes par interception dépendent étroitement de l'évaporation et sont affectées par les facteurs météorologiques qui la gouvernent. Le vent qui renouvelle l'air au contact de la végétation paraît jouer le plus grand rôle.

D'une façon générale, le taux d'interception était plus important en été qu'en hiver. Selon Liu *et al.* (2015), la sécheresse qui est causée par les faibles précipitations, les fortes températures et l'interception élevée durant l'été et l'automne, peut dans le futur diminuer fortement la production des fruits et toucher la régénération des arbres si elle s'étale sur plusieurs années.

L'eau interceptée engendre, pour l'écosystème et le bassin versant, une perte qui peut dépasser 30% du total des précipitations (Bellot *et al.*, 1999 ; Comin *et al.*, 1987).

Selon Limousin (2009), la diminution de 27 % des précipitations nettes en France a entraîné une réduction moyenne de 23% de la transpiration annuelle du couvert du chêne vert.

Les écosystèmes forestiers méditerranéens peuvent subir une diminution significative de leur biomasse en cas de précipitations faibles et surtout évapotranspiration élevée. Ces deux dernières vont diminuer la recharge en eau surtout en automne, hiver et printemps (Liu *et al.*, 2015).

3.1.1.4.2. Variation de l'interception à Larbaa

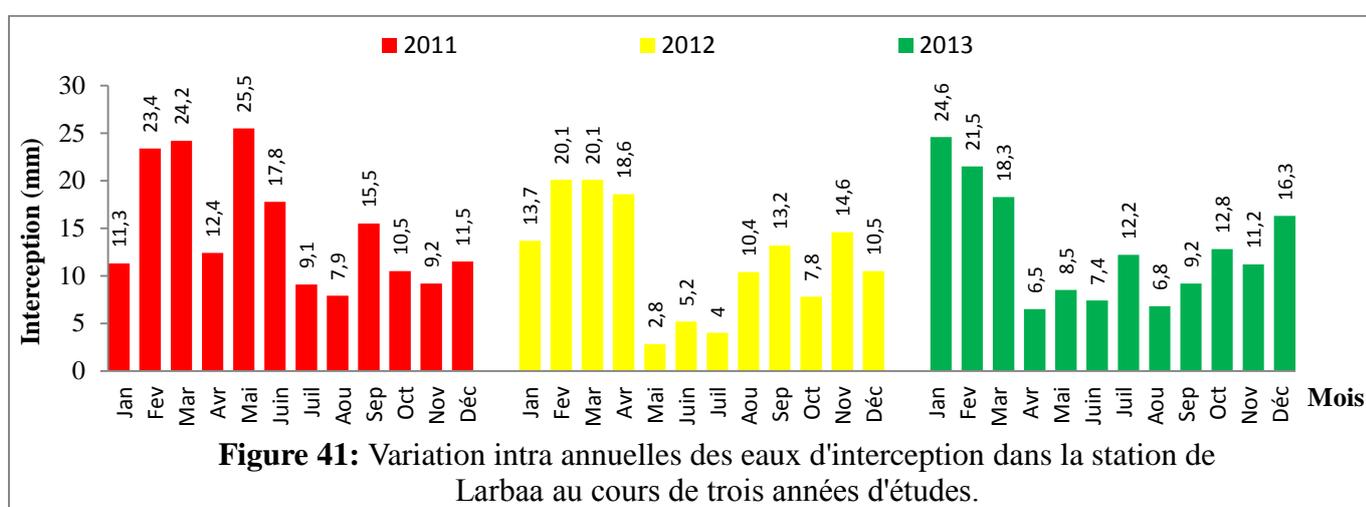
Il est noté une oscillation des volumes des pluies interceptés suivant les années et les mois (Figures 41 et 42). Les volumes de l'interception sont élevés. Ils représentent environ 40.16 % des précipitations totales. L'année 2011 a enregistré le volume moyen d'interception le plus important (178.3 mm = 32.6 % des pluies tombées). Cependant, sur le plan statistique les volumes d'interception enregistrés au cours des 3 années sont comparables (F non significatif au seuil de 5 %, tableau 24). En revanche, les fluctuations intra-annuelles sont significatives, notamment pour 2011 et 2012.

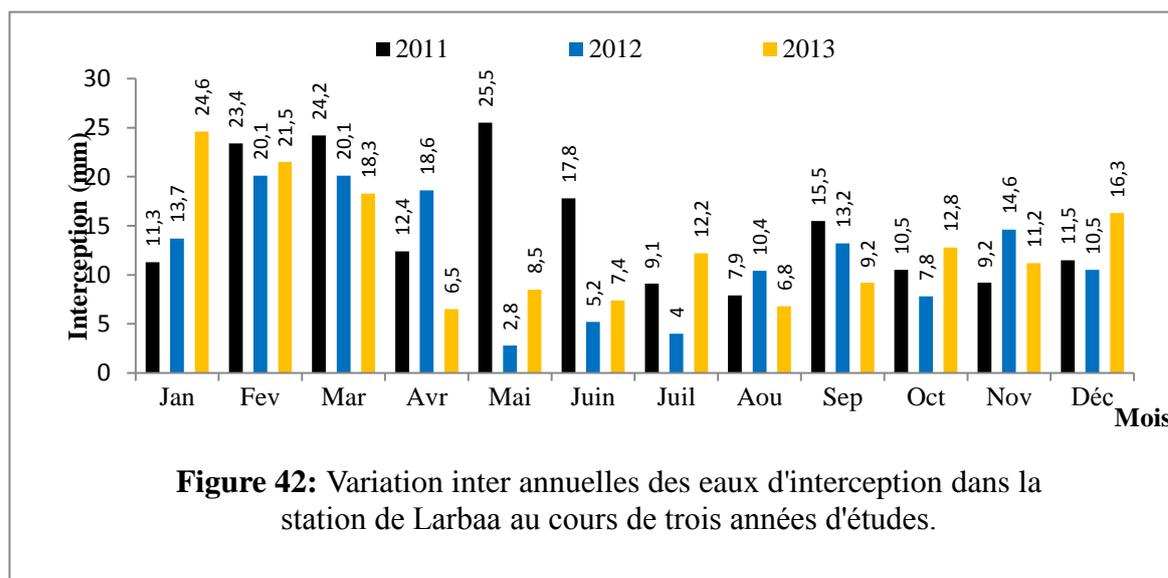
D'une façon générale, les volumes les plus faibles ont été enregistrés durant les mois d'avril, septembre et octobre ; alors que les volumes les plus importants ont été signalés durant les mois de juillet et août (Figure. 41).

Le taux moyen d'interception enregistré à Larbaa (40.16 %) est considéré élevé en comparaison avec la littérature (cf interception Hamla).

Tableau 24 : Appréciation de la signification de la variation inter et intra-annuelle des précipitations dans la station de Larbaa par l'ANOVA.

Source de variation	Probabilité de signification de F calculé	Signification
Variations interannuelles	0,32	Non significative
Variations intra-annuelles 2011	0,009	Significative > 99 %
Variations intra-annuelles 2012	0,008	Significative > 99 %
Variations intra-annuelles 2013	0,047	Significative à 95 %





3.1.1.4.3. Variation de l'interception à Marconna

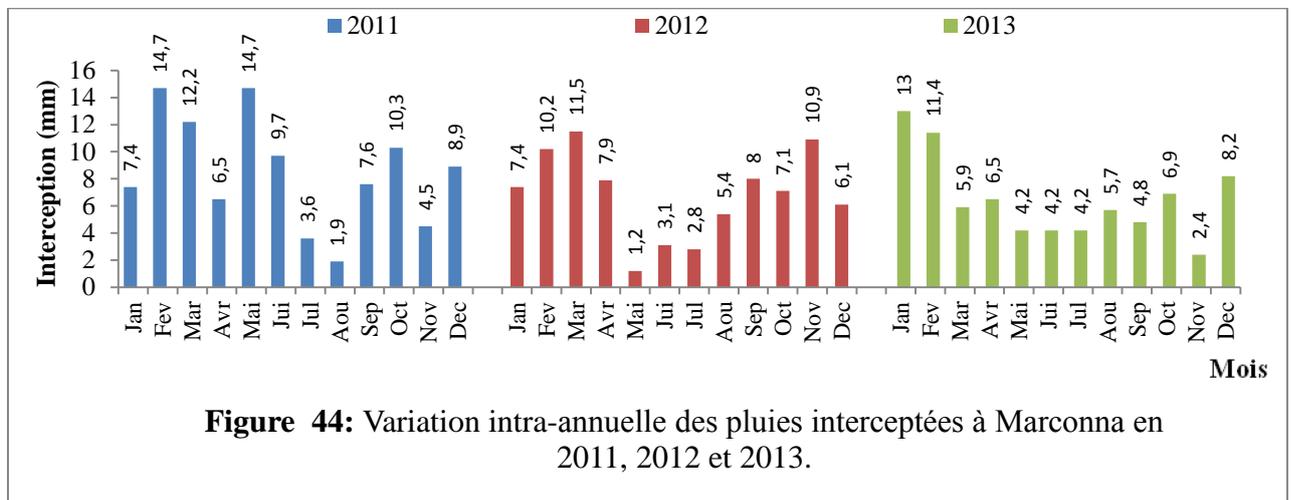
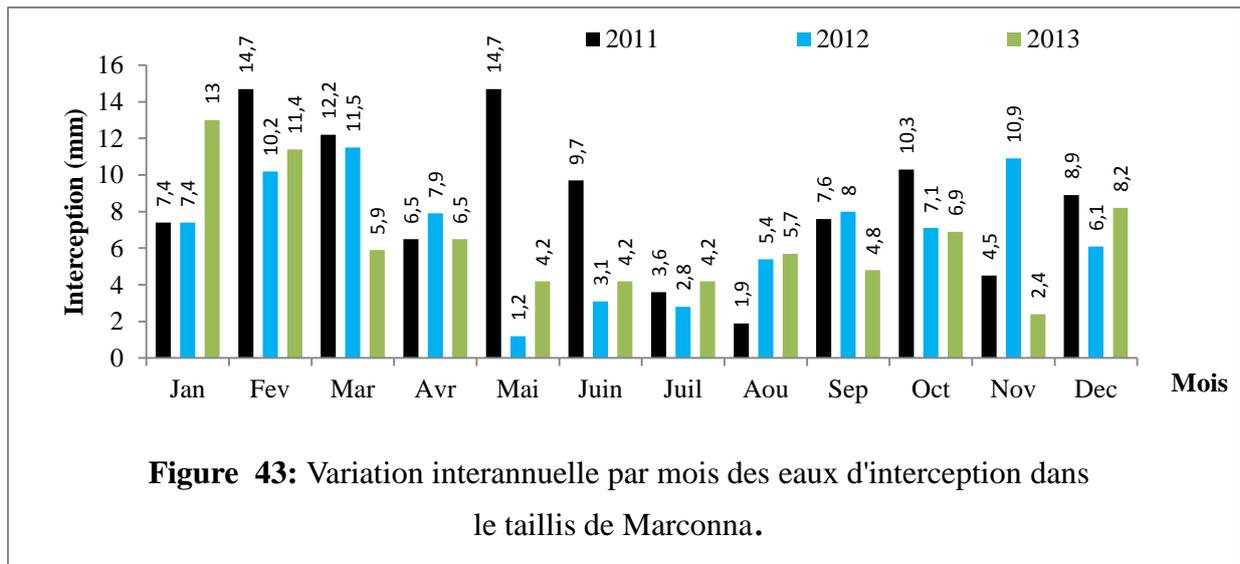
Comme les autres stations le taux interception des précipitations varie avec entre les années et à les mois de la même année (Figure 43 et 44).

A l'échelle annuelle, les précipitations perdues par interception sont importantes. Elles représentent en moyenne 87,0 mm / an 25.56% des précipitations tombées sur la station de Marconna. En 2011, 2012 et 2013, les quantités d'eau interceptées sont dans l'ordre (102 mm (21.74 %), 81.6 mm (36.44 % et 77.4 mm (526.72 %). Toutefois, les volumes moyens annuels des 3 années restent non significatifs. Par contre, les variations intermensuelle pour 2011 et 2012 sont significativement fortes (Tableau 25).

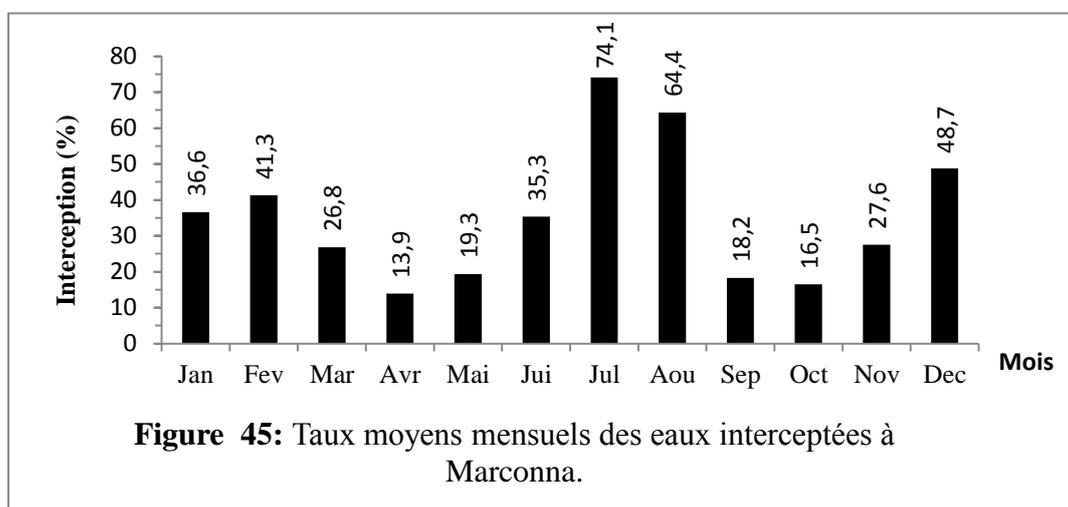
D'une manière générale, la fluctuation concerne beaucoup plus le mois d'août (cv =49 %), novembre (CV = 75 %) et surtout mai (CV= 106 %) (Figure 43).

Tableau 25: Appréciation de la signification de la variation inter et intra-annuelle des quantités d'interception dans la station de Marconna par l'ANOVA.

Source de variation	Probabilité de signification de F calculé	Signification
Variations interannuelles	0,12	Non significative
Variations intra-annuelles 2011	0,003*	Significative > 99 %
Variations intra-annuelles 2012	0,036*	Significative 95 %
Variations intra-annuelles 2013	0,094	Non significative



Sur les 3 années, les de taux moyens de pertes de pluie par interceptions les plus faibles ont été mesuré en avril (13.9 %), septembre (18.2 %) et octobre (16.5 %). Ceux plus élevés ont été observé en juillet (74.1 %) et août (64.4 %) (Figure 45).



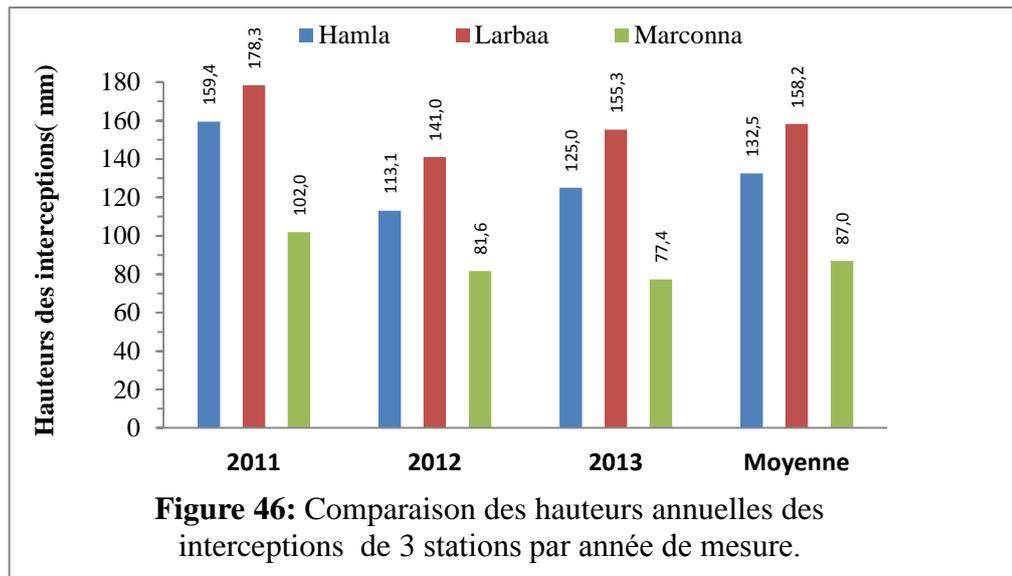
Les études sur l'interception des précipitations dans un Tallis de chêne vert demeurent rares. Le taux d'interception moyen trouvé à Marconna (26.56 %) paraît élevé en comparaison avec d'autres études menées sur la même espèce. En effet, Carlyle-Moses *et al.* (2004) ont trouvé des taux d'interception inférieurs à 15 % sur des sites de forte densité qui reçoivent une pluviométrie supérieure à 600 mm. Comin *et al.* (1987), Bellott (1989), Humbert et Najjar (1992), Mosello *et al.* (2002), Limousin *et al.* (2008) et Pereira *et al.* (2009) ont quant à eux obtenu des valeurs inférieures à 34 % en travaillant sur des arbres de plus de 8 m de hauteur. Ces divergences peuvent s'expliquer apparemment par les conditions expérimentales différentes, entre autres, sur le plan densité, structure et âge des peuplements et régime pluviométrique.

Le taux de l'interception élevé trouvé peut aussi trouver une explication dans la forte fréquence des précipitations journalière supérieures à 4 mm enregistrée à Marconna. Le suivi des (P) de trois ans à Marconna, le nombre de jours où les précipitations journalières sont supérieures à 4 mm, représentent un pourcentage élevé (plus de 70 %).

Il est bien connu que les déficits hydriques peuvent résulter de la diminution de la fréquence des fortes précipitations (Sadeghi *et al.*, 2015 a ; Bodian *et al.*, 2016 ; Lembreur *et al.*, 2017). Selon ces auteurs, sur le plan agronomique et hydrologique, la diminution de la fréquence des fortes pluies et la répartition des pluies au sein de la saison pluvieuse sont des données importantes notamment pour l'évaluation de l'interception des pluies par un couvert forestier.

3.1.1.4.4. Variation interstation de l'interception

Les données enregistrées aux niveaux des chênaies étudiées, soulignent que l'interception des précipitations varie significativement d'une station à l'autre (Tableau 14). La chênaie de Larbaa étant de loin celle qui présente régulièrement une interception la plus forte (Figure 46).



Sur la période 2011 à 2013, les précipitations annuelles perdues par interception sont considérables pour toutes les stations. Cette perte représentait environ 35.8, 40.16 et 26.56 % des précipitations tombées respectivement sur Hamla, Larbaa et Marconna.

La variabilité spatiale de l'interception est largement tributaire de l'importance des précipitations journalières. Elle dépend aussi des caractéristiques du peuplement, dont l'indice foliaire (Teixeira Filho, 1995 ; Gomez et *al.*, 2001 et Deguchi et *al.*, 2006). Rapp et Romane (1968), quant à eux, expliquent que le recouvrement des couronnes des arbres est un facteur agissant fortement sur l'interception. Bryant et *al.* (2005) ont observé que l'interception varie en fonction du nombre d'arbres par hectares, ce que remarque également Bellot et *al.* (1999).

L'âge des arbres est aussi un facteur de variation du taux d'interception. L'interception est très élevée à partir de 15 - 30 ans (Aussenac et Boulangeat, 1980).

3.1.1.2. Etude de la relation entre précipitation et égouttement, écoulement et interception dans les différentes stations

Ces relations ont été établies, non pas sur les moyennes mensuelles, mais en considérant les différents événements pluvieux où les paramètres P, Eg, Ec et I ont été mesurées tout au long de chaque année météorologique.

3.1.2.1. Relation entre précipitation et égouttement

3.1.2.1.1. Relation entre précipitation et égouttement à Hamla

Un autre aspect pour mieux comprendre l'interception des précipitations est liée aux relations qui existent entre les précipitations et l'égouttement.

La figure 47 montre pour les trois années étudiées, une relation linéaire positive entre l'eau égouttée et les précipitations (le R^2 varie entre 0,97 et 0,99).

L'égouttement est donc d'autant plus important que les précipitations soient élevées.

Le suivi régulier des volumes (mm) des précipitations et des égouttements pour une période de 3 ans successives a finalement abouti à bien cerner le lien étroit existant entre les quantités de pluie qui tombent et celles qui s'égouttent.

Les équations (figure 47) révèlent qu'une quantité comprise entre 1.43 et 1.58 mm de (P) est indispensable pour déclencher l'égouttement des eaux dans la chênaie de Hamla. Cette figure fait clairement apparaître que l'égouttement s'amplifie à partir de (P) supérieure à 6 mm sans rupture.

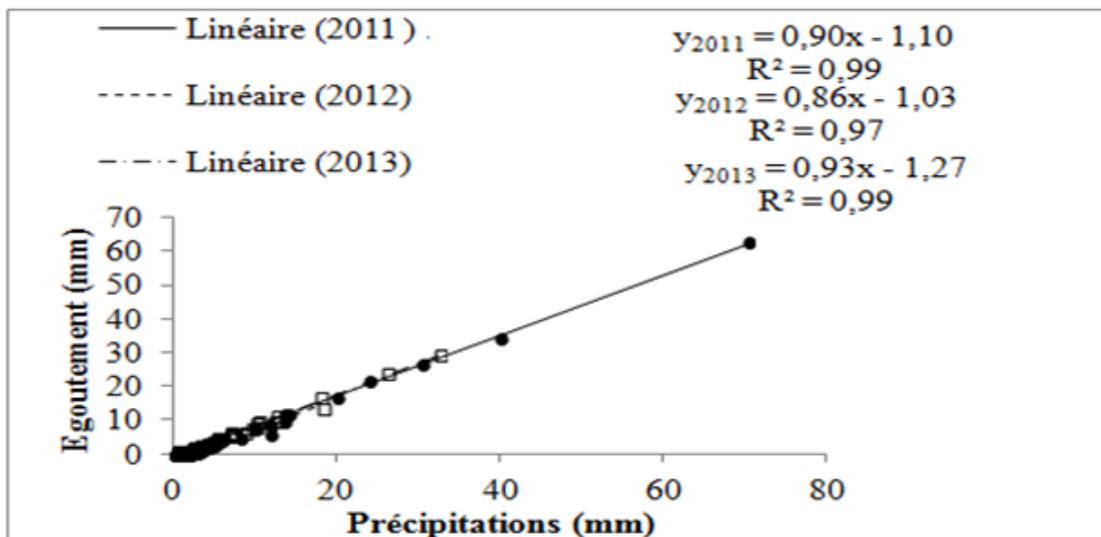


Figure 47 : Egouttement en fonction des précipitations pour les trois ans d'étude à Hamla.

3.1.2.1.2. Relation entre précipitation et égouttement à Larbaa

La figure 48 montre pour les trois années étudiées, une relation linéaire positive entre la pluie égouttée (E_g) et les précipitations (P). Les équations obtenues reflètent très fortement le lien entre les deux variables. Les courbes représentent 97 à 99 % des points projetés.

L'égouttement est donc d'autant plus important que les précipitations soient importantes.

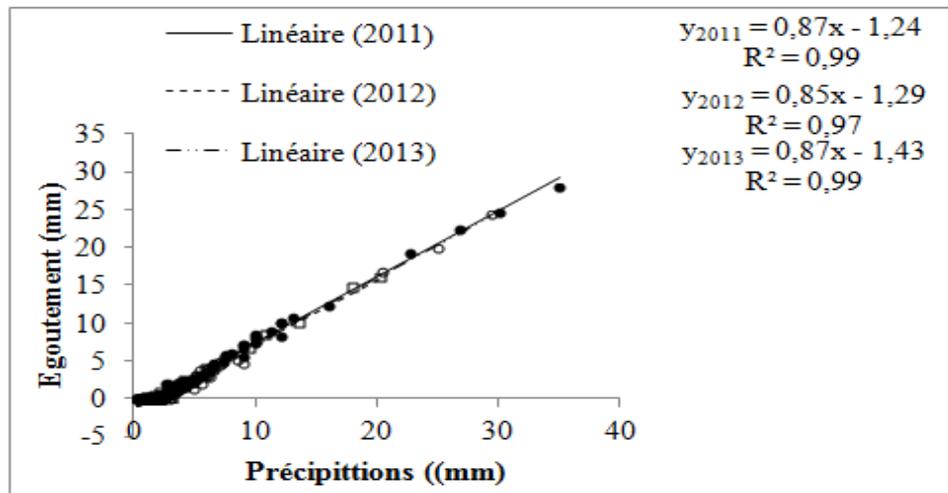


Figure 48 : Egouttement en fonction des précipitations au cours des 3 années d'étude à Larbaa.

Les résultats de suivi continu (3 ans successives) des volumes (mm) des précipitations et des égouttements au niveau de la chênaie de larbaa ont dévoilé la relation qui existe entre les deux paramètres (E_g) et (P). Les équations reportées sur la figure 48 montrent que les volumes de (P) nécessaires pour créer l'égouttement dans la chênaie de larbaa sont relativement importants par rapport à la futaie de Hamla (1.65-1.87 à Larbaa, contre 1.44- 1.58 mm à Hamla). Cette légère différence entre les deux futaies peut être attribuée au feuillage important qui a caractérisé la chênaie de Larbaa.

L'égouttement évolue dans le temps avec l'importance des (P). Selon la figure 48 les égouttements considérables commencent à partir de 7- 8 mm de pluie.

3.1.2.1.3. Relation entre précipitation et égouttement à Marcona

La figure 49 montre qu'il y a une forte corrélation positive entre les précipitations et les volumes d'eau d'égouttement et directe recueillis après la chute des pluies. Les équations de régressions linéaires sont très représentatives (Le coefficient de détermination R² varie entre 0,98 et 0,99).

Cela signifie que l'égouttement est proportionnel dans une large mesure aux pluies incidentes.

Des équations obtenues, on peut déduire que l'égouttement dans le taillis de chêne vert à Marcona se déclenche à partir de 1.02 à 1.13 mm de pluie. Cependant, les volumes importants d'égouttement ne s'observent que si les précipitations continues dépassent 4 mm.

La comparaison du taillis de Marconna avec les deux futaies de Hamla et Larbaa fait ressortir qu'un taillis de chêne vert demande des volumes moindres de (P) pour permettre aux pluies de s'égoutter en traversant le couvert forestier.

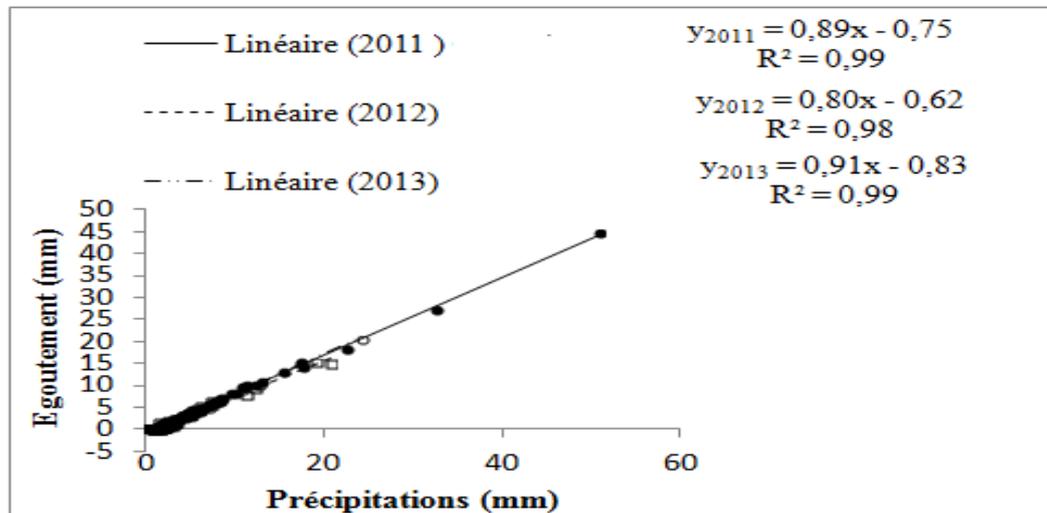


Figure 49 : Egouttement en fonction des précipitations à Marconna au cours des 3 années d'étude.

3.1.2.2. Relation entre précipitation et écoulement

3.1.2.2.1. Relation entre précipitation et écoulement à Hamla

L'écoulement est corrélé positivement avec les précipitations (Le coefficient de corrélation r varie entre 0,86 et 0,92). La Figure 50 présente les droites de régression linéaire qui sont ajustées aux nuages de points de la quantité de l'écoulement E_c en fonction des précipitations des différents événements pluvieux.

La pluie écoulée en fonction des précipitations suit les équations présentées sur la même figure. De ces équations, on peut déduire que l'écoulement est mesurable à partir de 2,95- 3,67 mm de précipitations. La Figure 50 fait aussi ressortir qu'approximativement, 10 mm de pluie tombés sans rupture sont indispensables pour avoir 1 mm d'eau d'écoulement.

Les résultats suggèrent que les précipitations importantes induisent un fort taux d'écoulement.

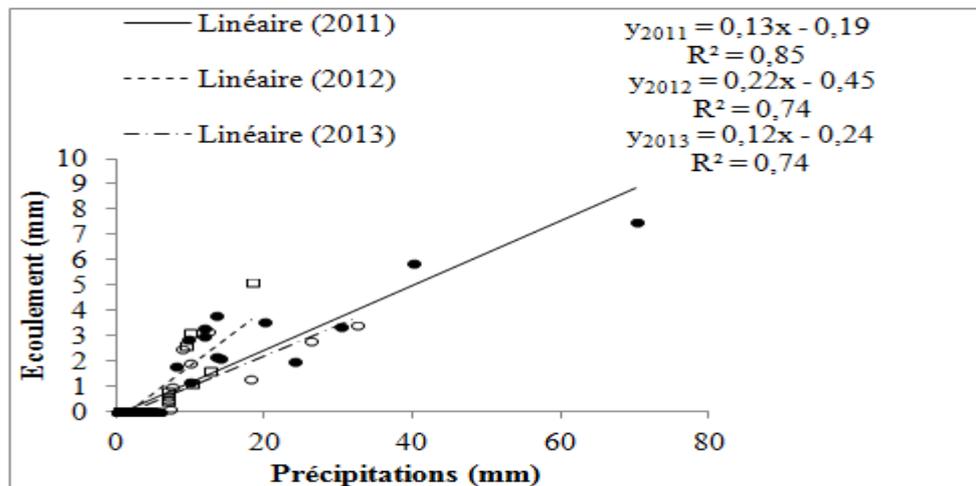


Figure 50 : Ecoulement (mm) en fonction des précipitations (mm) pour les trois ans d'étude.

3.1.2.2.2. Relation entre précipitation et écoulement à Larbaa

La figure 51 présente des droites de régression linéaire qui sont ajustées aux nuages de points de la pluie écoulée E_c , en fonction des précipitations (P). La pluie écoulée en fonction des précipitations suit les équations présentées sur la même figure. En exploitant ces équations, on peut déduire que l'écoulement est mesurable pour des (P) qui varient entre 3.81 et 4.83 mm de précipitations.

L'écoulement est corrélé positivement avec les précipitations (R^2 varie entre 0,79 et 0,83). Les résultats indiquent que les précipitations importantes induisent un fort taux d'écoulement. Le volume maximal de l'écoulement pour une futaie n'a été abouti qu'après presque 37 mm de (P) (Figure 51).

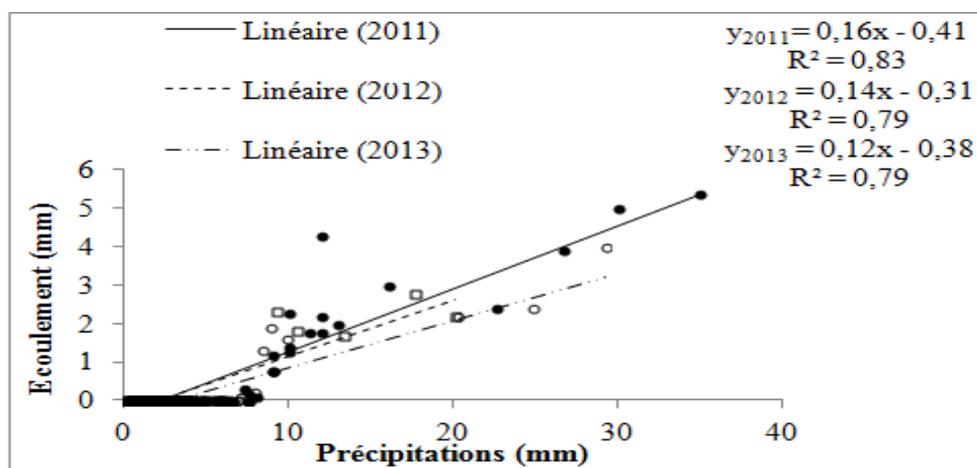


Figure 51: Ecoulement en fonction des précipitations au cours des trois années d'étude à Larbaa.

3.1.2.2.3. Relation entre précipitation et écoulement Marconna

La figure 52 montre que la pluie écoulee est corrélée positivement avec les précipitations. Les résultats suggèrent que les précipitations importantes induisent un fort taux d'écoulement.

Les régressions linéaires obtenues sont de bonne qualité (Les coefficients de détermination des R^2 sont élevés et varient entre 0,79 et 0,90 selon l'année considérée).

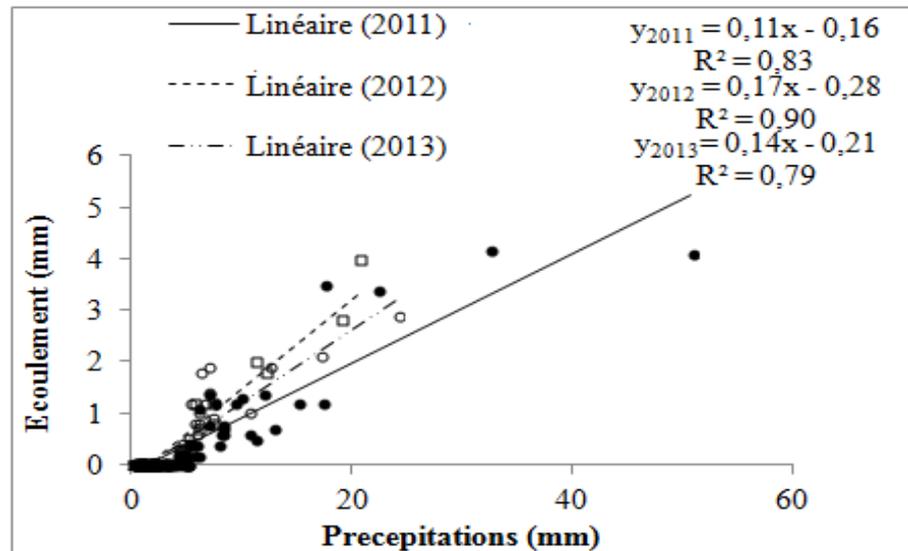


Figure 52: Ecoulement en fonction des précipitations au cours des trois années d'étude à Marconna.

En utilisant les équations présentées sur la figure 52 on peut déduire aussi que l'écoulement des précipitations dans le taillis de chêne vert à Marconna commence à partir de 2.82 mm. Ce dernier chiffre ne concerne que le début de l'écoulement qui ne sera important que pour des (P) supérieures à 8 mm.

On peut dire que l'écoulement est déclenché à partir de 0.2 mm.

3.1.2.3. Relation entre précipitation et interception

3.1.2.3.1. Relation entre précipitation et interception à Hamla

La figure 53 indique que des droites de régression linéaire peuvent être ajustées aux nuages de points de la pluie interceptée, en fonction des précipitations.

L'interception est corrélée négativement avec les précipitations. Cependant, cette liaison est très faible. Le modèle ajusté est loin d'être puissant pour prédire l'interception à partir des précipitations (R^2 reste inférieur à 16 %). Néanmoins, les précipitations faibles peuvent favoriser le taux d'interception.

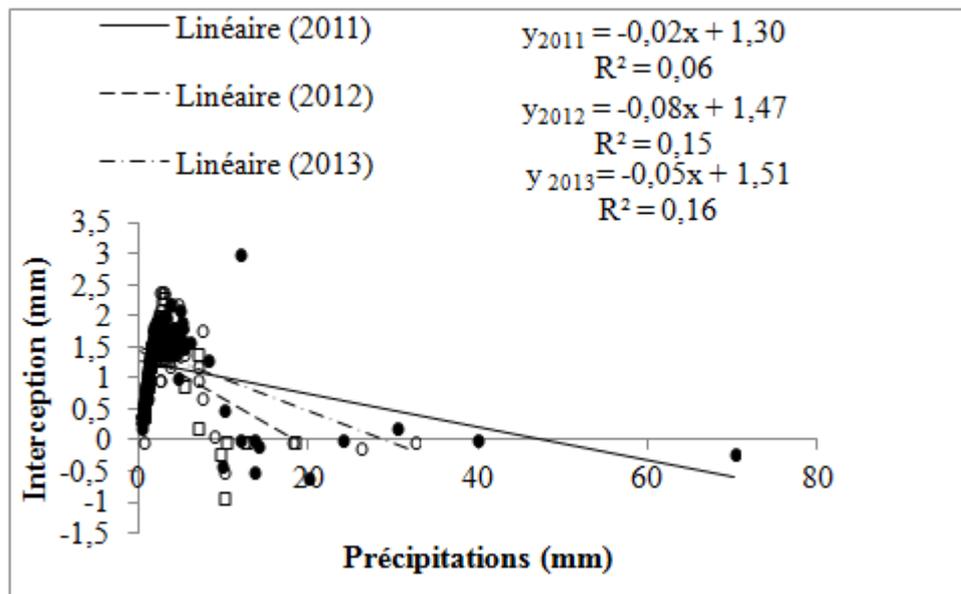


Figure 53: Interception (mm) en fonction des précipitations (mm) au cours des trois années d'étude à Hamla.

Les modèles décrits sous forme d'équations, peuvent servir pour prédire la quantité des eaux qui vont arriver au sol forestier soit par égouttement ou soit par écoulement dans les chênaies des Aurès. En outre, ces modèles peuvent contribuer dans la compréhension du cycle de l'eau dans cette région.

Ces équations peuvent servir aussi aux gestionnaires des barrages dont les bassins versant sont occupés par le chêne vert.

3.1.2.3.2. Relation entre précipitation et interception à Larbaa

Le lien entre la pluie et l'eau interceptée est difficile à comprendre. La relation entre la pluie et l'eau interceptée est loin d'être forte ($R^2 < 8\%$). Par ailleurs, son sens d'évolution reste ambiguë (positif pour 2012 et 2013 et négatif pour 2011, figure 54).

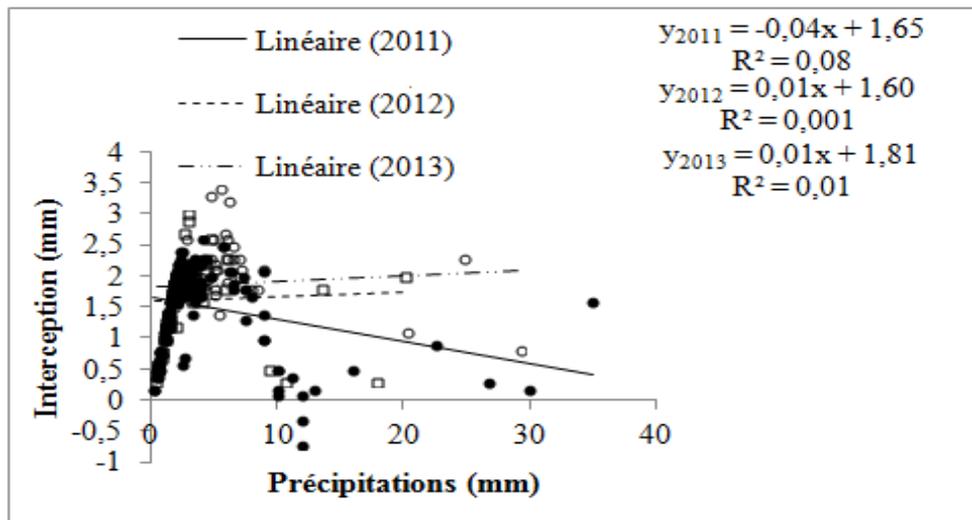


Figure 54 : Interception en fonction des précipitations durant les trois années d'étude à Larbaa.

3.1.2.3.3. Relation entre précipitation et interception à Marcona

La figure 55 représente les droites de régression linéaire ajustées aux nuages de points de la pluie interceptée I en fonction de la pluie incidente (P). Les courbes obtenues ne représentent qu'un très faible taux de points (1 à 12 %). C'est-à-dire que la validité des équations obtenues est très limitée.

Il est à noter que l'équation de 2013 suggère une légère corrélation négative entre l'interception et les pluies incidentes. Dans ce cas les précipitations faibles favorisent le taux d'interception.

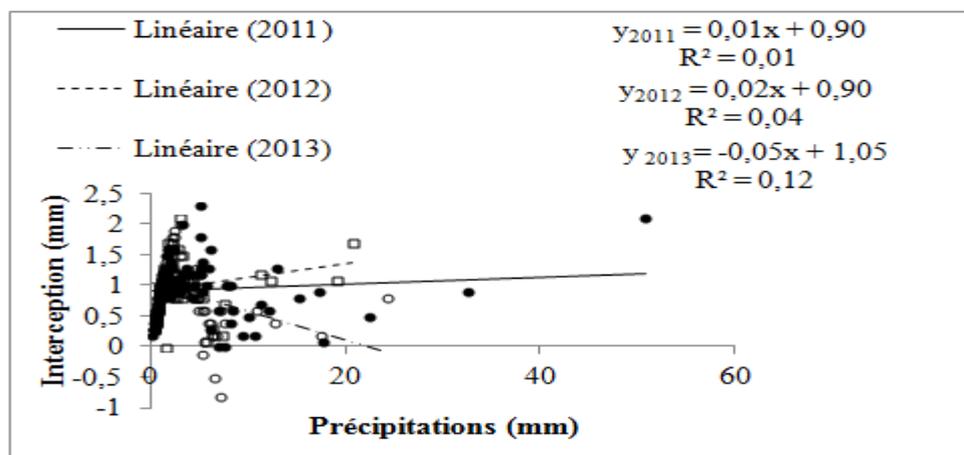


Figure 55: Interception en fonction des précipitations des trois ans d'étude pour le taillis de Marcona.

3.1.1.3. Conclusion partielle

Au cours de la période d'étude les quantités moyennes de précipitations recueillies dans les trois stations expérimentales montrent que les chênaies de Hamla, Larbaa et Marconna ont accumulé respectivement 370,0, 394,5 et 330,53 mm de pluie.

Les résultats indiquent que pour les trois stations que le mois de Mai est le plus arrosé (103.2 mm de pluie à Hamla, 104 à Larbaa et 95mm à Marconna). Les mois les plus secs sont juillet et Aout.

Sur le plan global, l'année 2011 est très significativement plus arrosée que 2012 et 2013.

Les résultats de classement des précipitations reçues sur les trois chênaies et leurs fréquences dans des intervalles allant de 0 à 80 mm montrent que le nombre de jours durant lesquels les précipitations sont inférieures à 4 mm, représente un taux élevé (> 64 % du total de jours humides).

La proportion des pluies qui atteint le sol par égouttement est souvent faible et varie d'une année à l'autre et d'un mois à l'autre. Elle se situe en moyenne entre 57.5 et 66.3 % des précipitations totales, cumulées sur un minimum de 52 et un maximum de 85 jours/an.

L'interception des pluies mesurée est assez élevée et représente 26.7 à 40.2 % des précipitations totales enregistrées.

L'étude de la relation existant entre les précipitations et d'une part l'égouttement et d'autre part l'écoulement a révélé que les chênaies des Aurès doivent recevoir des chutes de pluie avoisinant 1 à 2 mm et 3 à 5 mm pour déclencher respectivement l'égouttement et l'écoulement.

Les résultats des relations précipitations, égouttement et l'écoulement, relatifs au trois chênaies font ressortir clairement que les volumes qui peuvent inciter les deux paramètres d'égouttements et d'écoulement au sein d'une futaie de chêne vert sont considérable par rapport ceux d'un taillis.

3.2. Variation des apports biologiques dans les deux chênaies

3.2.1. Variation des apports solides (Litières de chêne vert)

Les résultats mensuels, annuels et par fraction des litières de chêne vert restituées au sol au cours des 2 années de mesure à Larbaa et Marconna sont synthétisés dans le tableau 26. Ils révèlent que les chênaies de Larbaa et Marconna reçoivent respectivement, 1,33 à 1,55 et 0.42 à 0.49 tonnes de litières totale par hectare et par an.

Cette production de litière est affectée par une variabilité plus ou moins grande, selon le niveau considéré (mois, année, station).

Ces litières sont formées à partir des différents organes de l'arbre de chêne vert. La part apportée par les différentes fractions change avec la station, l'année et le mois.

En moyenne, les fractions feuilles (Fcv) et Fruits /inflorescences (Fr/inf) sont nettement dominantes par rapport à la litière constituée de bois, de brindilles et d'écorces (BBE) et ce dans les 2 stations 2012 et 2013.

Dans la chênaie de Larbaa les fractions Fr/inf et Fcv représentent chacune environ 41 à 45 % de la biomasse totale ramassée sous la canopée en 2012 et 2013 (529 à 693 Kg de Matière sèche de litière). Leurs contributions relatives sont très proches en 2012 (40.7 et 40.9 %), et légèrement divergentes en 2013 (44.7 et 42.3 %, tableau 26 et Figure 56).

Au niveau du taillis de Marconna, la fraction BBE ne représente que 11.1 à 12.3 % de la production totale de litière (47 à 67 Kg/an au cours des 2 années de mesure). Contrairement à la station de Larbaa, ici la proportion de litière constituée par les feuilles (Fcv) est nettement plus élevée que celle des « fruits/inflorescences » en 2012 (47.4 % contre 41.5 % pour Fr/inf) et surtout en 2013 (50.9 %, contre 36.7 %) (Tableau 26 et Figure 56).

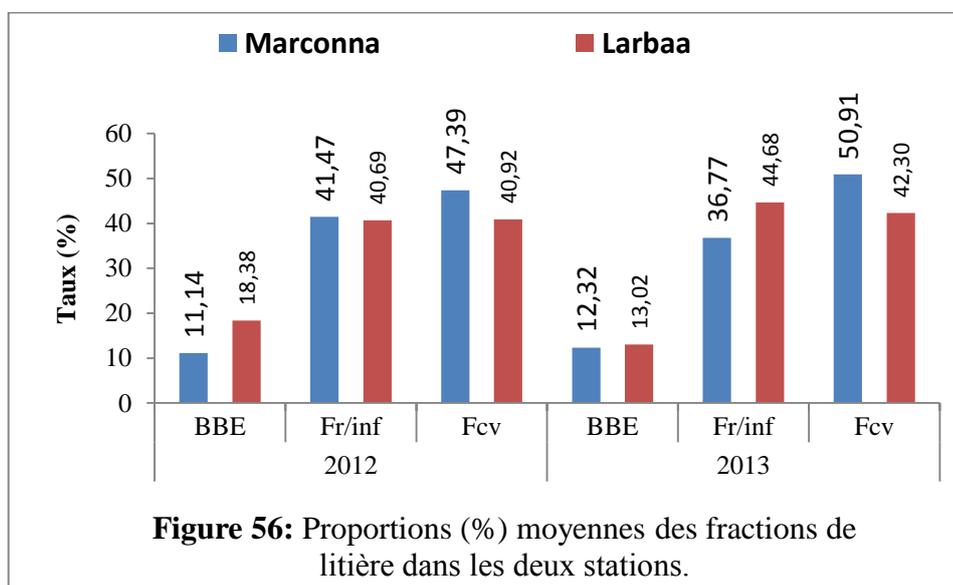


Tableau 26 : Répartition de la production de litières de chêne vert par type d'organes dans la station de Larbaa et Marconna au cours des années 2012 et 2013 (Kg/ha).

(BBE : bois, brindille et écorce, Fr/inf = fruits et influences, Fcv = feuilles de chêne vert)

Station	Mois	2012 (Kg/ha)					2013 (Kg/ha)				
		BBE	Fr/inf	Fcv	Total		BBE	Fr/inf	Fcv	Total	
					Kg	%				Kg	%
Larbaa	Jan	20,00	5,00	50,00	75,00	5,77	16,00	4,00	90,00	110,00	7,09
	Fev	16,00	9,00	52,00	77,00	5,92	10,00	8,00	62,00	80,00	5,16
	Mar	20,00	5,00	60,00	85,00	6,54	24,00	6,00	70,00	100,00	6,45
	Avr	10,00	80,00	30,00	120,00	9,23	10,00	110,00	20,00	140,00	9,03
	Mai	30,00	100,0	50,00	180,00	13,85	40,00	150,00	60,00	250,00	16,12
	Juin	20,00	10,00	40,00	70,00	5,38	5,00	9,00	50,00	64,00	4,13
	Juil	25,00	5,00	35,00	65,00	5,00	25,00	4,00	29,00	58,00	3,74
	Aou	27,00	3,00	45,00	75,00	5,77	1,00	20,00	40,00	61,00	3,93
	Sep	31,00	2,00	50,00	83,00	6,38	31,00	2,00	55,00	88,00	5,67
	Oct	10,00	110,0	20,00	140,00	10,77	20,00	150,00	50,00	220,00	14,18
	Nov	20,00	180,0	60,00	260,00	20,00	10,00	200,00	70,00	280,00	18,05
	Déc	10,00	20,00	40,00	70,00	5,38	10,00	30,00	60,00	100,00	6,45
	Tot	239,0	529,0	532,0	1300,0	100,0	202,00	693,00	656,00	1551,0	100,00
	%	18,38	40,69	40,92	100,00	-	13,02	44,68	42,30	100,00	-
Marconna	Jan	9,00	1,00	10,00	20,00	4,74	4,00	1,00	20,00	25,00	5,05
	Fev	5,00	5,00	11,00	21,00	4,98	3,00	1,00	30,00	34,00	6,87
	Mar	6,00	3,00	12,00	21,00	4,98	5,00	3,00	17,00	25,00	5,05
	Avr	1,00	40,00	30,00	71,00	16,82	4,00	40,00	30,00	74,00	14,95
	Mai	5,00	50,00	30,00	85,00	20,14	10,00	30,00	30,00	70,00	14,14
	Juin	2,00	1,00	9,00	12,00	2,84	5,00	1,00	9,00	15,00	3,03
	Juil	3,00	2,00	7,00	12,00	2,84	4,00	2,00	8,00	14,00	2,83
	Aou	2,00	1,00	9,00	12,00	2,84	2,00	1,00	6,00	9,00	1,82
	Sep	5,00	1,00	25,00	31,00	7,35	5,00	2,00	30,00	37,00	7,47
	Oct	1,00	30,00	20,00	51,00	12,09	2,00	40,00	30,00	72,00	14,55
	Nov	5,00	40,00	30,00	75,00	17,77	15,00	60,00	40,00	115,00	23,23
	Déc	3,00	1,00	7,00	11,00	2,61	2,00	1,00	2,00	5,00	1,01
	Tot	47,00	175,0	200,0	422,00	100,0	61,00	182,00	252,00	495,00	100,00
	%	11,14	41,47	47,39	100,00	-	12,32	36,77	50,91	100,00	-

La quantité de litières trouvée dans cette étude est modeste. Cela peut s'expliquer d'un côté par la présence de fortes contraintes bioclimatiques et édaphiques (Curt et Marsteau, 1997) et de l'autre par des quantités différentes de précipitations, surtout de mars à mai.

Selon Vicente-Serrano et al.(2013), in Liu et al. (2015), la balance de mars, avril et mai est critique pour la croissances et le développent du chêne vert. La réponse aux sécheresses dépend des caractéristiques du climat à l'échelle du temps.

Au Maroc, Boulmane et al. (2013) ont rapporté une quantité de 3 tonnes/ ha /an sous les arbres de chêne vert dont la hauteur se situe entre 4.5 et 6.3 m (2 à 4 mètres seulement pour les arbres des sites étudiés).

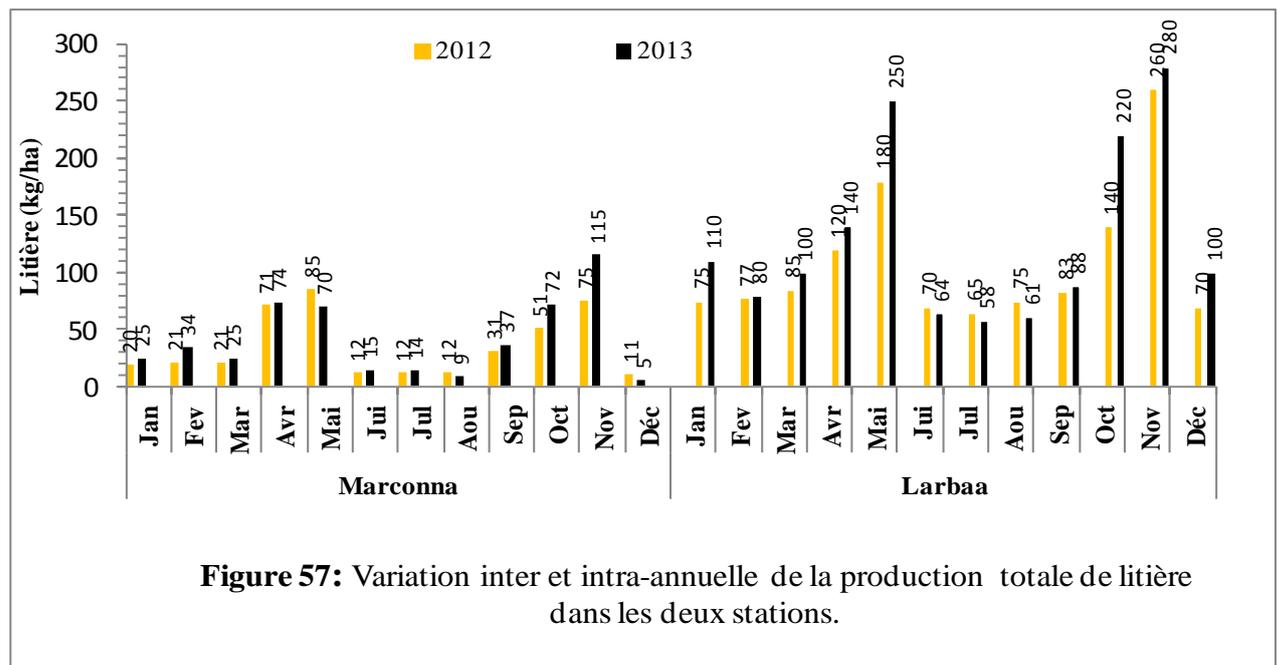
Bussotti et al. (2003) ont trouvé des quantités moyennes de litières de l'ordre de 6,94 t/ha/an pour la même espèce de chêne en Italie.

Concernant la répartition des différentes fractions de litière, nos résultats ne concordent pas avec ceux Bussotti et al. (2003) qui ont trouvé chez la même espèce de chêne une litière composée à 68 % par des feuilles, et 19 % par des fruits et inflorescences. Dans la présente étude nous avons obtenu une contribution des feuilles ne dépassant pas 51 % de la production totale de litière. En revanche la part de litière Fr/inf évaluée peut atteindre 2.3 fois celle rapportée par Bussotti et al. (2003) qui est de 44.7 %.

Dans un écosystème forestier, les facteurs qui régissent la chute de litière sont multiples. La masse de litière produite varie sans doute avec le type de formation et sa composition floristique (Lacoste et Salanon, 2005). Parmi ces facteurs, la plupart des auteurs s'accordent à dire que les précipitations et la température jouent un rôle primordial.

- Variation intra-annuelle

Pour les deux chênaies la chute de litière suit à peu près la même dynamique. Globalement on distingue deux périodes d'augmentation de la production de litières pour le chêne vert dans les Aurès (tableau 26). La première s'étalant de septembre à novembre et la seconde d'avril à mai (début de juin). Durant ces deux périodes réunies, les cumules de litières correspond à 60 à 63 % (1/3) du total annuel à Larbaa et à 74.2 à 74.4 % (3/4) à Marconna (Tableau 26 et Figure 57).



Bussotti *et al.* (2003) ont montré que les pourcentages des feuilles chutées ont deux pics, le premier se situe entre avril et juin (35- 70 %) et le deuxième entre octobre et novembre (18 %). Par contre, les pourcentages les plus faibles ont été notés entre décembre et janvier (8- 9%).

Les feuilles et les aiguilles constituent quelques soit le peuplement, l'essentiel des retombées de litière. La chute des litières à 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 sénescence en automne (Judicael, 2006 ; Bani *et al.*, 2018).

Selon plusieurs études (Bussotti *et al.*, 2003 ; Makhloufi *et al.*, 2008 ; Boulmane *et al.*, 2013 ; Ndour *et al.*, 2013) les feuilles, les inflorescences et les glands sont responsables de ce rythme mensuel et saisonnier régulier. Par contre, les chutes de bois, provoquées souvent par des facteurs météorologiques, sont responsables de certaines irrégularités d'une année à l'autre. Un phénomène semblable a été observé par Rapp (1975) et Ndour *et al.* (2013) sur d'autres espèces que le chêne vert.

Le résultat relatif au rythme observé dans les 2 stations au cours des deux années d'étude se rapprochent fortement de ceux résultats de Zhang *et al.* (2017). En effet, ces derniers ont constaté que la quantité de litière commence à augmenter de mars à juin puis de septembre à novembre. Elle cumule, durant cette période, entre 78.2 et 82.2% de la litière annuelle, puis elle ralentie après le mois de juin.

En définitive, la chute de litière est avant tout la conséquence d'une interaction entre les facteurs environnementaux et les facteurs endogènes dont l'action simultanée provoquerait la

chute précoce ou tardive des feuilles, brindilles, bois, inflorescences et glands selon leurs capacités de résistance (Bindzi et *al.*, 2017).

Nos résultats relatifs à la variation temporelle des retombées de litières concordent aussi avec ceux de Boulmane et *al.* (2013) et Makhloufi et *al.* (2008) qui ont constaté qu'il y a une forte variabilité mensuelle et interannuelle des quantités des retombées de litières du chêne vert. Ils ont aussi remarqué comme nous, que les chutes de litières s'étalent sur toute l'année, et sont plus fortes en d'avril à mai.

- Variation interannuelle

La fluctuation interannuelle moyenne est relativement faible dans chacune des 2 stations. En effet, l'année 2013 est un peu plus productive de litières que 2012 (495, contre 422 Kg en 2012 à Marconna et 1300 contre 1551 Kg à Larbaa). Ces écarts interannuels sont comparables dans les deux stations (14.7 % ou 73 Kg/ha /an à Marconna et 16.2 % ou 251 kg/an à Larbaa (Tableau 26 et Figure. 57).

Cette variation interannuelle pour notre étude peut être attribuée aux volumes de précipitations annuelles et leurs répartitions dans le temps. Ces deux paramètres conditionnent l'intensité de la chute des feuilles et des glands ainsi que leurs quantités et le moment de chute.

Liu et *al.* (2015) pensent que la sécheresse accélère la sénescence de feuilles et des branches jusqu'à la mort de l'arbre. Limousin (2009) et Barba et *al.* (2015) ont rapporté que le chêne vert commence lors des sécheresses extrêmes par la réduction de surface foliaire pour réduire l'évapotranspiration et pour lutter contre le stress hydrique.

La réduction de biomasse du chêne vert se répercute sur les quantités de litière. Liu et *al.* (2015) estiment que les écosystèmes forestiers méditerranéens peuvent subir une diminution significative dans la biomasse en cas de précipitations faibles et surtout évapotranspiration élevée. Ces deux dernières paramètres vont diminuer la recharge en eau surtout en automne, hiver et printemps (Liu et *al.*, 2015).

- Variation inter-station

Outre la fluctuation intra et inter-annuelle constatée, les données recueillies font état aussi d'une importante variabilité spatiale. La chênaie de Marconna assure beaucoup moins d'apport de litière au sol que Larbaa. La chênaie de Larbaa restitue au sol 67,5 % (878 Kg de litière) de plus que celle de Marconna en 2012 et 68 % (1056 kg) en 2013 (Tableau 26).

Curt et Marsteau (1997) ont déjà attribué la production de litières et la fertilité du sol aux trois familles de variables combinées (géopédologiques, topographiques et topoclimatiques). Ces dernières sont responsables des variations spatiotemporelles des retombées de litières. Leur combinaison permet d'effectuer un bilan de la fertilité de la station sur le plan thermique, hydrique et nutritionnel. Les conditions topographiques induisent de fortes variations topo climatiques qui ont une forte influence sur la croissance des peuplements forestiers. Ceci s'explique par l'existence de reliefs fortement contrastés, même si les variations d'altitude sont peu marquées.

Edwards et *al.* (2017) ont indiqué dans une étude récente que la production des litières par la canopée forestière est dépendante de la longévité des feuilles et les conditions de l'environnement, notamment le flux saisonnier de des éléments nutritifs.

Par ailleurs, la variation spatio-temporelle de la production des litières est dépendante du régime saisonnier du climat. Pour les chênaies méditerranéennes la meilleure période pour la photosynthèse et les activités métaboliques est comprise entre avril et novembre (Bussotti et *al.*, 2003).

Le chêne vert par ces contributions de litières renforce le bon fonctionnement des chênaies en modifiant les paramètres chimiques (apports d'éléments nutritifs par la nature et la quantité de restitutions par les litières). Tandis que l'action anthropique comme la récolte de bois de chauffage et les incendies et le drainage des éléments nutritifs par les eaux de ruissellement, peuvent modifier la fertilité du sol à long terme (Jérôme et *al.*, 2016).

3.2.2. Variation des apports en éléments biogènes N, P et K

3.2.2.1. Variations des concentrations et des apports en N, P et K par les précipitations

L'accent est mis ici sur la présentation et l'interprétation de résultats relatifs au dépôt humide en azote, phosphore et potassium par les précipitations.

Les apports en éléments nutritifs par les précipitations et les pluvioléssivats sont des fûts majeurs de la durabilité de l'écosystème forestier. Ils ont un impact sur le fonctionnement, la santé et la biodiversité des écosystèmes forestiers (Aguillaume et *al.*, 2017).

Les concentrations et les apports en N, P et K par les eaux des précipitations durant les deux années de mesure et dans les deux stations étudiées sont consignés dans le tableau 27.

Tableau 27: Teneurs et apports en éléments biogènes par les précipitations dans les deux stations.

Station	mois	Teneur (ppm)									Apport par les précipitations (Kg/ha)									
		N			P			K			N			P			K			Total moyen
		2012	2013	moy	2012	2013	moy	2012	2013	moy	2012	2013	moy	2012	2013	moy	2012	2013	moy	
Larbaa	Jan	1,4	2,5	1,95	0,15	0,13	0,14	0,13	0,15	0,14	0,30	1,30	0,80	0,03	0,07	0,05	0,03	0,08	0,06	0,91
	Fev	1,7	1,5	1,6	0,12	0,16	0,14	0,15	0,15	0,15	0,50	0,50	0,50	0,03	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,59
	Mar	2,0	1,7	1,85	0,14	0,1	0,12	0,1	0,12	0,11	0,90	0,70	0,80	0,07	0,04	0,06	0,05	0,05	0,05	0,91
	Avr	1,3	1,2	1,25	0,17	0,14	0,16	0,17	0,12	0,14	0,50	0,40	0,45	0,07	0,05	0,06	0,07	0,04	0,06	0,57
	Mai	14,0	1,0	7,50	0,31	0,15	0,23	0,72	0,16	0,44	0,40	0,20	0,30	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,34
	Jui	3,0	1,8	2,40	0,20	0,17	0,19	0,15	0,18	0,16	0,20	0,20	0,20	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,23
	Juil	16,0	9,5	12,8	0,27	0,20	0,24	0,92	0,75	0,83	0,60	1,50	1,05	0,01	0,03	0,02	0,04	0,12	0,08	1,15
	Aou	1,5	12,0	6,75	0,18	0,25	0,22	0,7	0,80	0,75	0,20	1,60	0,90	0,02	0,03	0,03	0,07	0,10	0,09	1,01
	Sep	1,4	2,5	1,95	0,12	0,16	0,14	0,12	0,16	0,14	0,50	1,40	0,95	0,04	0,09	0,07	0,04	0,09	0,07	1,08
	Oct	1,2	1,7	1,45	0,11	0,12	0,12	0,12	0,14	0,13	0,20	0,80	0,50	0,02	0,06	0,04	0,02	0,07	0,05	0,59
	Nov	2,0	1,2	1,6	0,12	0,14	0,13	0,11	0,6	0,355	0,70	0,20	0,45	0,04	0,03	0,04	0,04	0,12	0,08	0,57
	Dec	1,8	3,0	2,4	0,14	0,13	0,14	0,3	0,12	0,21	0,20	0,90	0,55	0,02	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,62
	Total	47,3	39,6	43,45	2,03	1,85	1,94	3,69	3,45	3,57	5,20	9,70	7,45	0,37	0,53	0,45	0,47	0,80	0,64	8,54
Marconna	Jan	1,80	1,60	1,70	0,16	0,12	0,14	0,3	0,16	0,23	0,30	0,6	0,45	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,56
	Fev	1,50	1,70	1,60	0,14	0,14	0,14	0,26	0,12	0,19	0,30	0,5	0,4	0,03	0,035	0,04	0,06	0,03	0,05	0,49
	Mar	1,10	1,80	1,45	0,07	0,12	0,10	0,15	0,17	0,16	0,40	0,6	0,5	0,03	0,035	0,04	0,06	0,06	0,06	0,60
	Avr	1,80	1,60	1,70	0,12	0,14	0,13	0,14	0,22	0,18	0,70	0,5	0,6	0,05	0,045	0,04	0,05	0,07	0,06	0,70
	Mai	4,00	20,00	12,00	0,18	0,30	0,24	0,60	0,70	0,65	0,10	1,3	0,7	0,00	0,01	0,02	0,01	0,04	0,03	0,75
	Jui	6,00	21,00	13,50	0,17	0,32	0,25	0,57	0,90	0,74	0,20	1,2	0,7	0,01	0,015	0,02	0,02	0,05	0,04	0,76
	Juil	16,00	6,80	11,40	0,24	0,19	0,22	1,00	0,60	0,80	0,40	0,3	0,35	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,03	0,39
	Aou	10,00	3,70	6,85	0,27	0,15	0,21	0,90	0,31	0,61	0,70	0,3	0,5	0,02	0,015	0,01	0,06	0,02	0,04	0,55
	Sep	2,20	1,30	1,75	0,14	0,13	0,14	0,19	0,19	0,19	0,60	0,5	0,55	0,04	0,045	0,05	0,05	0,08	0,07	0,67
	Oct	1,20	1,10	1,15	0,12	0,11	0,12	0,19	0,12	0,16	0,20	0,5	0,35	0,02	0,035	0,05	0,04	0,05	0,05	0,45
	Nov	1,30	1,00	1,15	0,09	0,15	0,12	0,15	0,09	0,12	0,30	0,2	0,25	0,02	0,03	0,04	0,03	0,02	0,03	0,32
	Dec	1,20	0,90	1,05	0,07	0,10	0,09	0,12	0,08	0,10	0,10	0,2	0,15	0,01	0,015	0,02	0,02	0,02	0,02	0,19
	Total	48,10	62,50	55,30	1,77	1,97	1,87	4,57	3,66	4,12	4,30	6,7	5,5	0,27	0,33	0,39	0,48	0,53	0,51	6,40

- Variation des concentrations en NPK des eaux de pluie

Au niveau des concentrations en éléments NPK, la richesse des précipitations tombées varie dans le temps et dans l'espace. Les teneurs en azote des eaux des précipitations sont nettement plus élevées que celles des autres éléments.

Elles varient fortement avec l'année et surtout avec le mois pris en compte. Elles vont de 1.2 à 16 ppm pour Larbaa et de 1.10 à 21ppm pour Marconna. Les teneurs en K et P sont de loin les moins élevées les précipitations.

Les niveaux de concentration sont généralement plus élevées dans les échantillons correspondant à des pluies de faible durée que dans des échantillons de pluies persistantes, car l'atmosphère se trouve en partie nettoyée au cours des premiers instants de la pluie (Migon et al., 1989). A titre d'exemple, à Marconna (2013) les précipitations (43.1 mm) d'avril, mai et juin ont apporté une quantité importante d'azote (3 kg) et de potassium (0.16 kg).

L'efficacité du nettoyage atmosphérique n'est pas directement proportionnelle à la hauteur des précipitations (Migon et *al.*, 1989).

Selon Villecourt et Roose (1978), les origines de l'azote sont naturelles (poussières et feux de forêts). Pour notre étude les concentrations élevées de l'azote peuvent être attribuées à la longueur de la période qui sépare deux pluies successives mais aussi à l'érosion éolienne et aux feux des forêts.

Les travaux de Lequy (2012) ont révélé une contribution principale de l'érosion des sols régionaux en lien avec les activités agricoles dans les variations saisonnières notamment pour le Sud de la France et de l'Europe. Ces zones sont très influencées par les émissions sahariennes (Loye-Pilot et Martin, 1996; Guerzoni et *al.*, 1997).

En effet, les poussières éoliennes peuvent voyager sur des distances transcontinentales (Prospero, 1979; Swap et *al.*, 1992, cités par Lequy, 2012).

Rapp (1969) ; Forgeard et *al.* (1979) ont démontré que la concentration en éléments biogènes apportés par les pluiolessivats 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.

Les Aurès sont bien exposés aux influences sahariennes et à l'érosion éolienne. Nous pensons que ces deux phénomènes contribueraient d'une façon significative dans les changements des concentrations des éléments NPK dans les précipitations. Néanmoins, selon Lequy (2012) les érosions éoliennes et anthropiques provoquent des pertes de sol largement supérieures aux apports par dépôts atmosphériques.

D'autres chercheurs comme Béthoux (1977) et Migon et *al.*(1989) ont observé que l'effet de dilution produit par un apport net de (précipitations-évaporation), et compte tenu d'une intense évaporation durant les mois d'été, les premières précipitations, après une longue durée de sécheresse apportent des quantités considérables d'éléments nutritifs même si les volumes de précipitations ne sont pas élevés.

L'accumulation de ces apports pendant les premières pluies conduirait à une augmentation saisonnière des apports en éléments biogènes. Cependant, lorsque les précipitations deviennent abondantes les concentrations sont faibles, les substances nutritives ne s'accumulent pas car elles sont immédiatement lessivées par l'eau (Migon et *al.*, 1989).

Selon Matias et *al.* (2011) la diminution des précipitations notamment dans le cadre des changements climatiques (GIEC, 2014) engendre à long terme une pénurie des apports en éléments nutritifs et par la suite cette diminution peut toucher les processus liés à l'humification et la minéralisation.

Egalement, plusieurs auteurs (Nadelhoffer et *al.*, 1991; Jonasson et *al.*, 2006 ; Rinnan et *al.*, 2007) ont indiqué que l'effet de l'augmentation des températures et la pénurie des (P) vont se répercuter sur les cycles des éléments nutritifs, donc sur la disponibilité des ces substances pour l'arbre. Toute perturbation de la disponibilité des trois éléments azote, phosphore et potassium va diminuer la résistance des arbres vis-à-vis à sécheresse selon Matias et *al.* (2011).

- Importance relative et variation intra et inter annuelle des apports en NPK par les précipitations

Le tableau 31 montre clairement que l'apport des éléments nutritifs est dominé par l'azote, suivi de loin par le potassium. Cet apport est caractérisé par deux maximums l'un entre avril et août et l'autre entre septembre et novembre.

La contribution moyenne pour les deux ans d'étude du phosphore reste très modeste, de l'ordre de 0.39 pour Marconna et 0.45 kg /ha /an pour Larbaa, (tableau 27). Ces résultats sont en accord avec ceux de Lequy (2012) qui a observé en France un dépôt atmosphérique total de P hors couvert (précipitations) compris entre 0,2 et 0,8 kg/ha /ans.

La quantité du potassium apporté par les précipitations est également très réduite. Elle se situe entre 0.02 et 0.12 kg /ha (Tableau 27, Figure.58). Les quantités maximales ont été obtenues, en 2013 dans la chênaie de Larbaa.

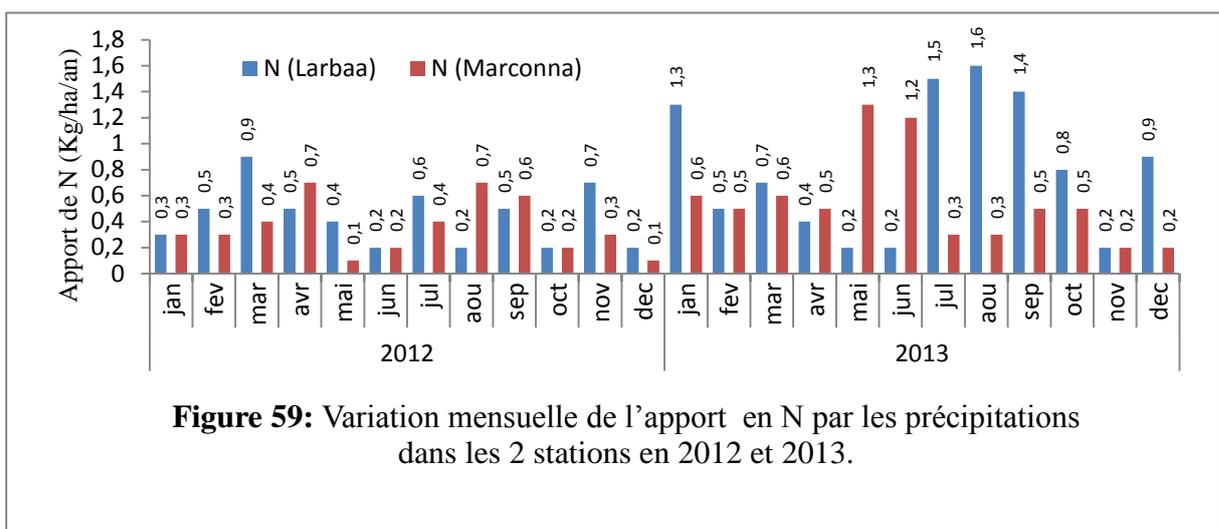
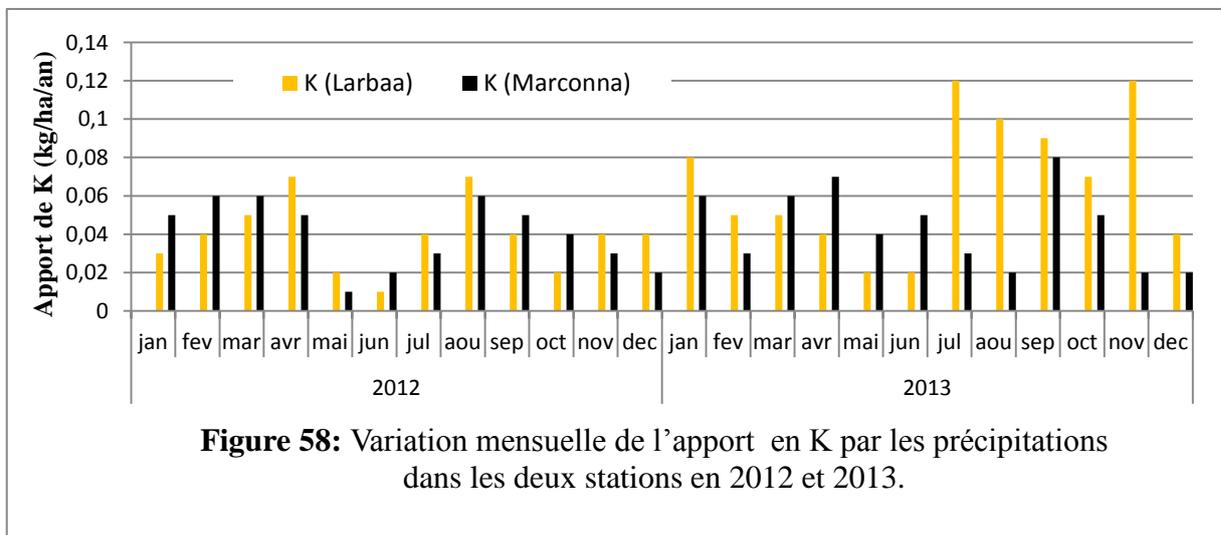
Pour les deux chênaies l'année 2013 est plus productive NPK. Pour cette période, le L'apport annuel de N pour la chênaie de Larbaa est 9.70 kg/ha /an, nettement supérieur à celui mesuré à Marconna (6.7 kg/ha/an, Tableau 27).

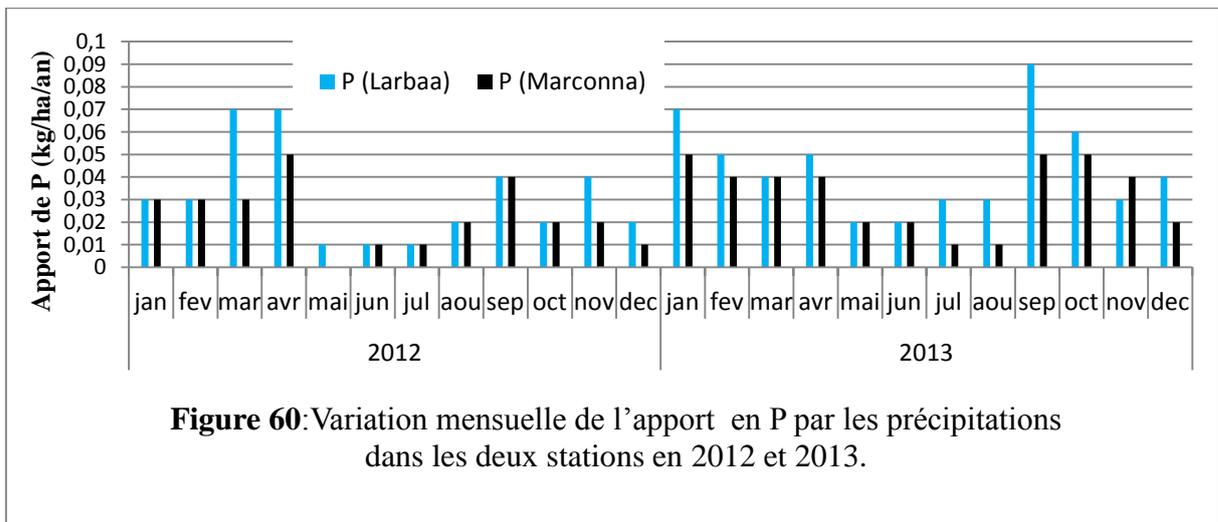
Pour Marconna l'apport de 2013 est supérieur de 2.4 kg/ha par rapport à celui de 2012.

L'apport mensuel de l'azote varie entre 0.20 et 1.60kg/ha pour Larbaa et entre 0.10 et 1.3 kg /ha pour Marconna (Tableau 27 et Figure 59). En reliant ces apports avec les volumes mensuels de précipitations reçues sur les deux chênaies, on remarque l'existence d'une relation entre les volumes de précipitations dans les deux chênaies et leurs apports en azote. Plus les précipitations sont bien réparties, plus l'apport est homogène, sauf pour les précipitations d'été qui apportent des quantités élevées de cet élément pouvant atteindre 1.4 - 1.6 kg /ha par mois en 2013 (Tableau 27 et Figure 59). Ces quantités sont dues aux volumes importants de pluie, couplés avec des concentrations élevées de l'azote durant ces mois. Il en est de même pour le mois janvier 2013 qui a apporté une quantité de 10.2 kg/ha, suite à des volumes important des précipitations tombées (Figure 59).

Il est à penser que les feux de forêts interviennent fortement pour augmenter la concentration de l'azote dans les pluies.

L'année 2013 est plus productive en phosphore par rapport à 2012. Deux périodes d'apport maximal en phosphore peuvent être distinguées. La première s'étale de janvier à avril et la deuxième s'étale de septembre à fin novembre (Tableau 27 et Figure 60). Ces résultats s'opposent à ceux de Lequy (2012) qui lui a trouvé que les périodes principales de dépôt de P se situent en au printemps et en été, coïncidant à la fois avec les plus forts besoins des végétaux et avec la plus forte activité microbienne. Cette divergence peut être attribuée aux régimes pluviométriques différents entre les deux stations d'étude pour notre cas les précipitations d'été sont rares.





- Variation inter-stations des apports en NPK par les précipitations

Le tableau 31 révèle que la quantité annuelle de N, P et K restituée au sol par les précipitations varie selon l'année considérée, entre 5.05 (2012) et 7.62 (2013) kg /ha /an pour la station de Marconna et 6.04 et 11.03 kg /ha /an pour la chênaie de Larbaa. Cet écart est dû principalement à la différence entre-les volumes des précipitations recueillies durant les deux années d'étude (513.5 mm pour Marconna, contre 633.88 mm pour la station de Larbaa).

Les apports totaux moyens des éléments NPK qui retournent au sol forestier des deux chênaies par l'intermédiaire des précipitations sont de 8.54 kg à Larbaa et 6.40 kg /ha/an à Marconna (Tableau 27). La différence d'environ 14,3 % (2.14 kg) entre les 2 sites est principalement due aux volumes légèrement différents de précipitations tombées sur les deux chênaies, mais aussi à la composition des poussières et la situation géographique (Larbaa étant plus soumise à l'influence du Sahara). Par ailleurs, elle concerne essentiellement l'élément azote (La chênaie de Larbaa restitue au sol en moyenne 1,95 Kg d'azote/ha /an de plus que celle de Marconna, tableau 27).

Selon Atteia et Dambrine (1993), de nombreuses études portant sur le dépôt d'éléments minéraux hors et sous couvert forestier ont été développées au cours de la décennie 1983-1993, dans le but de quantifier l'apport en éléments nutritifs. Ces études ont montré une variation considérable sur le plan spatial.

Les apports en NPK par les précipitations de l'année 2012 (5,05- 6,02 kg /ha /an) sont faibles par rapport aux valeurs issues d'autres études (Nihougrade, 1970 ; Allen et *al.*, 1968 ; Badri, 2003 et Legoute, 2008) qui ont rapportés des quantités allant de 10 à 17,7 kg de NPK/ha /an pour des sites qui reçoivent souvent plus de 600 mm de pluies par an.

Cette réduction d'apport en éléments nutritifs par la pluie mesurée durant l'année 2012 est due aux volumes réduits des précipitations (223,9 et 264 mm pour respectivement Marconna et Larbaa).

Pour l'année 2013 caractérisée par des hauteurs de précipitations plus élevées (289.6 mm à Marconna et 369.8 mm à Larbaa), les apports en éléments N, P et K ont été de 11.03 kg/ ha/ans dans la station de Larbaa. Une augmentation de 100 mm de (P) par rapport à l'an 2012 a apportée une quantité supplémentaire très importante d'éléments nutritifs au sol forestier des deux stations.

3.2.2.2. Variations des apports en N, P et K par les eaux d'égouttement

Au cours des deux années d'étude (2012 et 2013), le nombre de jours / an qui ont produit des pluviollessivats sous le couvert du chêne vert variait de 52 à 63 à Larbaa et 52 à 62 à Marconna. Le nombre de jours de pluie qui ont apporté des volumes importants de pluviollessivats est certainement inférieur au nombre de jours qui ont déclenché des égouttements.

Les quantités de N, P et K restituées au sol des deux stations au cours des deux années de mesure sont regroupées dans le tableau 28.

Ces résultats montrent que les deux stations ont accumulés des quantités d'éléments N, P et K qui varient entre 4.08 et 5.47 kg /ha/an pour Marconna et entre 3.54 et 7.73 kg/ha/an pour Larbaa. La variation spatiale des apports en éléments N, P et K est octroyée au nombre de jours de pluie qui ont créé des volumes considérables de pluviollessivats. A ces volumes s'ajoutent l'importance et la taille des houppiers à lessiver par les précipitations. Précisons ici que les houppiers des arbres de Larbaa sont plus importants que ceux du taillis de Marconna.

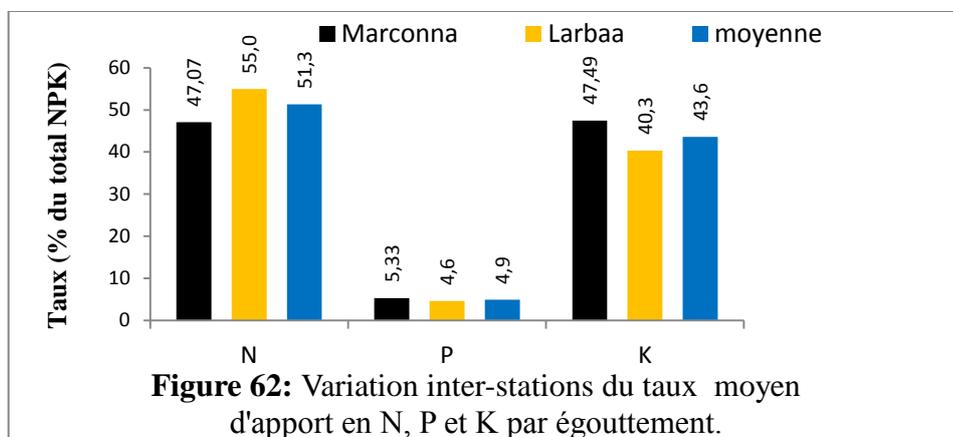
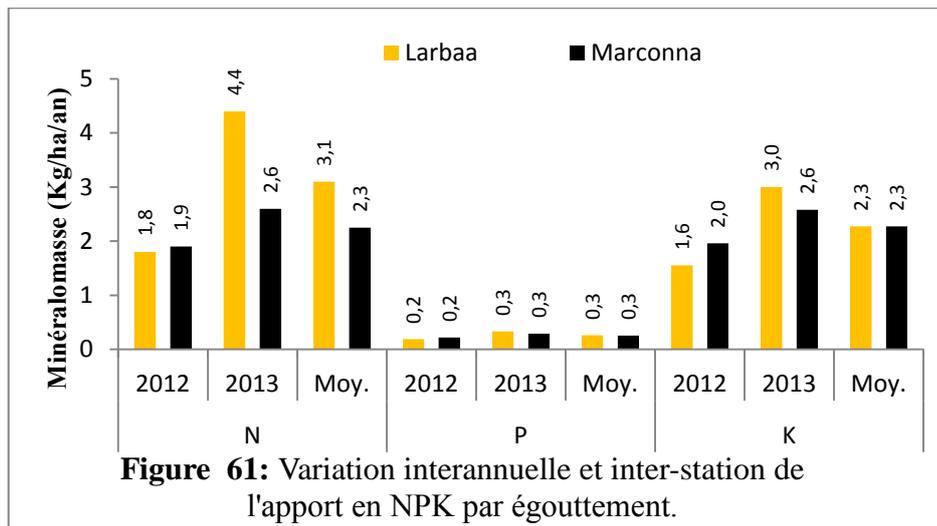
Tableau 28: Teneurs et apports par les pluiolessivats dans les deux stations.

Station	Mois	Teneur (ppm)									Apport par les pluiolessivats (kg/ha)									
		N			P			K			N			P			K			Total moyen
		2012	2013	moy	2012	2013	moy	2012	2013	moy	2012	2013	moy	2012	2013	moy	2012	2013	moy	
Larbaa	Jan	1,80	2,10	1,95	0,18	0,17	0,18	1,20	1,20	1,20	0,10	0,50	0,30	0,01	0,04	0,03	0,08	0,30	0,19	0,52
	Fev	1,60	1,70	1,65	0,15	0,18	0,17	1,30	1,00	1,15	0,10	0,20	0,15	0,01	0,02	0,02	0,10	0,11	0,11	0,27
	Mar	1,30	1,20	1,25	0,16	0,16	0,16	0,90	1,50	1,20	0,40	0,20	0,30	0,05	0,03	0,04	0,30	0,30	0,30	0,64
	Avr	1,50	1,20	1,35	0,18	0,16	0,17	2,70	3,70	3,20	0,30	0,30	0,30	0,04	0,04	0,04	0,60	0,90	0,75	1,09
	Mai	12,00	1,00	6,50	0,36	0,15	0,26	2,90	3,20	3,05	0,00	0,10	0,05	0,00	0,01	0,01	0,00	0,23	0,12	0,17
	Juin	0,00	1,60	0,80	0,00	0,19	0,10	0,00	2,00	1,00	0,00	0,10	0,05	0,00	0,01	0,01	0,00	0,13	0,07	0,12
	Juil	0,00	7,80	3,90	0,00	0,20	0,10	0,00	1,80	0,90	0,00	0,30	0,15	0,00	0,01	0,01	0,00	0,07	0,04	0,19
	Aou	0,00	14,00	7,00	0,00	0,23	0,12	0,00	1,80	0,90	0,00	0,90	0,45	0,00	0,01	0,01	0,00	0,11	0,06	0,51
	Sep	1,80	1,90	1,85	0,14	0,20	0,17	0,90	0,90	0,90	0,40	0,80	0,60	0,03	0,08	0,06	0,20	0,40	0,30	0,96
	Oct	1,40	1,90	1,65	0,14	0,16	0,15	1,00	0,70	0,85	0,20	0,66	0,43	0,02	0,05	0,04	0,10	0,24	0,17	0,64
	Nov	1,30	1,20	1,25	0,17	0,16	0,17	0,80	0,80	0,80	0,30	0,10	0,20	0,03	0,01	0,02	0,15	0,07	0,11	0,33
	Déc	1,20	2,40	1,80	0,22	0,17	0,20	0,90	1,00	0,95	0,00	0,30	0,15	0,00	0,02	0,01	0,02	0,14	0,08	0,24
	Total	22,70	35,60	30,95	1,48	1,96	1,92	11,70	18,60	16,10	1,80	4,46	3,13	0,19	0,33	0,26	1,55	3,00	2,28	5,67
Marconna	Jan	1,60	1,40	1,50	0,16	0,16	0,16	1,26	1,30	1,28	0,10	0,30	0,20	0,01	0,04	0,03	0,12	0,33	0,23	0,45
	Fev	1,20	1,50	1,35	0,17	0,15	0,16	1,10	1,15	1,13	0,10	0,30	0,20	0,02	0,03	0,03	0,13	0,20	0,17	0,39
	Mar	1,10	1,40	1,25	0,14	0,16	0,15	1,10	1,20	1,15	0,30	0,40	0,35	0,05	0,04	0,05	0,32	0,31	0,32	0,71
	Avr	1,40	1,60	1,50	0,16	0,18	0,17	2,50	2,60	2,55	0,40	0,40	0,40	0,05	0,04	0,05	0,75	0,62	0,69	1,13
	Mai	3,70	3,80	3,75	0,20	0,18	0,19	1,90	2,10	2,00	0,00	0,10	0,05	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	0,04	0,09
	Juin	5,50	5,20	5,35	0,19	0,20	0,20	1,30	1,90	1,60	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,02	0,12
	Juil	0,00	7,00	3,50	0,00	0,19	0,10	0,00	1,80	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Aou	5,60	4,00	4,80	0,22	0,18	0,20	1,40	2,00	1,70	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,03	0,13
	Sep	2,50	1,00	1,75	0,19	0,16	0,18	1,00	1,08	1,04	0,50	0,30	0,40	0,04	0,05	0,05	0,20	0,36	0,28	0,73
	Oct	1,00	1,00	1,00	0,16	0,15	0,16	1,18	1,25	1,22	0,10	0,30	0,20	0,02	0,05	0,04	0,15	0,40	0,28	0,51
	Nov	1,00	1,00	1,00	0,13	0,14	0,14	1,06	0,80	0,93	0,10	0,20	0,15	0,02	0,03	0,03	0,15	0,15	0,15	0,33
	Déc	1,00	1,10	1,05	0,14	0,13	0,14	1,17	0,80	0,99	0,10	0,10	0,10	0,01	0,01	0,01	0,09	0,09	0,09	0,20
	Total	25,60	30,00	27,80	1,86	1,98	1,92	14,97	17,98	16,48	1,90	2,60	2,25	0,22	0,29	0,26	1,96	2,58	2,27	4,78

Les figures 61 et 62 indiquent que le potassium et l'azote sont les plus apportés par les eaux d'égouttements. L'apport de potassium varie avec le site, l'année et le mois météorologique. Au niveau annuel, le K varie entre 1.96 (2012) et 2.58 (2013) kg /ha/an à Marconna et de 1.55 à 3.0 kg /ha /an à Larbaa. Tandis que la quantité d'azote apporté fluctue entre 1.9 à 2.6 à Marconna et de 1.8 à 4.4 kg /ha /an à Larbaa (Figure 61). En moyenne, l'azote est l'élément le plus dominant dans les apports en NPK. Il représente 47.07 % (Marconna) à 54.96 % (Larbaa) de l'apport total moyen annuel en NPK (51.34 % en moyenne pour les 2 stations) (Figure 62).

Il est à souligner que ces variations interannuelles demeurent faibles, non significatives pour l'ensemble des éléments dosés.

Les variations intra-annuelles ne sont significatives que pour P et K apportés par l'égouttement dans la station de Marconna.



Les apports en éléments nutritifs par l'intermédiaire des pluviocessivats mesurés sont relativement faibles par rapport à ceux mentionnés par divers auteurs (Carlisle, 1966; Rapp, 1971; Rodrigo *et al.*, 2003; Aguilhaume *et al.*, 2017) qui ont évalué cet apport entre 12.9 et 31.8 kg/ha/an. Néanmoins, les apports faibles obtenus dans la présente étude sont accompagnés par de faibles volumes d'égouttements qui n'ont pas dépassé durant les deux années d'étude 200 mm pour les deux stations. Les volumes d'égouttements reflètent l'apport total des éléments nutritifs quelque soit leurs concentrations (Matias *et al.*, 2011 ; Aguilhaume *et al.*, 2017).

A titre d'exemple, les études récentes de Aguilhaume *et al.* (2017) sur les apports en éléments biogènes par les précipitations et les pluviocessivats dans quatre chênaies à *Quercus ilex* en Espagne sur une période de 3 années (2011-2013) ont montré que les apports en éléments nutritifs dépendent étroitement du climat, des caractéristiques et la qualité de l'aire.

Aguillaume et *al.* (2017) ont suivi des chênaies caractérisées par des volumes de précipitations et des taux d'égouttements important (66 - 77 %). Les pluviollessivats de cette étude ont contribué par un apport compris entre 15 et 23.5kg /ha /an de N, P et K. Ces quantités sont nettement supérieures à celles obtenues dans nos stations étude. Cela, pourrait s'expliquer par les taux réduits d'égouttement (Marconna 66.30 et Larbaa 58.86%) qui caractérisent les chênaies des Aurès. En effet, plusieurs chercheurs (Migon et *al.*, 1989 ; Rodrigo et *al.*, 2003; Matias et *al.*,2011 ; Aguillaume et *al.*, 2017) ont démontré expérimentalement que les apports en éléments biogènes dépendent largement des volumes de précipitation et de l'égouttement, de la structure et la dynamique du couvert végétal et des taux d'interception.

Le couvert du chêne vert absorbe certains éléments nutritifs et après le passage des précipitations sur le couvert, les eaux égouttées s'enrichissent en ces éléments biogènes. Par exemple, nos expérimentations ont montré que le couvert du chêne vert absorbe 0.7 à 4.1 kg/ha/an de N (tableau P1 et P2 relatifs aux teneurs et apports en éléments NPK par les précipitations et pluviollessivats.)

Les apports totaux de l'élément N, pour les deux années d'études par les eaux d'égouttements sont plus faibles (4.08-5.47pour Marconna et 3.54-7.79 pour Larbaa) par rapport a ceux apportés par les précipitations incidentes (5.05-7.56 Kg/ha/an pour Marconna et 6.04 -11.03 Kg de N/ha/an pour Larbaa).

Ces valeurs sont très proches de celles de Duchesne (1999) qui a trouvé 5.76 kg /ha /an d'azote apporté par les précipitations et 4.98 kg /ha /an par l'égouttement.

Les résultats relatifs au potassium sont en concordance avec de Migon et *al.* (1989) et Legoute (2008) qui ont signalé que la contribution des pluviollessivats pour le potassium est plus importante que celle des précipitations. Lorsque les précipitations traversent un couvert forestier il se produit un fort enrichissement en K (Duchesne, 1999).

Le potassium est l'élément le plus transféré au sol par l'intermédiaire des pluviollessivats. Dans cette étude le couvert du chêne vert enrichie le sol en K quatre à cinq fois plus qu'en P. Ces résultats convergent avec ceux de Aguillaume et *al.*(2017) qui ont affirmé aussi que l'effet du couvert forestier du chêne vert sur l'apport en potassium est très fort.

De même, Atteia et Dambrine (1993), ont indiqué que le potassium est parmi les éléments qui s'enrichissent fortement par le passage des pluies sur le couvert forestier et que le rapport des concentrations $k(E_g) / k(p)$ est toujours supérieurs à trois. Dans la présente étude, ce rapport a été de 3.93 pour Marconna et 4.51 pour Larbaa (calculés à partir des concentrations de K (pluie) (tableau 31) et K (Eg) (Tableau 32).

Duchesne (1999) a montré que le lessivage est particulièrement important pour le potassium. Il pense aussi que l'élément qui est fortement lessivé occasionnera une accrétion plus grande pour former le feuillage.

Nos résultats relatifs à l'azote sont en concordance avec plusieurs études (Nambiare et Fife, 1987; Escudro *et al.*, 1992, in Duchesne, 1999). Par ailleurs, le rapport d'absorption évalué dans la présente étude est en total accord avec les valeurs rapportées par Aguiillaume *et al.* (2017) qui varie de 1 à 6 chez le chêne vert.

D'autres études sous divers couverts forestiers (Chang et Matzner, 2000 ; Nys, 1987) ont prouvé que les flux de l'azote dans les pluviollessivats sont environ deux fois plus faibles que les apports hors couverts.

Concernant le phosphore, nos résultats ne sont pas en accord avec les études précédentes qui suggèrent un enrichissement du phosphore par le couvert forestier. A notre avis, cette divergence pourrait s'expliquer entre autres par les conditions expérimentales différentes (climat, végétation, sol), et les faibles égouttements des précipitations qui ne permanent pas à un lessivage complet de la canopées. La quantité du phosphore apportée par les pluviollessivats (0.26kg/ha /an) reste voisine de celle (0.23 kg/ha/an) rapportée par Duchesne (1999).

3.2.2.3. Variations des apports en N, P et K par les litières du chêne vert

La décomposition de la litière est une voie importante pour fournir les éléments nutritifs à l'écosystème forestier. Selon Badri (2003) et Chapin *et al.* (2000, in Bani *et al.*, 2018), la litière a souvent un rôle essentiel d'approvisionnement en éléments minéraux des horizons superficiels du sol (79,3 à 90 % des macroéléments revenant au sol).

- Variation des teneurs en NPK des différentes fractions de litière

Le tableau 29 fait ressortir que la fraction « feuilles chêne vert » est plus riche en azote pour les deux stations. Les concentrations moyennes de N dans les feuilles de chêne vert sont de 3.52 et 4.02% pour Larbaa et Marconna respectivement.

La fraction Fcv est suivie par la fraction « fruits et inflorescences » ou Fr /In) qui est moins riches en azote (seulement 1.94 % de la matière sèche pour Marconna et 2.48 % pour Larbaa).

Les fractions bois (BBE) sont encore moins riches en azote, avec des teneurs de 1.25 % pour Larbaa et 1.56 % pour Marconna.

Il est à remarquer que la chênaie de Larbaa présente une litière relativement moins concentrée que celle produite Marconna, notamment pour les deux éléments N et K. La fraction fruits et inflorescences est la plus riches en K (entre 1.69 et 2.49 %) suivie par Fcv et BBE.

Pour le phosphore, c'est la fraction BBE qui présente les concentrations les plus élevées pour les deux chênaies (0.165 et 0.185 pour Marconna et Larbba respectivement).

Les concentrations d'azote trouvées dans notre étude sont élevées surtout pour la fraction feuilles chêne vert (3.52- 4.02 %) par rapport à d'autres études sur le chêne vert à titre d'exemple Bussotti et *al.* (2003) ont trouvé des concentrations entre 1.22 et 2.02 %. Cette différence peut être attribuée à celle des densités des arbres des différents sites, allant de 978 à 2080 pieds par hectare.

Boulmane et *al.* (2013) ont apporté des concentrations plus faibles (0.78 à 0.84 %), pour des arbres qui poussent sur un substrat calcaire dolomite.

Nos résultats relatifs aux concentrations de l'azote, restent proches et compatibles avec l'étude sur un taillis de chêne vert menée par Leonardi et Rapp (1981) qui ont observé que la concentration de l'azote peut atteindre 3.6 % dans les litières de chêne vert.

De même pour les concentrations sont un peu élevées 0.69 à 2.49 % par rapport aux différentes études sur les litières de chêne vert (Leonardi et Rapp, 1981) ont signalé des concentrations entre 0.40 et 0.98 %. Bussotti et *al.* (2003) ont trouvés des concentrations plus importantes pour cet élément (0.41 et 1.31%). Néanmoins le substrat et les conditions climatiques qui entourent le chêne vert étaient différentes.

Les concentrations relatives au phosphore restent faibles comme d'autres études (Bussotti et *al.*, 2003 ; Boulmane et *al.*, 2013).

D'autres facteurs peuvent expliquer les différentes concentrations des éléments nutritifs, selon Lequy, 2012) les feuilles tombant suite aux nombreux épisodes pluvieux seraient donc moins chargées de particules avant leur chute.

Selon Rapp (1971), L'apport en les éléments de base N, P et K dépend de quantité des litières et la concentration de ces éléments dans les tissus ligneux.

En effet, la variation spatiale de la composition chimique des feuilles est aussi très forte (24,14 à 519,04 g/m²/an). Ces fluctuations spatiales d'apport en éléments biogènes sont imputables au type de végétation et à des conditions climatiques et édaphiques particulières de la station (Jérôme et *al.*, 2016).

Tableau 29: Teneurs et apports en biogènes des différentes fractions de litière dans les 2 stations.

Station	Fraction	Teneur (% MS)									Apport en élément par la litière (kg/ha)									
		N			P			K			N			P			K			Total moyen
		2012	2013	moy	2012	2013	moy	2012	2013	moy	2012	2013	moy	2012	2013	moy	2012	2013	moy	
Marconna	Fcv	4,29	3,75	4,02	0,15	0,14	0,15	1,78	1,46	1,62	8,27	9,51	8,89	0,31	0,36	0,34	3,32	3,92	3,62	12,85
	Fr/In	2,53	2,43	2,48	0,15	0,13	0,14	2,83	2,15	2,49	4,53	5,15	4,84	0,26	0,24	0,25	4,63	4,20	4,42	9,51
	BBE	1,68	1,45	1,57	0,19	0,18	0,19	0,72	0,67	0,70	0,80	0,89	0,85	0,09	0,11	0,10	0,35	0,40	0,38	1,32
	Total	8,50	7,63	8,07	0,49	0,45	0,47	5,33	4,28	4,81	13,60	15,55	14,58	0,66	0,71	0,69	8,30	8,52	8,41	23,67
Larbaa	Fcv	3,73	3,32	3,53	0,14	0,13	0,14	1,73	1,52	1,63	19,60	20,40	20,00	0,76	0,82	0,79	7,74	8,37	8,06	28,85
	Fr/In	2,02	1,86	1,94	0,11	0,10	0,11	1,72	1,66	1,69	10,79	13,99	12,39	0,65	0,73	0,69	9,06	12,46	10,76	23,84
	BBE	1,28	1,23	1,26	0,17	0,16	0,17	0,68	0,59	0,64	2,99	2,24	2,62	0,39	0,32	0,36	1,36	1,07	1,22	4,19
	Total	7,03	6,41	6,72	0,42	0,39	0,41	4,13	3,77	3,95	33,38	36,63	35,01	1,80	1,87	1,84	18,16	21,90	20,03	56,87

BBE= bois, brindille et écorce, Fr/In = fruit et inflorescence, Fcv = feuilles chêne vert

- Importance relative des éléments NPK

La minéralisasse restituée au sol durant les deux années de suivi et pour les deux stations comprises est constituée à plus de 60 % par l'élément azote. Ce résultat est entièrement en accord avec les résultats de Boulmane et *al.* (2013) qui ont affirmé que l'azote est l'élément nutritif le plus abondant dans la litière du chêne vert (plus de 61 % de la minéralomasse).

L'azote de la litière se localise principalement dans les fractions feuilles (F_{CV}) et fleure inflorescences (Fr et In) (Tableau 29).

Les feuilles qui assurent un pourcentage élevé des apports nutritifs au sol via la litière, représentent un lien entre la communauté des arbres et productivité de l'arbre. Cela signifie que la distribution spatiale des arbres et la structure des houppiers des arbres jouent un rôle très important pour la redistribution des éléments nutritifs qui vont retourner au sol forestier (Uriarte et *al.*, 2015).

L'apport en les éléments de base N, P et K dépend de quantité des litières et de la concentration de ces éléments dans les tissus ligneux (Rapp, 1971). Le Gall (2004) a indiqué que les arbres qui poussent sur des sols riches en azote peuvent présenter de fortes concentrations en cet élément dans leurs feuilles.

Selon Jérôme et *al.* (2016) les restitutions azotées dépendent en partie des richesses naturelles des sols des stations étudiées. Lorsqu'un élément n'est plus disponible en quantité suffisante pour soutenir la croissance des arbres, il devient l'élément limitant. C'est souvent le

cas de l'azote dans les forêts. Par contre, si les apports en azote deviennent excédentaires, d'autres éléments (souvent le potassium ou le magnésium) deviennent limitant.

Les apports du phosphore par les litières dans les chênaies étudiées est souvent faible (0.96 à 1.84 kg/ha, tableau 29). L'apport mensuel en cet élément est variable significativement (Tableau 30).

Le potassium s'accumule en plus forte proportion dans les feuilles et les inflorescences (Fr/ In, tableau 29). Cet élément présente aussi une fluctuation intra-annuelle très hautement significative pour les deux stations (Tableau 30).

Concernant, le classement par ordre décroissant des éléments majeurs N, P et K, il est clair que l'azote vient en tête suivi du potassium, puis du phosphore ($N > K > P$). Cet ordre de succession est semblable à celui rencontré chez la même espèce par Leonardi et Rapp, (1981) et Boulmane et al. (2013).

Chez une autre espèce *Quercus pyrenaica*, Gallardo et al. (1998) a établi en Espagne un autre classement pour les 3 éléments considérés $K > N > P$.

- Variation intra-annuelle des apports en biogènes par la litière

Les figures 63 et 64 représentent respectivement la variabilité mensuelle des apports en N, P et K dans la chênaie de Larbaa et Marconna. Elles montrent qu'il existe une forte hétérogénéité dans les apports en N, P et K dans les deux stations, aussi bien en 2012 qu'en 2013. Cependant, la variation des quantités mensuelles de potassium restituées au sol par la litière étant la plus élevée (CV de 84 à 155 %), suivie par celle de l'Azote (CV de 63.8 à 113 %).

Sur le plan statistique, ces variations sont très hautement significatives pour l'ensemble des éléments nutritifs des deux stations (Tableau 30).

En effet, l'apport d'azote et de potassium par les litières est particulièrement élevé en avril, mai (Printemps) et un peu moins en octobre et novembre (Automne) et réduit en été comme le montrent les figures 63 et 64.

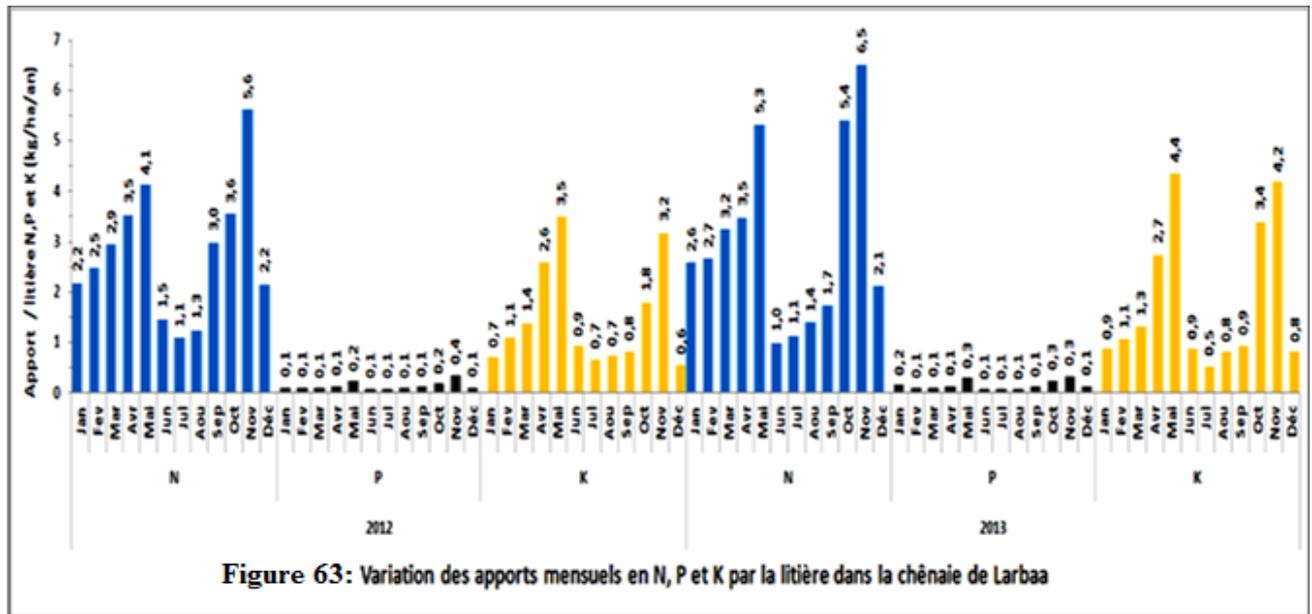


Figure 63: Variation des apports mensuels en N, P et K par la litière dans la chênaie de Larbaa

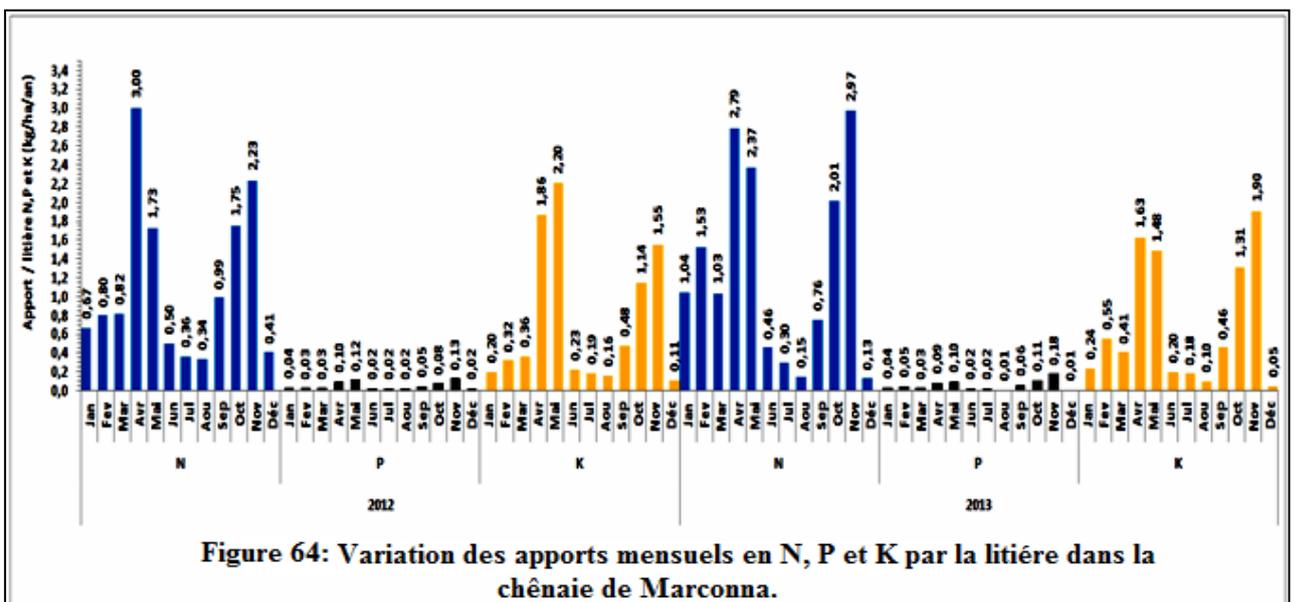


Figure 64: Variation des apports mensuels en N, P et K par la litière dans la chênaie de Marconna.

L'apport massif d'éléments nutritifs qui retournent au sol par l'intermédiaire des litières, principalement en avril et mai chez le chêne vert consolide les résultats de Rapp (1971) qui a abouti à la même conclusion.

En Afrique du nord, Makhloufi et *al.*(2008) ; Benhizia (2010) ; Boulmane et *al.* (2013) ont constaté, pour le chêne vert en Algérie et Maroc, une forte variabilité mensuelle et interannuelle des retombées de litières et leurs apports en éléments NPK. Ces apports de litières s'étalent sur toute l'année, avec un optimum d'Avril à Mai, le maximum absolu se situant chaque année en Avril. Au cours de ces deux mois, ils ont remarqué une chute

importante de feuilles et inflorescences ; les glands tombent plus tard, en fin d'été et en automne.

La production moyenne annuelle de litière en bioéléments a été de 37,9 et 44,4 kg./ha/an respectivement pour les deux parcelles étudiées par Boulmane et *al.*, 2010 l'apport maximal était en mois avril mai et septembre novembre.

D'autres facteurs selon comme les facteurs météorologiques (tempête) peuvent modifier la périodicité mensuelle des retombées de litières et par conséquent les apports en NPK (Boulmane et *al.*, 2013).

Duchesne (1999) a remarqué une augmentation rapide des concentrations en NPK au début de la saison de croissance, puis un plateau et une chute des concentrations dans les feuilles.

Duchesne (1999) a noté que le flux d'éléments nutritifs entre feuilles, branches et brindilles intervient toute l'année et explique aussi la variation temporelle des concentrations en NPK dans les différentes fractions de litières.

Le flux d'éléments minéraux retournant mensuellement au sol varie en fonction des paramètres phénologiques liées aux feuilles et aux organes reproducteurs et présente donc une rythmicité régulière d'une année à l'autre, ou en fonction d'interférences climatiques, beaucoup plus aléatoires, en ce qui concerne la chute de branches ou de brindilles (Leonardi et Rapp, 1981).

Les apports mensuels élevés notés en avril et mai s'expliqueraient par les chutes importantes des feuilles en cette période (Leonardi et Rapp, 1981). Les mêmes auteurs ont indiqué que la restitution en N, P et K, également forte constatée en octobre et décembre serait liée à la chute des glands et des inflorescences qui commencent à tomber en juin.

La variation temporelle constatée dans la présente étude confirme les résultats entre autres de Benhizia (2010) et de Boulmane et *al.*(2013) qui ont remarqué que la plus forte quantité de minéraux restitués par la litière au sol de la chênaie se situe entre Avril et Mai.

De même, Duchesne (1999) a affirmé que le flux d'éléments nutritifs entre feuilles branches brindille intervient toute l'année et explique aussi la variation temporelle des concentrations en N PK dans les différentes fractions de litières.

- Variation interannuelle des apports en biogènes par la litière

Les résultats des apports NPK par les litières totales montrent que l'enrichissement du sol en minéraux varie quelque peu d'une année à l'autre. Toutefois, (le test F reste non significatif pour les deux stations (Tableau 30)).

Les apports annuels sont compris entre 53.34 (2012) et 60.40 kg/ha/an (2013) à Larbaa et 22.56 (2012) et 24.78 (2013) kg/ha/an à Marconna. Ces apports sont dominé par l' azote en première position suivi en par le potassium et en fin le phosphore qui reste très modeste pour les deux chênaies 0.69 pour Marconna et 1.84 kg/ha pour Larbba.

L'année 2013 paraît relativement plus productive en éléments N, P et K que 2012 (Tableau 29). En fait, cet écart interannuel moyen de la biomasse totale ne représente que 11.68 % (Larbaa) et 8.95 % à Marconna.

Il est à noter également que ce rapprochement des productions annuelles se retrouve au niveau de l'ensemble des éléments et dans chaque station (F non significatif, tableau 30).

Nos résultats (total moyen) relatifs à l'apport du phosphore dans la chênaie de Larbaa sont comparables à ceux du Duchesne (1999) qui a trouvé une quantité de 1.77 kg /ha /an.

Quand au potassium les résultats trouvés pour la chênaie de Marconna (8.52 kg/ha) s'approchant a ceux de Bussotti et *al.* (2003) qui ont noté une quantité de 10.88 kg/ha/ans. Cependant, ils sont plus élevés que de Boulmane et *al.* (2013) qui ont trouvé des valeurs comprises entre 2.70-3.56 kg /ha /an.

Dans la station de Larbaa, l'élément K est nettement plus élevé (20.03 Kg/ha/an en moyenne) par rapport aux résultats de Bussotti et al (2003) et Boulmane et *al.* (2013).

La différence peut être attribuée à l'âge et aux caractéristiques du substrat et du peuplement.

Tableau 30 : Probabilité de signification du test F (ANOVA) des variations inter et intra-annuelles des apports en N, P et K. par les litières dans les 2 stations.

Stations	Larbaa			Marconna		
	N	P	K	N	P	K
Variation intra-annuelle	0,00 *	0,00 *	0,00*	0,00 *	0,00 *	0,00*
Variation inter-annuelle	0,68	0,79	0,52	0,68	0,79	0,97

(*)Différence significative quand la probabilité est < 0,05.

- Variation inter-stations des apports en NPK par la litière

Sur le plan statistique, les litières des deux stations restituent au sol des quantités de N, P et K très significativement différentes.

Globalement, la litière produite par la chênaie de Marconna approvisionne beaucoup moins le sol en NPK que celle de Larbaa. En moyenne le couvert végétal de Marconna fournit au sol 23.67 Kg de NPK par hectare et par an, alors que celui de Larbaa apporte

pratiquement le double 56.87Kg/ha/an. Cet écart inter-station important d'environ 57 % en faveur de la chênaie de Larbaa peut être attribué à la différence d'âge.

La chênaie de Larbaa étant plus productive en litières que celle du Marconna. Néanmoins, la chênaie de Marconna a présentée des teneurs en N, P et K plus élevées que celles du Larbaa.

Les effets de l'âge sur la teneur en éléments biogènes des litières et donc sur les potentialités de production de la minéralomasse par un couvert végétal sont bien connus. En effet, Ranjer *et al.* (2003) ont observé que la teneur en éléments essentiels N, P et K revenant au sol par l'intermédiaire de la litière varie avec l'âge du peuplement. La litière du peuplement âgé est moins riche en éléments minéraux. La litière des arbres jeunes a donc des concentrations en minéraux plus élevées que les arbres adultes (Augusto *et al.*, 2000 ; Trichet *et al.*, 1999 et Le Gall, 2004).

Les quantités de litière divergentes, couplées avec les concentrations elles mêmes différentes sont aussi des sources de fluctuation spatiale non négligeable (Rapp, 1971).

La forte variation stationnelle observée trouverait également explication dans la contribution forte de la fraction « feuilles » (Uriarte *et al.*, 2015) plus importante à Marconna et les conditions climatiques et édaphiques particulières à la station (Jérôme *et al.*, 2016). Ces derniers auteurs estiment qu'entre autres la disponibilité des éléments nutritifs dans le sol influent sur leurs concentrations dans les feuilles et les organes de l'arbre. La même remarque à été rapportée par Le Gall (2004) qui a indiqué que les arbres qui poussent sur des sols riches en azote peuvent présenter de fortes concentrations d'azote dans leurs feuilles.

Enfin, il possible aussi que cette variation inter-station soit la conséquence de la perte des branches, bois, feuilles et glands, causée par des actions anthropiques qui auraient touché différemment les deux chênaies (Fahey *et al.*, 1991; Marques, 1996 ; Olsson *et al.*, 1996 ; Yanai, 1998).

Les résultats trouvés relatifs aux quantités totales d'azote phosphore et potassium produites par les litières (23.67-56.87 Kg/ha/an) sont légèrement élevés avec ceux de Bussotti *et al* (2003) qui ont obtenu des apports en NPK par les litières allant 20.52 à 44.87 Kg/ha/an, à l'issue des mesures réalisées sur une période importante (1992- 2000) dans des chênaies à *Quercus ilex* évoluant sous des conditions variées (pluviométrie, altitude, densité du peuplement). Cependant, les quantités trouvées par Bussotti *et al.*, (2003) concernent des chênaies qui ont un âge compris uniquement entre 40 et 60 ans par contre pour notre étude les arbres de Larbaa approchent les 90 ans d'âge.

Les valeurs présentées (37,9 à 44,4 kg/ha/an de N, P, K, Ca et Mg) par Boulmane *et al.* (2013) pour la même espèce au Maroc sont aussi légèrement divergentes.

Les apports d'éléments nutritifs relativement élevés par rapport aux valeurs obtenues par Boulmane et *al.*(2013) peuvent être attribués aux concentrations fortes de l'élément azote notamment dans la fraction « feuilles ».

Selon Jérôme et *al.* (2016) les faibles restitutions de certains éléments biogènes reflètent en partie les carences naturelles des sols des stations étudiées. La disponibilité des éléments nutritifs dans le sol influent sur leurs concentrations dans les feuilles et les organes de l'arbre.

D'après Leonardi et Rapp (1981), les retombées de litière de chêne vert du Monte Minardo (Etna) assurent au sol un retour annuel considérable qui tourne autour de 47.5kg/ha/ans.

3.2.2.4. Bilan de la minéralomasse annuelle moyenne restituée au sol par les différentes sources et leur contribution relative

Les quantités annuelles moyennes de N, P et K restituées par ha des deux chênaies étudiées et la contribution relative des différentes sources d'apport sont consignées dans le tableau 31.

Ces résultats révèlent que le sol de la chênaie de Larbaa a restitué une minéralomasse totale annuelle moyenne double de celle Marconna (71,0 Kg de NPK/ha, contre 34,8 à Marconna). Dans les deux stations, cette minéralomasse résulte principalement des retombées de litières du chêne vert. En effet, cette source d'approvisionnement du sol en NPK assure 80.1 % pour Larbaa et 68 % pour Marconna des apports totaux.

Les eaux de pluie interviennent en seconde position dans le renouvellement du stock en éléments minéraux des sols, avec une contribution relative de 11.9 (à Larbaa) à 18,3 % (à Marconna) (Tableau 31).

La restitution de bioéléments au sol par le biais des pluviollessivats est faible, mais, loin d'être négligeable. Ces eaux assurent en moyenne un retour au sol d'environ 5 à 6 Kg de NPK /ha/an, selon la station considérée, soit une contribution de 8 à 13,7 % des apports totaux (Tableau 31).

Tableau 31 : Quantités annuelles moyennes de N, P et K restituées aux sols des deux chênaies et contribution relative des différentes voies d'apport.

Chênaie		Larbaa				Marconna			
Elément		N	P	K	Total	N	P	K	Total
Apport par les différentes sources (Kg/ha/an)	Pluie	7,4	0,5	0,6	8,4	5,6	0,3	0,5	6,4
	Pluiolessivat	3,1	0,3	2,3	5,7	2,3	0,3	2,3	4,8
	Litière	35,0	1,8	20,0	56,9	14,6	0,7	8,4	23,7
	Total	45,5	2,6	22,9	71,0	22,4	1,2	11,2	34,8
Contribution de la source (% du total)	Précipitations	10,4	0,6	0,9	11,9	15,9	0,9	1,4	18,3
	Pluiolessivat	4,4	0,4	3,2	8,0	6,5	0,7	6,5	13,7
	Litière	49,3	2,6	28,2	80,1	41,9	2,0	24,2	68,0
	Total	64,1	3,6	32,3	100,0	64,3	3,6	32,1	100,0

Le tableau 31 montre également que la masse de biogènes NPK qui retourne au sol par l'ensemble des voies (pluie, pluiolessivats, litières) est dans sa grande majorité constituée par l'élément azote, suivi de loin par le potassium. Ces deux éléments très largement apportés par la litière (65,2 à 78 % du N total et 87,3 à 75 % du K total), représentent respectivement près de 64 % et 32 % du poids total des minéraux NPK reçu par chacune des deux stations.

La minéralomasse restituée au sol des deux chênaies renferme peu de phosphore, de l'ordre de 3,6 % (1.2 à 2.6 Kg de P/ha/an). Cet élément provient essentiellement des litières du chêne vert, comme pour l'azote et le potassium.

3.2.3. Conclusion partielle

L'analyse des données relatives aux retombées biologiques dans les deux chênaies au cours des années 2012 et 2013 a montré que :

- Les chênaies de Larbaa et Marconna ont accumulé respectivement, 1,3 à 1,6 et 0.4 à 0.5 tonnes de litières totale par hectare.
- La quantité annuelle de NPK restituée au sol par des précipitations durant les deux années d'étude varie entre 5.05 et 7.62 kg /ha /an pour la station de Marconna et 6.04 et 11.03 kg /ha /an pour la chênaie de Larbaa.
- L'apport des éléments nutritifs par l'intermédiaire des précipitations est dominé par l'azote et le potassium. Cet apport présente deux pics, l'un entre avril et aout et l'autre entre septembre et novembre.
- Les deux chênaies ont accumulées des quantités d'éléments NPK, par l'intermédiaire des pluviolessivats qui varient entre 4.08 et 5.47 kg /ha/an pour Marconna et entre 3.54 et 7.73 kg/ha/an pour Larbaa.
- Les eaux d'égouttement sont pratiquement 4 à 4.5 fois plus chargées en potassium que celles des pluies incidentes et ce dans les deux stations.
- L'azote est l'élément le plus dominant dans les apports totaux en NPK.
- Malgré que les quantités de litières produite par nos stations soient faibles, elles assurent conjointement avec les pluviolessivats, un apport considérable en éléments NPK qui varie selon les chênaies et leurs caractéristiques de 28.76 à 62.53 kg/ha.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'étude de l'interception des précipitations et des apports en éléments N, P et K par les retombées biologiques conduite dans la région des Aurès sur le chêne vert est nouvelle en Algérie.

L'évaluation de l'interception a été effectuée sur 3 ans (2011-2013) et celle des pluviollessivats et litières, sur 2 années (2012-2013).

L'exploitation des données recueillies dans 3 chênaies différentes (2 futaies et un taillis) a permis de mieux comprendre l'influence spatio-temporelle du chêne vert sur la redistribution des eaux de précipitation et sa capacité à enrichir le sol en éléments minéraux.

Les résultats relatifs aux précipitations ont montré que les précipitations journalières sont majoritairement inférieures à 4 mm. La quantité des précipitations annuelles enregistrées a été comprise entre 224 et 548 mm réparties sur 84 à 135 jours.

La proportion des pluies qui atteint le sol par égouttement est souvent faible et varie d'une année à l'autre et d'un mois à l'autre. Elle se situe en moyenne entre 57.5 et 66.3 % des précipitations totales, cumulées, sur un minimum de 52 et un maximum de 85 jours/an.

La fraction des pluies qui arrive à sol par écoulement ne représente que 5.54 à 7.13 % des précipitations totales, distribuée sur une période ne dépassant pas 27 jours/an. Cette quantité d'eaux très faible qui arrivent au sol proche des troncs d'arbres, pourrait expliquer en partie la faible productivité du chêne vert dans les Aurès.

L'interception des pluies mesurée est assez élevée et représente 26.7 à 40.2 % des précipitations totales enregistrée.

La variation de l'égouttement, l'écoulement et l'interception est importante dans le temps, en particulier entre les mois. Elle est largement tributaire de l'importance des précipitations journalières incidentes.

L'étude de la relation entre les différents paramètres mesurés, ont révélé de fortes corrélations positives entre les pluies incidentes et les taux d'égouttement et d'écoulement. En revanche, l'interception est corrélée négativement avec les précipitations.

Les mois qui ont connu les faibles précipitations (juillet et août en général), ont été caractérisés par des taux d'écoulement et d'égouttement les plus faibles et des taux d'interception les plus élevés.

Les modèles décrits sous forme d'équations, peuvent servir pour prédire la quantité des eaux qui vont arriver au sol forestier, soit par égouttement, soit par écoulement dans les chênaies de chêne vert des Aurès.

L'étude de la relation qui existe, d'une part, entre les précipitations et l'égouttement et d'autre part entre les précipitations et l'écoulement a révélé que les chênaies des Aurès doivent recevoir des chutes de pluie avoisinant 1 à 2 mm et 3 à 5 mm pour déclencher respectivement l'égouttement et l'écoulement.

L'étude des retombées biologiques et l'évaluation de leurs apports en éléments biogènes N, P et K dans deux chênaies à chêne vert a permis de tirer plusieurs informations relatives à leur fonctionnement :

Les retombées solides (litières) fournissent au sol forestier des quantités allant de 0.4 à 1.5 tonnes / ha de matière sèche, composée essentiellement par les feuilles, les inflorescences et les glands de chêne vert. Cet apport de matière organique se produit dans sa majorité au printemps et en automne. La chênaie de Larbaa produit relativement plus de litière que celle du Marconna.

Les faibles volumes d'eau d'égouttement qui arrivent au sol forestier induisent une faible productivité des chênaies, qui se répercute elle-même sur la quantité de litières qui retournent annuellement au sol.

Les apports moyens d'éléments nutritifs (NPK), par précipitations, varient de 6.4 à 8.4 Kg / ha / an.

Les flux de pluviolessivats (égouttement) pour l'ensemble des chênaies sont plus faibles que les apports hors couverts notamment pour l'azote. L'apport de NPK par l'intermédiaire des retombées liquides (précipitations et égouttement) est faible par rapport à celui de la litière qui assure entre 68 et 80.1 % de la minéralomasse totale restituée au sol. Les pluviolessivats (égouttements) contribuent pour 8 à 13.7 % dans la reconstitution des éléments minéraux du sol.

Dans la minéralomasse totale accumulée dans les deux chênaies (Larbaa et Marconna), l'élément azote est de loin le plus dominant (Plus de 64 % de la minéralomasse totale des deux chênaies).

En perspectives il serait intéressant de :

- Poursuivre les travaux sur d'autres espèces, notamment le pin d'Alep et chêne liège.
- Rechercher des essences xérophiiles susceptibles d'assurer un égouttement et un écoulement efficaces des précipitations, car ces qualités sont recherchées pour les reboisements, surtout qu'on prévoit une augmentation des températures et une baisse des précipitations, résultant du changement climatique.

- Elargir la zone de recherche permettant de construire des modèles pour les différentes zones climatiques en Algérie.
- Etablir le bilan des éléments nutritifs notamment pour les essences les plus importantes en Algérie.
- Pour les retombées de litières, il serait intéressant de mener des recherches sur la vitesse et les mécanismes de sa décomposition, en vue d'une meilleure maîtrise des processus de conservation de la fertilité des sols des chênaies dans les Aurès.

- Abdessemed K. (1981): Le Cèdre de l'Atlas dans les massifs de l'Aurès et du Belezma. Étude phytosociologique et problèmes de conservation et d'aménagement. *Thèse de docteur ingénieur*, Université de Droit d'Economie et des sciences d'Aix-Marseille (France), 199 p.
- Acherar M., Rambal S. et Lepart J. (1991): Évaluation du potentiel hydrique foliaire et de la conductance stomatique de quatre chênes méditerranéens lors d'une période de dessèchement. *Annales Sciences Forestières*, 48 (5) : 561-573.
- Achhal A. (1979): Le chêne vert dans le haut atlas central : étude phytoécologique. Problèmes posés par les aménagements de la chênaie. *Thèse de doctorat*, Univer. Sci. et tech. Aix Marseille faculté des sciences et techniques, 116 p.
- Achhal H. (1987): Etude phytosociologique et dendrométrie des écosystèmes forestiers du bassin versant du N'fis (haut atlas central). *Thèse Univ-Aix-Marseille III*. 188 p.
- Aguillaume L., Izquieta-Rojano S., García-Gómez H., Elustondo D., Santamaría J.M. Alonso R. A. et Avila A. (2017): Dry deposition and canopy uptake in Mediterranean holm-oak forests estimated with a canopy budget model: A focus on N estimations. *Atmospheric Environment*, 152: 191-200.
- Aissi M. (1991): Recherches sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers à Cèdre de l'Aurès (*Cedrus atlantica* Manetti). Contribution à l'étude des litières, de la Biomasse et la Minéralomasse souterraine dans deux stations (Belezma, S'gag). *Mémoire Ing.* I.N.E.S.Agro, Batna, 89 p.
- Akman Y., Barbero M. et Quezel P. (1979): Contribution à l'étude de la végétation forestière d'anatolie méditerranéenne. *Phytocoenologia* 5(1):1- 79, 5(2):189-276 et 5(3):277-346.
- Aldomany M. (2017): L'évaporation dans le bilan hydrologique des étangs du Centre-Ouest de la France (Brenne et Limousin). *Thèse de Doctorat de l'université d'Orléans en Géographie*, 333 p.
- Allen S.E., Carlisle A., White E.J. et Evanst C.C. (1968): The plant nutrient content of rain. *Water journal of ecology*, 56 (2), 497 -504
- Amri R. (2013): Estimation régionale de l'évapotranspiration sur la plaine de Kairouan (Tunisie) à partir de données satellites multi-capteurs. Instrumentations et Détecteurs [physics.ins-det]. *Thèse de Doctorat Université Paul Sabatier - Toulouse III*. (France), 176 p.
- Andréassian V. (2002): Impact de l'évolution du couvert forestier sur le comportement hydrologique des bassins versants tome 2 (annexes). *Thèse de doctorat de l'université paris 6*, p 294- 298.
- Arrus R. (1985): L'eau en Algérie. Office des Publications Universitaires (OPU) Alger.
- Attarod P., Sadeghi S.M.M., Pypker T.G., Bagheri H., Bagheri M. et Bayramzadeh V. (2015): Needle-leaved trees impacts on rainfall interception and canopy storage capacity in an arid environment. *New Forests*, 46: 339-355.

- Atteia O. et Dambrine E. (1993): Dynamique d'éléments traces dans les précipitations sous le couvert de 2 pessières peu polluées de Suisse romande. *Annales des sciences forestières*, 50 (5): 445-459.
- Augusto L., Turpault M.P. et Ranger J. (2000): Impact of forest tree species on feldspar weathering rates. *Geoderma*, 96: 215-237.
- Aussenac G. (1968): Interception des précipitations par le couvert forestier. *Annales des sciences Forestières*, 25(3): 135-156.
- Aussenac G. (1970): Action du couvert forestier sur la distribution au sol des précipitations. *Annales des Sciences Forestières*, 27(4): 383-399.
- Aussenac G. et Boulanget C. (1980): Interception des précipitations et évapotranspiration réelle dans des peuplements de feuillu (*Fagus silvatica* L.) et les résineux (*Pseudotsuga m enziesii* (Mirb) Franco). *Annales des Sciences Forestières*, 37(2): 91-107.
- Aussenac G. (1981): L'interception des Précipitations par les peuplements forestiers. *La Houille blanche*, 7(8) :531-536.
- Aussenac G. et Valette J.E. (1982): Comportement hydrique estival de *Cedrus atlantica* Manetti, *Quercus ilex* L. et *Quercus pubescens* Willd. et de divers pins dans le Mont Ventoux - *Annales Des Sciences Forestieres*, 39 (1) : 41 -62.
- Aussenac G. (2000): Interactions between forest stands and microclimate. Ecophysiological aspects and consequences for silviculture, *Ann. For. Sci.*, 57: 287– 201.
- Aussenac G., Granier A. et Breda N. (1995): Effets des modifications de la structure du couvert forestier sur le bilan hydrique, l'état hydrique des arbres et la croissance. *Revue Forestière. Française*. Xxvii – 1, 57 p.
- Badri w. (2003): Structure, Dynamique et Fonctionnement des peuplements à Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) dans les Atlas marocains. *Thèse de Doctorat université cadiayyad Faculte des sciences Semlalia – marrakech*, 297p.
- Bani A., Pioli S., Ventura M., Panzacchi L., P Borruso R., Tonon G. et Brusetti L. (2018): The role of microbial community in the decomposition of leaf litter and deadwood. *Applied Soil Ecology*. pp1- 10.
- Barba J., Lloret F. et Yuste J. C. (2015): Effects of drought-induced forest die-off on litter decomposition. *Plant Soil*. DOI 10.1007/s11104-015-2762-4.
- Barbero M. et Quezel P. (1979): Contribution a l'étude des groupements forestiers de chypre document phytosociologiques, 4(1) : 427-459.
- Barbaro M., Loisel R. et Quezel P. (1992): Biogeography, ecology and history of Mediterranean *Quercus ilex* ecosystems. *Vegetao* 99 -100: 19-34.
- Barbero M. et loisel R. (1980): Le chêne vert en région méditerranéenne. *Revue Forestière Française*. 32p.
- Bellot J. (1989): Analisis de los flujos de deposicion global, trascolacion, escorrentia cortical y deposicionseca seca en el encinar mediterraneo de L'Avic (Sierra de Prades, Tarragona). *Thèse de doctorat de l'université d'Alicante*, 284 p.

- Bellot J. et Escarre A. (1998): Stemflow and throughfall determination in resprouted Mediterranean holm-oak forest. *Annals of Forest Sciences*, 55: 847–865.
- Bellot J., Avila A. et Rodrigo A. (1999): Throughfall and Stemflow. In: Roda F., Retana J. et Gracia C.A. (eds.), *Ecology of Mediterranean evergreen oak forests*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg: pp209-222.
- Belkaid H. (2016): Analyse spatiale et environnementale du risque d'incendie de forêt en Algérie: Cas de la Kabylie maritime. *Thèse de doctorat en géographie*. Université de Nice Sophia Antipolis. 305 p.
- Benhizia T. (2010): Evaluation des apports des éléments biogènes par les retombées biologiques dans une chênaie et une pinède des Aurès. *Mémoire de magistère de l'université de Batna*, 103p.
- Benia F. (2010): Etude de la faune entomologique associée au chêne vert (*quercus ilex* l.) dans la forêt de tafat (Sétif, nord-est d'Algérie) et bio-écologie des espèces les plus représentatives. *Thèse de doctorat*, Université Ferhat abbas Setif. 250p.
- Berrichi M. (2011): Détermination des aptitudes technologiques du bois de quercus rotundifolia lamk et possibilités de valorisation. *Thèse de doctorat* Université aboubakre belkaid Tlemcen. 150p.
- Bethoux J.P. (1977): Les apports des bilans en chaleur, en eau et en sel à la compréhension de l'écosystème méditerranéen. Proc. 4th Colloq. Study and Management of Marine Systems Université Catholique de Louvain, Louvain la Neuve, Belgique, pp. 181-194.
- Bindzi P.M.A.M., Endanga D.G.H., Biye E.H. et Kono L.D. (2017): Variations spatio-temporelles de la chute de litière dans une forêt mixte secondaire mésophile du Cameroun. *World Wide Journal Of Multidisiplinary. Research And Development* 3(3) :10-17.
- Boisseau B. (1996): Écologie du pin pignon et du pin brutia : détermination d'un indice de fertilité fonction du milieu Rev. For. Fr. XLVIII - 4-1996 : 321-335.
- Bonin G. (2008) : 30 ans de recherche forestière en région méditerranéenne. *Forêt Méditerranéenne* 29(4): 431-444.
- Boudjadja A. (1995): *Comptes rendus des 2^e Journée Scientifique et Technique du Génie Rural*. Estimation empirique et expérimentale du transport solide dans la région Ouest du Côtier Algérois. Université de Blida, pp 22-28.
- Boudy P. (1950): Economie forestière Nord Africaine. Monographie et traitement des essences forestières. Tome 2. Edition. Larose, 299-372.
- Boudy P. (1952): Guide de Forestier en Afrique du Nord. Paris, Edit. Maison Rustique. 509p
- 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.
- Boulmane M., Halim.M., Khia A., Oubrahim H., Abbassi.H. et Amrani A. (2013): Biomasse, minéralomasse et éléments nutritifs retournant au sol dans le *Quercus Ilex*

- du Moyen Atlas Central Marocain. *Revue « Nature et Technologie » Sciences de l'Environnement*, n° 09 : 41 -53.
- Branson F.A., Gifford G.F., Renard K.G. et Hadley R.F. (1981): Rangeland Hydrology. Society of Range Management (2nd Edn), pp. 37–41. Dubuque: Kendall/Hunt Publishing Co., Iowa. 84 p.
- Brahmi D. (2014): Analyse spatio-temporelle des pluies en Algérie *Mémoire de Master*. Université Abou Bekr Belkaid Tlemcene, 63p.
- Brix H. (1979): Effects of plant water stress on photosynthesis and survival of four conifers. *Canadian Journal Of Forest Research*, 9(2):160-165.
- Browicz K., (1982): Chorology of trees and shrubs in South- West Asia. *Polish Acad of Sc. Warszawa*, 1: 1- 172.
- Bryant M.L., Bhat S. et Jacobs J.M. (2005): Measurements and modeling of throughfall variability for five forest communities in the southeastern US. *Journal of Hydrology*. 312(1-4): 95-108.
- Bussotti F., Borghini F., Celesti C., Leonzio C., Cozzi A Bettini D. et Ferretti M. (2003): Leaf shedding, crown condition and element return in two mixed holm oak forest in Tuscaany , central Italy . *Forest and Management* 176: 273-285.
- Canadell J., Riba, M. et Andres P. (1988): Biomass equations for *Quercus ilex* L. in the Montseny Massif, Northeastern Spain. *Forestry*, 61 (2) : 137-147.
- Carlisle A., Brown A.H.F. et White E.J. (1966): The organic matter and nutrient elements in the precipitation on beneath a sessile oak (*quercus petraea*) canopy. *Journal of Ecology* (54), 87-98.
- Carlyle-Moses D.E. et Price A.G. (1999): An evaluation of the Gash interception model in a northern hardwood stand. *J. Hydrol*, 214 (1-4), 103-110.
- Carlyle-Moses D.E., Laureano, J.S.F. et Price A.G. (2004): Throughfall and throughfall spatial variability in Madrean oak forest communities of northeastern Mexico. *Journal of Hydrology*. 297(1-4) :124-135.
- Carrega P. et Garcia E. (2000): Les fortes précipitations quotidiennes en Toscane et leur cartographie 0. Maheras P (edi.sc) publication de l'association internationale de climatologie, Acte du 13 e colloque cartographie des pluies, a fines échelle, Nice, 6-9.
- Chang S.C. et Matzner E. (2000). The effect of beech stemflow on spatial patterns of soil solution chemistry and seepage fluxes in a mixed beech-oak stand. *Hydrological processes*, 14: 135-144.
- Chappell N. A. I., Bidin K. et Tych W. (2001): Modelling rainfall and canopy controls on net-precipitation beneath selectively-logged tropical forest *Plant Ecology*, 153: 215–229.
- Chermat S., Djellouli Y. et Gharzouli R. (2013): Dynamique régressive de la végétation des Hautes Plaines sétifiennes : érosion de la diversité floristique du djebel Youssef (Algérie). *Revue d'Ecologie : La Terre et la Vie*. 68(1): 85-100.

- Chevalier G. (1996): Le chêne blanc et le chêne vert, essences truffières par excellence forêt méditerranéenne XVII, n° 3, 234-242.
- 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*, 11 (3): 307-314.
- Comin M.P., Escarre A., Gracia C.A., Liedo M.J., Rabella R., Savé R. et Terradas J. (1987): Water use by *Quercus ilex* in forests near Barcelona, Spain. In: Tenhunen J.D., Catarino F.M., Lange O.L. et Oechel W.C (eds.), Plant response to stress-functional analysis in Mediterranean ecosystems. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg: 259-266.
- Cosandey C. et Robinson M. (2000): Hydrologie Continentale. Ed. Arm. Colin, Paris, 360 p.
- Crabtree R.E. et Trudgill S.T. (1985): Hillslope hydrochemistry and stream response on wooded, permeable bedrock: the role of stemflow. *Journal of Hydrology*, 80: 161-178.
- Crockford R.H. et Richardson D.P. (1983): Some hydrological influences on vegetation. *CSIRO. Division Water Land Resources Technical Memorandum*, 18-83.
- Crockford R.H. et Richardson D.P. (1987): Factors affecting the stemflow yield of dry sclerophyll forest, a *Pinus radiata* plantation and individual trees within the forests. *CSIRO. Division Water Land Resources Technical Memorandum*, 11-87.
- Crockford R.H. et Richardson D.P. (1990): Partitioning of rainfall in a eucalypt forest and pine plantation in southeastern Australia. II. Stemflow and factors affecting stemflow in a dry sclerophyll eucalypt forest and a *Pinus radiata* plantation. *Hydrology Proceedings*, 4: 145-155.
- Cronan C.S. et Reiners W.A. (1983): Canopy processing of acidic precipitation by coniferous and hardwood forest in New England. *Oecologia*, 59: 216-223.
- Curt T. et Marsteau C. (1997): La gestion des taillis de chênes vert et pubescent dans les garrigues du Gard. Analyse du milieu et de la productivité des peuplements. *Ingénieries – EAT.N* : 11 - septembre 1997. pp71-84.
- Dahmani M. (1984): Contribution à l'étude des groupements à chêne vert des monts de Tlemcen (Ouest Algérien). Approche phytosociologiques et phyto-écologique. *Thèse Doctorat* .Univ. Houari, Alger, 238p.
- Dahmani M. (1997): Le chêne vert en Algérie: Syntaxonomie, Phytosociologie et dynamique des peuplements. Thèse de Doctorat. Es-Sc. Univ. Houari Boumediene. Alger, 383 p.
- Dahmani-Megrerouche M. (2002): Typologie et dynamique des chênaies vertes en Algérie. *Forêt Méditerranéenne*, 23(2): 117-132.
- Dannaoui S. (1981): Production de litière et restitution au sol d'éléments biogènes dans des peuplements méditerranéens de *Pinus pinea* L. et *Pinus brutia* Ten.. *Eco. medit.*, 2 (2): 13-25.
- Davie T. J. A. et Durocher M.G. (1997): A model to consider the spatial variability of Rainfall partitioning within deciduous canopy. Ii. Model parameterization and testing. *Hydrological Processes*, 11: 1525 - 1540.

- Dambrine, E., Pollier, B., Bonneau M. et Ignatova N. (1998): Use of artificial trees to assess dry deposition in spruce stands. *Atmospheric Environment*, 32:1817-1824.
- Daya A. (2006): Étude des contraintes de croissance des arbres sur pied d'eucalyptus grandis et du chêne vert caractérisation et valorisation sous forme de bois collé. Thèse de doctorat. Université paul verlaine de metz. 128p + annexes
- Deguchi A., Hattori S. et Park H.T. (2006): The influence of seasonal changes in canopy structure on interception loss: Application of the revised Gash model. *Journal of Hydrology* . 318: 80-102.
- De Lillis M. et Fontanella A. (1992): Comparative phenology and growth in different species of the Mediterranean maquis of central Italy *Quercus ilex L ecosystems function dynamic and management*,83-96.
- Derbal W., Zerizer A., Gérard J. et Guibal D. (2015): Caractérisation d'aboutages à entures multiples pour trois essences d'Algérie. *Bois et forêts des tropiques* n° 325 (3) 59-69
Bois aboutés en Algérie
- Dolman A.J. (1987). Summer and winter rainfall interception in an oak forest: Predictions with an analytical and a numerical model. *Journal of Hydrology* . 90: 1-9.
- Dommergues Y. et Mangenot F. (1970): Écologie microbienne du . Edit. Masson, Paris,769p.
- Duchesne L. (1999): Cycle biochimique des éléments nutritifs majeurs dans le bassin versant du lac Claire, Duchesnay, Québec . Mémoire de recherche. Université de Laval Canada,70p.
- Dumas D. (2009): Estimation de l'influence de la couverture forestière sur la pluie en montagne exemple du massif de chartreuse. *Revue Forestière Française*, 60(6): 711-726.
- Duvigneaud P. (1982): La synthèse écologique, Populations, communautés, Ecosystèmes Biosphère, Noosphère, 2^{ème} édition, Paris, 380 p.
- El Achi M. (2010): Évaluation des ressources forestières mondiales: Rapport national Algérie. FAO, Rome, 57 p.
- Edwards W., Liddell M J., Franks P., Nichols C. et Laurance S.G. W. (2017): Seasonal patterns in rainforest litterfall: Detecting endogenous and environmental influences from long-term sampling. *Austral Ecology* (2017):2-10.
- Emberger L. (1938): Les arbres au Maroc et comment les connaitre. Volume 1. Ed. Larousse, Paris, 314 p.
- Escudero A. (1985) : Efectos de arboles aislados sobre los propiedades quimicos del suelo. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 22 (2): 149-159.
- Escudero A., Garcia B., Gomez J.M., Luis E. (1985): The nutrient cycling in *Quercus rotundifolia* and *Quercus pyrenaica* ecosystems « dehesas » of Spain. *Oecol. Plant.*, 6(20): 73-86.

- Ettehad R. (1971): Recherche sur la dynamique et le bilan de l'eau des sols de deux écosystèmes méditerranéens à chêne vert. Thèse de doctorat, université de Montpellier, France, 125p.
- Fahey T.J., Hill M.O., Stevens P.A., Hornung M. et Rowland P. (1991): Nutrient accumulation in vegetation following conventional and whole-tree harvest of Sitka spruce plantations in North Wales. *Forestry*, 64: 271-288.
- Fanin N. (2012): Limitations nutritives des microorganismes décomposeurs du sol et de la litière en forêt tropicale de Guyane française. *Thèse de doctorat de l'Université des Sci. et Techniques du Languedoc- Montpellier II*, 324 p.
- Fathizadeh O., Attarod P., Pypker T.G, Darvishsefat A.A. et Zahedi Amiri G. (2013) : Seasonal variability of rainfall interception and canopy storage capacity measured under individual oak (*Quercus brantii*) trees in western Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 15: 175-188.
- Fernández M., Gil L. et Pardos J. A. (2000): Effects of water supply on gas exchange in *Pinus pinaster* Ait. provenances during their first growing season. *Ann. For. Sci.*, 57: 9-16.
- Floret C., Galan M.J., le-floch E. et Romane F. (1992): Dynamics of holm oak (*Quercus ilex*L.) coppices after clearcutting in southern France. *Veg*, 99 (100) : 97-105.
- Forgeard F. (1977): L'écosystème de lande dans la région de Paimpont. Etude du cycle de la matière organique et des éléments minéraux. Thèse Doctorat 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 pluviolésivats dans quelques landes Armoricales. *Bull.Eco*, t 10, 1, p.29- 41.
- Forgeard F., Gloaguen J.C. et Touffet J. (1980): Interception des précipitations et -hêtraie atlantique et dans quelques peuplements résineux en Bretagne. Laboratoire d'Ecologie végétale, Complexe scientifique de Beaulieu, 35042 Rennes Cedex. *Ann. Sci. Forest*, 37(1) : 53-71. p 57.
- Fritsch R. (1993) : Le séjour de Ia S.A.J.A. en Andalousie. *Plant. Mont.*, 165: 183-198.
- Gamisans J. (1976): La végétation des montagnes Corses. *Phytocoenologia* 3 : 425-498 et 4 : 35-179 et 317-432.
- Garcia-Rollan M. (1981): Claves de la Flora d'España, 1. – Madrid.
- Gash J.H.C. (1979): An analytical model of rainfall interception by forests. *Quarterly Journal.of Royal Meteorological Society* . 105(443): 43-55.
- Gash J.H.C., Lloyd C.R. et Lachoud G. (1995): Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. *Journal of Hydrology* . 170: 79-86.
- Gauquelin T., Formad F. et Badri W. (1992): Apport d'éléments minéraux aux sols par l'intermédiaire de la litière, des pluies et pluviolésivats dans un peuplement à genévrier thurifère (*Juniperus Thurifera*) du haut atlas occidental (Maroc). *Ann. Sci.For*, N°5, .49 p.

- Gaussen H., Debrach J. et Joly F. (1958): Précipitations annuelles. Atlas du Maroc, note expl. sect II, planche n°49, 36 p.
- Ghazavi G. (2008): Quantification spatiale et temporelle de l'impact d'une haie sur les différents termes du bilan hydrique. *Thèse doctorat* de ENSAR (Ecole Nationale supérieure d'agronomie de Rennes, 203 p.
- GIEC, (2014): Changements climatiques. Rapport de synthèse de GIEC, Suisse, 161 p.
- Girardet P. (1980): Chêne vert (*Quercus ilex*). Bull. Vulg. Ed.C.A.V.I.F. (Secrétariat d'état aux forêts et à la mise en valeur des terres).Alger, 6p.
- Gomez J.A., Giraldez J.V. et Fereres E. (2001): Rainfall interception by olive trees in relation to leaf area. *Agricultural Water Management*, 49 (1): 65–76.
- Gore A.J.P. (1968): The supply of six elements by nutrient to an upland peat area the *journal of ecology*.56: 483-495.
- Guerzoni S., Molinaroli E. et Chester R. (1997): Saharan dust inputs to the western Mediterranean Sea: Depositional patterns, geochemistry and sedimentological implications. *Deep-Sea Research Part II- Topical Studies in Oceanography*, 44: 631-654.
- Hall R.L. (1985): Further interception studies of heather using a wet- surface weighing lysimeter system. *journal of hydrology*, 81 (1-2), 193-2010.
- Haichour R. (2009): Stress thermique et limite écologique du chêne vert en Algérie. *Mem. Mag. Univ. Constantine*, 180p.
- Hasnaoui B., Bonin G. et Garzino S. (1996):Variation annuelle des taux des principaux nutriments dans les feuilles de *Quercus canariensis* et influence des différentes situations écologiques. *Ann.Sc.Forest.* 53,899-913.
- Heller R. (1969): Biologie végétale, Tome II. Nutrition et métabolisme. Edition. MASSON, 533 p.
- Herbst M., Rosier P.T.W., McNeil D.D., Richard J.H. et Gowing D.J. (2008): Seasonal variability of interception evaporation from the canopy of a mixed deciduous forest. *Agr. Forest Meteorol.* 148: 1655-1667.
- Holwerda F., Sctena F.N. et Brunjnzeel L.L. (2006): Throughfall in a Puerto Rican lower montane rain forest: A comparison of sampling strategies. *Journal of Hydrology*. 327: 592-602.
- Humbert J. et Najjar G. (1992): Influence de la forêt sur le cycle de l'eau en domaine tempéré. Une analyse de la littérature francophone. Thèse de l'université de Strasbourg, 88 p.
- Jackson N.A. (2000): Measured and modeled rainfall interception loss from an agroforestry system in Kenya. *Agricultural and Forest Meteorology* . 100(4): 323-336.
- Jérôme E., Pierre M. J. et Quentin P. (2016): Chute des litières et fertilité des sols sous plantations forestières dans le bassin du Congo : cas de la station I.N.E.R.A/Yangambi en R.D.C. *Journal of Animal and plant Science* : 31 (1): 4843-4861.

- Joly D. (2011): Variation spatiale des facteurs qui expliquent le volume des précipitations en France : analyse à échelle locale *Journées de Climatologie Lyon, 17-18 mars 2011 - Climat et société : Climat et eau 14-15 Lyon France*.
- Jonasson S, Castro J. et Michelsen A. (2006): Interactions between plants, litter and microbes in cycling of nitrogen and phosphorus in the arctic. *Soil Biology and Biochemistry*, 38: 526–532.
- 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 de Doctorat, université de Nancy 1*, 308p.
- Kabakibi M. (1992): Étude de la communauté frondicole des Arthropodes du chêne sclérophylle *Quercus calliprenus* de la Syrie, 10p.
- Keim R.F. et Skaugset A.E. (2003): Modelling effects of forest canopies on slope stability. *Hydrol. Proc*, 17:1457–1467.
- Khater N. (2010): *Contribution à l'étude de la production d'un taillis de chêne vert dans une séquence dégradée : cas de Tallis de Marconna (Batna)*. Mémoire de magistère de l'université de Batna, 72 p.
- Kummerov J., Montenegro G. et Krause D. (1981): Biomass, Phenology, and Growth. Resource Use of Chaparral and Matorral, *Ecological Studies* 39, Springer-Verlag, New York Heidelberg Berlin, 69-96.
- Laala A. et Alatou D. (2016): Analyse de la dynamique des massifs forestiers de l'Est algérien par la télédétection satellitaire. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. Vol. 17 N°3 Août 2016, pp954-964. Innovative Space of Scientific Research Journals <http://www.ijias.issr-journals.org/>.
- Lacoste A. et Salanon R. (2005): Elements de biogeographie et d'écologie, in : collin A. (Ed.), France, pp320.
- Laib N. (1991): Recherches sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers à Cèdre de l'Aurès (*Cedrus atlantica* Manetti). Contribution à l'étude du pluviollessivage par egoutement et des apports par les pluies dans deux station Theneit Elcantos Belezma et Sgag Mémoire Ing. I.N.E.S.Agro, Batna, 49 p.
- Lanier L., Joly P. et Bellemer A. (1976): Mycologie et Pathologie forestière. Ed. Masson. Paris, New York, 465p.
- Lavabre J. et Andréassian V. (1970): Eaux et forêts: la forêt, un outil de gestion des eaux-cycle d'eau en forêt .OPCF-RRL-AOCN. Edition Quae -28/11/1970. p 53-55.
- Lebourgeois F. (2010): Cours de bioclimatologie à l'usage des forestiers. Chapitre 3 Microclimat et couverts forestiers - Département SIAFEE UFR Forêts, Arbres et Milieux Naturels naturels - Laboratoire d'étude des ressources forêt-bois. Unité mixte de recherches intra-engref 1092. Equipe écologie forestière ENGREF.
- Lebreton P., Barbéro M. et Quézel P. (2001): Contribution morphométrique et biochimique à la structuration et à la systématique du complexe. Fritsch, (1993) - in "Le séjour de la S.A.J.A. en Andalousie". *Plant. Mont.*, W 1 65 : 288. spécifique Chêne vert *Quercus*

- ilex* L., Acta Botanica Gallica, 148:4, 289-317, DOI: 10.1080/12538078.2001.10515917. To link to this article. Disponible sur: <https://doi.org/10.1080/12538078.2001.10515917>, Consulté le 20/04/2017.
- Le cœur C., Amat J. P., Dorize L. et Gautier E. (1996): Eléments de géographie physique. Coll. Grand Amphi. Breal: 416p.
- Le Gall. (2004): Effets des dépôts atmosphériques de soufre et d'azote sur les sols et les eaux douces en France *Unité de modélisation et analyse économique pour la gestion des risques Direction des risques chroniques, INERIS* Ministère de l'Écologie et du Développement Durable pp112.
- Legorgeu C. (2013): Amélioration des estimations quantitatives des précipitations à hautes résolutions : Comparaison de deux techniques combinant les observations et Application a la vérification spatiale des modèles météorologiques. *Thèse de doctorat. Université Clermont II – Blaise Pascal* .p 15 et 16.
- Legout A. (2008): Cycles biogéochimiques et bilans de fertilité minérale en hêtraies de plaine. *Thèse de doctorat* l'ENGREF (institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement), 284 p.
- Lemee G. (1982): Recherche sur les écosystèmes des réserves biologiques du forêt de Fontainebleau.VIII- Eléments du bilan de l'azote du sol. *Rev. Ecol. Bio. Sol.*, 19 (4) : 485-499.
- Lempereur M., Limousin J.M., Guibal F., Ourcival J.M., Rambal S., Ruffault J. et Mouillot F. (2017): Recent climate hiatus revealed dual control by temperature and drought on the stem growth of Mediterranean *Quercus ilex*. *Global Change Biology*. 23: 42-55.
- Leonardi S. et Rapp M. (1981): Retour au sol d'éléments minéraux et d'azote par l'intermédiaire des litières dans un écosystème a *Quercus ilex* L. du monte minardo (Etna) (1) *Flora* (1981) 171, pp329-337.
- Lequy E. (2012): Dépôts atmosphériques particuliers sur les écosystèmes forestiers de la moitié nord de la France : influence sur les cycles biogéochimiques. *Thèse de doctorat* Université de Lorraine. 199p.
- Le Tacon F. et Toutain F. (1973): Variations saisonnières et situationnelles de la teneur en éléments minéraux des feuilles de hêtre (*Fagus sylvatica*) dans l'Est de la France *Annales des sciences forestières*, 30 (1):1-29.
- Letreuch-Belarouci N. (1991): Les reboisements en Algérie et leurs perspectives d'avenir. Vols.1-2.O.P.U, Alger. 641p.
- Letreuch-Belarouci N. (1995): Réflexion autour du développement forestier : les zones potentielles de productions. Les objectifs. *OPU*. Alger 69 p.
- Levia D.F.J. et Frost E.E. (2003): A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. *Journal of Hydrology* 274,1-29.
- Lieutaghi P. (2004): le livre des arbres, arbustes et arbrisseaux – (rééd.1969), Arles : actes sud 1400 p.

- Limousin J.M. (2006). Interception de la pluie par un couvert forestier de chêne vert application au cas d'un dispositif d'exclusion de pluie. *Mémoire de fin d'études d'agronomie approfondie*. Ecole nationale supérieure d'agronomie Montpellier. p55.
- Limousin J.M., Rambal S., Ourcival J.M. et Richard J. (2008): Modelling rainfall interception in a Mediterranean *Quercus ilex* ecosystem: Lesson from a throughfall exclusion experiment. *Journal of Hydrology* .357: 57-66.
- Limousin J.M. (2009): Vulnérabilité du chêne vert (*quercus ilex* l.) A une augmentation de la sécheresse : Quels ajustements fonctionnels ?. *Thèse de Doctorat*. Montpellier SupAgro Centre International d'Etudes Supérieures en Sciences Agronomiques. 250 p.
- Linhoss A.C. et Siegert C.M. (2016): A comparison of five forest interception models using global sensitivity and uncertainty analysis. *Journal of Hydrology*. 538: 109-116.
- Liu D., Ogaya R.A., Abarbeta A., Yang X. et Nuelas J. (2015): Contrasting impacts of continuous moderate drought and episodic severe droughts on the aboveground-biomass increment and litterfall of three coexisting Mediterranean woody species. *Glob Change Biology* 21: 4196–4209, doi: 10.1111/gcb.13029.
- Livesley S. J., Baudinette, B., et Glover D. (2014): Rainfall interception and stem flow by eucalypt street trees–The impacts of canopy density and bark type. *Urban forestry & urban greening*, 13(1), 192-197.
- Llorens P. et Domingo F. (2007): Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. *Journal of Hydrology*. 335: 37-54.
- Louni D. (1994): Les forêts algériennes. *Forêt méditerranéenne*, 15 (1): 59-63.
- Loye – Pilot M.D., Martin J.M. (1996): Saharan dust input to the western Mediterranean: an eleven years record in Corsica. In: Guerzoni, S., Chester, R. (Eds.), *The Impact of African Dust Across the Mediterranean*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, pp. 191-199.
- Marques R. (1996): Dynamique du fonctionnement minérale d'une plantation de Daouglas (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) dans les monts du Beaujolais (France). *Thèse de doctorat*, Nancy1, 240 p.
- Madjidieh H. (1982): Contribution à l'étude taxonomique du chêne vert (*Quercus ilex* L.) dans le Sud Ouest de la France. *Thèse. Doc.*, Univ. Aix- Marseille III : 1-9 + annexes.
- Maire R. (1926): Carte phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie. Gouvernement General d'Algérie. Services des cartes Alger. 78p.
- Makhloufi M., Boulmane M., Saint-André L., Bouillet J.P., Abourouh M., Ezzahiri M., Belghazi B. et El Harchaoui H. (2008): Tarifs de cubage, modélisation de la biomasse des taillis du chêne vert du Moyen Atlas : cas des iliçaises de Taffechna et Reggada. *Annales de la Recherche Forestière, Maroc*, Tome 40 : pp123-135.
- Maley M. et Parker W. (1993): Phenology variation in cone and needle characters of *Pinus banksiana*. *Can. J. Bot.*, 71: 43-51.
- Mangenot F. (1980): Les litières forestières signification écologique et pédologique R.F.F. xxxii - 4-1980, pp 339-355.

- Mangenot F. et Toutain F. (1980): Les litières en actualité d'écologie forestière, Pessan .Edit. Gautier –Villard. Paris. pp 3-59.
- Martin A., Gallardo J.F. et Santa Regina I. (1996): Aboveground litter production and bioelement potential return in an evergreen oak (*Quercus rotundifolia*) woodland near Salamanca (Spain). *Annales des sciences forestières* 53(4),pp.811-818.
- Marin C.T, Bouten W. et Sevink J. (2000): Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia. *Journal of Hydrology* 237: pp 40–57.
- Mateos B. (2001): Interceptacion de las precipitaciones por la encina (*Quercus rotundifolia* Lam.) en espacios adhesados: Cuenca experimental de Guadalperalo'n, Ca'ceres, Universidad de Extremadura, Ca'ceres, 197pp.
- Matias L., Castro J. et Zamora R. (2011): Soil-nutrient availability under a global-change scenario in a Mediterranean mountain ecosystem. *Global Change Biology* 17, pp 1646–1657.
- Masson B. (1966): Principles of geochemistry. 3rd. Ed. Wilees: 329p.
- Meddi M. et Toumi S. (2013): Study of the interannual rainfall variability in northern Algeria. *Revue Scientifique et Technique* 23: 40-59.
- Meharzi. M K. (2010): Forêts, gécosystèmes et dynamique du milieu :le cas de l'Aurès. *Thèse de Doctorat*. Université des frères Mentouri Constantine, 258p.
- Mesfek F. (2014): Etude écologique et taxonomique des champignons forestiers et morphologie des ectomycorhizes du chêne vert dans la wilaya Relizane. *Mémoire de magister* Université d' Oran. 132p.
- Miglioretti F (1987) : Contribution à l' étude de la production des taillis de chêne vert en fort de la Gardiole de Rians (var) annales sciences forestières, 44 (2) : 227-242.
- Migon C., Montegut G. C., Élegant L. et Morelli J. (1989): Étude de l'apport atmosphérique en sels nutritifs au milieu côtier méditerranéen et implications biogéochimiques. *Oceanologica Acta*, 12 (2) : 187-192.
- Miller E. C. (1938): Plant Physiology. McGraw-Hill Book Company, New York. In:
- Mosello R., Brizzio M.C., Kotzias D., Marchetto A., Rembges D. et Tartari G. (2002): The chemistry of atmospheric deposition in Italy in the framework of the National Programme for Forest Ecosystems Control (CONECOFOR). *Journal of Limnology*, 61 (1), pp77–92.
- Musy A. (2005): Cours d'Hydrologie générale (chapitre 3: précipitation). Laboratoire d'Hydrologie et Aménagements (HYDRAM). Institut des Sciences et Technologies de l'Environnement (ISTE). Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL).
Disponible sur : <http://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre3/main.html>, consulté le 24/04/2017
- Muzylo A., Llorens P., Valent F., Keizer J.J., Domingo F. et Gash J.H.C. (2009): A review of rainfall interception modeling. *Journal of Hydrology*. 370: 191-206.

- Nadelhoffer K.J., Giblin A.E., Shaver G.R. et Laundre J.A. (1991): Effects of temperature and substrate quality on element mineralization in six arctic soils. *Ecology*, 72 : 242–253.
- Nasrallah Y. (2014): Caractérisation de la variable morphologique de 21 provenances algériennes de chêne vert, évolution de leur adaptation écologique dans la région semi-aride de Saida. *Thèse de doctorat*, Ecole nationale supérieure d'Agronomie el Harrach. 252p.
- Navar J., Charles F. et Jurado E. (1999): Spatial variations of interception loss components by *Tamaulipan thornscrub* in northeastern Mexico. *Forest Ecology and Management* . 124(2-3): 231-239.
- Ndour N. Sambou B. et Dieng D.S. (2013): Production de litière de la mangrove du Parc National du Delta du Saloum (Sénégal) *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 7(6): 2349-2369.
- Nedjraoui D. et Bédrani S. (2008): La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte. *Vertigo*. La revue électronique en sciences de l'environnement, Vol. 8, (1) Avril 2008, mis en ligne le 01 avril 2008, consulté le 13 novembre 2018. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/5375> ; DOI : 10.4000/vertigo.5375.
- Nihlgard B. (1970): Precipitation, its chemical composition and effect on soil water in a beech and a spruce forest in South Sweden. *Oikos* , 21: 208-217.
- Nys C. (1987). Fonctionnement du sol d'un écosystème forestier : étude des modifications dues à la substitution d'une plantation d'épicéa commun (*Picea abies*) à une forêt feuillue mélangée des ardennes. *Thèse. Doct. Université de Nancy I*, 208 p.
- Olsson B.A., Bengtsson, J. and Lundkvist H. (1996): Effects of different forest harvest intensities on the pools of exchangeable cations in coniferous forest soils. *Forest Ecology and Management*, 84: 135-147.
- 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 (grès barrémien) des monts de B ELZMA. *Mém. Ing. I.N.E.S.A de Batna*, 67p.
- Ozenda P. (1966): Perspectives nouvelles pour l'étude phytogéographique des Alpes du Sud. - Doc. Carte Vég. Alpes, XY, 198 p.
- Pereira F.L., Gash J.H.C., David J.S., David T.S., Monteiro P.R. et Valente F. (2009): Modelling interception loss from evergreen oak Mediterranean savannas: Application of a tree-based Modeling approach. *Agricultural and Forest Meteorology*. 149: 680-688.
- Petit F. et Kalombo K. (1984): Interception des pluies par différents couverts forestiers. *Bulletin de la Société Géographique de Liège* 20: 99-127.
- Ponette Q., Ulrich E., Brethes A., Bonneau M., et Lanier M. (1997): RENECOFOR - Chimie des sols dans les 102 peuplements du réseau, Office National des Forêts, Département des recherches techniques. ISBN 2-84207-100-X.

- Pytker T.G., Bond B.J., Link T.E., Marks, D. et Unsworth M.H. (2005): The importance of canopy structure in controlling the interception loss of rainfall: Examples from a young and an oldgrowth Douglas-fir forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 130 (1-2) :113-129
- Quezel P. (1976): Forêts et maquis méditerranéens: Ecologie, conservation et aménagement. Ed. UNESCO, 84 p,
- Quezel P. (1980): Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen, In PESSON : Actualités d'Ecologie Forestière, Bordas Edit., Paris : 205-256.
- Ragsdale H.C., Lindberg S.E., Lovett G. M. et Schaefer D.A. (1992): Atmospheric deposition and throughfall fluxes of base cations. In *Atmospheric Deposition and Forest Nutrient Cycling*. Eds. D W Johnson and S E Lindberg. *Ecol. Studies*, 91: 193-243
- Rameau J.C., Mansion D. et Dumé G. (1989): *Flore forestière française. Guide écologique illustré*. Dijon-Quetigny : Institut pour le développement forestier. Plaines et collines, n°1. ISBN 2-904740-16-3.
- Ranger J., Barneoud C. et Nys C. (1988): Production ligneuse et rétention d'éléments nutritifs dans les taillis à courte rotation de peuplier « Rochester » : effet de la densité d'ensouchement. *Acta Oecol. Plant*, 9 : 245-269.
- Ranger J., Colin-Belgrand M. et Nys C. (1995): Le cycle biogéochimique des éléments majeurs dans les écosystèmes forestiers. *Étude et Gestion des Sols*, 2 : 119-134.
- Ranger J., Badeau V., Dambrine E., Dupouey J.L., Nys C., Party J. P., Turpault M. P. et Ulrich E., (2000): Évolution constatée des sols forestiers au cours des dernières décennies. *Rev. for. fr.*, 49 - 70.
- Ranger J., Gerard F., Lindemainn M., Gelhaye D. et Gelhaye L. (2003): Dynamics of litter fall in a chronosequence of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* France) stands in the Beaujolais monts (France), *Ann. For. Sci.*, 60: 475-578.
- Rapp M. (1969): Production de litière et apport au sol d'éléments minéraux dans les écosystèmes méditerranéens : La forêt de *Quercus ilex* L. et la garrigue de *Quercus coccifera* L. *Oecologia. Plantarum*, 4 : 377- 410.
- Rapp M. et Romane F. (1968): Contribution à l'étude du bilan de l'eau dans les écosystèmes méditerranéens: Egouttement des précipitations sous des peuplements de *Quercus ilex* L. et de *Pinus halepensis* Mill. *Oecologia. Plantarum*. 3: 271-284.
- 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. (1975): Le cycle biogéochimique dans un bois de Pin d'Alep. *Ecologie forestière*. Ed. Gauthier Villard, 75-79.
- Rapp M. (1984)., The monthly cycling of nutrients in a stand of *Pinus pinea* L. *Dép. Ecol. Et Env. Res.*, 13: 261-291.

- Reich P. B., Walters M. B., Tjoelker M. G., Vanderklin D. et Buschea C. (1998): Photosynthesis and respiration rates depend on leaf and root morphology and nitrogen concentration in nine boreal tree species differing in relative growth rate. *Funct. Ecol.*, 12: 395-403.
- Rhanem M. (2010): Etude climatique en moyenne montagne méditerranéenne: le cas de la localité de Midelt dans le haut bassin versant de la moulouya (Maroc) pour des fins bioécologiques. *Quad. Bot. Amb. Appl.*, 21 (2010) .p. 165-187.
- Rinnan R., Michelsen A., Baath E. et Jonasson S. (2007): Fifteen years of climate change manipulations alter soil microbial communities in a subarctic heath ecosystem. *Global Change Biology*, 13: 28–39.
- Rivas-Martinez S. (1975): La végétation de la classe *Quercetea ilicis* en Espagne y Portugal. *Ann.Inst. Bot. Cavanilles*, 31(2): 205-259.
- Rodrigo A. et Avila A. (2001) : Influence of sampling size in the estimation of mean throughfall in two Mediterranean holm oak forests. *Journal of Hydrology*. 243(3-4): 216-227.
- Rodrigo A., Avila A. et Roda F. (2003): The chemistry of precipitation, throughfall and stemflow in two holm oak (*Quercus ilex* L.) forests under a contrasted pollution environment in NE Spain. *The Science of the total Environment*: 305 195–205.
- Sadeghi S.M.M., Attarod P., et Pypker T.G. (2015a): Differences in rainfall interception during the growing and non-growing seasons in a *Fraxinus rotundifolia* Mill. plantation located in a semiarid climate. *Journal of Agricultural Science and Technology* . 17: 145-156.
- Sadeghi S.M.M., Attarod P., Van Stan J.T., Pypker T.G. et Dunkerley D. (2015 b): Efficiency of the reformulated Gash's interception model in semiarid afforestations. *Agricultural and Forest Meteorology*. 20: 76-85.
- Sadeghi S.M.M., Attarod P., Van Stan J.T., et Pypker T.G. (2016): The importance of considering rainfall partitioning in afforestation initiatives in semiarid climates: A comparison of common planted tree species in Tehran, Iran. *Science of the Total Environment* . 568: 845-855.
- Santa Régina I. et Gallardo J.F. (1989): Biogeochemical cycles in forests of the Sierra de Béjar (Salamanca, Spain). Return of bio-elements in rainfall. *Oecol. Plant*. 10 (4): 433-438.
- Santa Régina I. (2000): Biomass estimation and nutrient pools in four *Quercus pyrenaica* in Sierra de Gata Mountains, Salamanca, Spain. *For. Ecol. Manag.*, 132 : 127-141.
- Sauvage Ch. (1961): Recherches géobotaniques sur les subéraies marocaines. Trav. Inst. Sci. Chérifien, Rabat, sér. botanique, 21: 462 p.
- Savenije H.H.G. (2004): The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary. *Hydrol. Proc.* 18, 1507–1511.

- Schellekens J., Scatena F.N., Bruijnzeel L.A. et Wickel A.J. (1999): Modelling rainfall interception by a lowland tropical rain forest in northeastern Puerto Rico. *Journal of Hydrology* . 225(3-4): 168-184.
- Schwarz O. (1964): *Quercus L.* In : Tutin T.G., Heywood V.H., Burger N.A., Valentine D.H., Walters S.M. et Webb D.A. (eds.), *Flora europaea, Vol. I.* 1st edn. Cambridge: Cambridge University Press, 61-64.
- Shuttleworth W.J. (1977): The exchange of wind-driven fog and mist between vegetation and the atmosphere. *Boundary-layer Meteorology* ,12 (4) : 463-489.
- Siegert C.M., et Levia D.F. (2014): Seasonal and meteorological effects on differential stemflow funneling ratios for two deciduous tree species. *Journal of hydrology*, 519, 446- 454.
- Seigue A. (1985): La forêt circum-méditerranéenne et ses problèmes. Techniques agricoles et productions méditerranéennes. G.-P. Ed. Maisonneuve et Larose. 502 p.
- Smadhi D. (2011) : Régionalisation et modélisation agro climatique en céréaliculture pluviale: Cas du nord d'Algérie. *Thèse de doctorat de l'École nationale supérieure d'agronomie d'Algérie*, 180 p.
- Somon E. (1987): Arbres, Arbustes et Arbrisseaux d'Algérie. Ed. O.P.U, 143p.
- Souidi Z., Larbi H., Hamimed A. et Kattar S. (2014): Adaptation des formations de chêne liège (*Quercus suber*) de l'Algérie occidentale tellienne face aux changements climatiques *Integrated Protection in Oak Forests IOBC-WPRS Bulletin* Vol. 101, 2014 pp. 1-9
- Sraj M., Brilly M. et Mikos M. (2008): Rainfall interception by tow deciduous Mediterranean forests contrasting stature in Slovenia. *Agricultural and Forest Meteorology*. 148: 121-134.
- Staelens J, De Schrijver A, Verheyen K, and Verhoest N.E.C. (2008): Rainfall partitioning into throughfall, stemflow, and interception within a single beech (*Fagus sylvatica L.*) canopy: influence of foliation, rain event characteristics, and meteorology. *Hydrological Processes* 22: pp33–45.
- Susmel L., Viola F. et Bassato G. (1976): Ecologia della Lecceeta del Supramonte de Orgosolo (Sardegna Centro- orientale). *Annali del Centro di Economia Montana delle Venezie*, 10 :1-216.
- Tadrist N., Debauche O., Remini B., Xanthoulis D. (2016): Impact de l'érosion sur l'envasement des barrages, la recharge des nappes phréatiques côtières et les intrusions marines dans la zone semi-aride méditerranéenne : cas du barrage de Boukourdane (Algérie). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 20(4), 453-467
- Teibi M. (1992): Contribution à l'étude de l'estimation de biomasse aérienne d'un taillis de chêne vert et de deux genévriers : Genévrier oxycède, et genévrier de Phénicie. *Mémoire d'ingénieur* de l'Institut national des études supérieures agronomiques de Batna, 92 p.

- Teixeira Filho J. (1995): Analyse et modélisation du fonctionnement hydrique d'un écosystème forestier méditerranéen : Spatialisation à l'échelle du bassin versant. *Thèse de doctorat de l'université de Montpellier II*, 312 p.
- 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.
- Toutain F. (1981): Les humus forestiers structure et mode de fonctionnement *Revue. For.Fr.*, 449-463.
- Trabaud L. et Methy M. (1994): Tolérance aux stress thermiques des feuilles et aire de répartition de *Quercus ilex* - *Ecologia Mediterranea*, Tome XX, fasc. 1 , 2, 1994 :77-85
- Trichet P., Jolivet C., Arrouays D., Loustau D., Bert D. et Ranger J. (1999): Le maintien de la fertilité des sols forestiers landais dans le cadre de la sylviculture intensive du pin maritime. *Etude et gestion des sols*, 6 (4) : 197-214.
- Tromble J.M. (1987): Water interception by two arid land shrubs. *Journal of Arid Environments*,15: 65–70.
- Tsiko C.T., Makurira H., Gerrits A.M.J. et Savenije H.H.G. (2012): Measuring forest floorand canopy interception in a savannah ecosystem. *Physics and Chemistry of the Earth*, 47-48,122–127.
- Tutin T.G., Burges N.A., Chater A.O., Edmondson J.R., Heywood V.H., Moore D.M., Valentine D.H., Walters S.M. et Webb D.A. (1993): *Flora Europaea*. Vol.1. 2nd. Cambridge. Cambridge University Press.
- Ulrich E., et Bonneau M. (1994): La santé des forêts (France) en 1993. Ministère de l'agriculture et de la pêche (DERF, département de la Santé des Forêts), Paris, France. 120 p.
- Uriarte M. Turner, B, Thompson J, And Zimmerman J. (2015): Linking spatial patterns of leaf litterfall and soil nutrients in a tropical forest: a neighborhood approach. *Ecological Applications*, 25(7), pp. 2022–2034.
- Van Elewijck L. (1989): Influence of leaf and branch slope on stemflow amount. *Catena*, 16: 525–533
- Van Stan J.T., Gutmann E.D., Lewis E.S. et Gay T.E. (2016): Modeling rainfall interception loss for an epiphyte-laden *Quercus virginiana* forest using reformulated static- and variable-storage Gash analytical models. *Journal of Hydrometeorology* . 17: 1985-1997.
- Vernet J.L. (1973): Étude sur l'histoire de la végétation du Sud-est de la France au Quaternaire d'après les charbons de bois principalement. *Paléobiologie continentale*, Montpellier, 4 (1) : 93 p.
- Vialard-Goudou A. et Richard C. (1956): Etude pluviométrique, physico-chimique et économique des eaux de pluie à Saigon (1950-1954). *Agronomie Tropicale* 11(1): 78-92.

- Viers G. (1968): La carte du relief glaciaire des Pyrénées. Feuille de mont-louis au 50 000e (article. Pyrénées Orientales), 429-434.
- Villecourt P. et Roose E. (1978): Charge en azotes et en éléments minéraux majeurs des eaux de pluies et de pluviolésivage et de drainage dans la savane du lamot (Cote d'Ivoire). *Rev. Ecol.Biol.Sol.* 15(1), 1-20.
- Veen A.L. et Dolman A.J. (1989): Water dynamic of forest, one - dimensional modelling. *prog physic Geography*, 13:471-506.
- Xiao Q., McPherson E.G., Ustin S.L., Grismer M.E. et Simpson J.R. (2000): Winter rain-fall interception by two mature open-grown trees in Davis. *California Hydrological Processes* . 14, 763–784.
- Yanai R.D. (1998): The effect of whole-tree harvest on phosphorus cycling in the northern hardwood forest. *Forest Ecology and Management*, 104: 281-295.
- Zhang S.H. et Romaine F. (1991):Variation de la croissance radiale de *Quercus ilex* L en fonction du climat. *Annales sciences forestière*, 48 : 225-234.
- Zhang J.L., Li Q., Ying Y., Peng C. et Song X. (2017): Effects of nitrogen deposition and management practices on leaf litterfall and N and P return in a *Moso bamboo forest* *Biogeochemistry*.134:115–124 DOI 10.1007/s10533-017-0349-2

Annexe 1:
Précipitation station Marconna

Année 2011

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	1,2	0,8	1	1,3	0,9	0,3	2	8,2	1,1	1,2							18
Fev	10,6	3	1,6	1,2	1,5	1,7	1	1,4	2,2	2	1,5	1,1	1	1,2	2	2,3	35,3
Mar	2,1	1,9	2,7	3,2	2,8	1	0,9	4,2	0,7	0,8	0,6	11,2	2,6	1,3			36
Avr	10	8,3	5	17,6	9,4	15,2	7,8	5,6	1,1								80
Mai	2	1,8	5	4	5	1,1	5,8	3,6	7	0,3	50,8	8,2	0,4				95
Juin	2,4	3,2	0,9	6	12,9	7,5	5,1										38
Juil	1	4,5	0,7	0,3	0,6												7,1
Aou	0,3	0,2	5,2														5,7
Sep	0,8	1,2	0,6	1,7	8	2,4	5	22,3									42
Oct	3,5	1,5	5,3	1,8	12	2,1	2	17,3	7	32,5							85
Nov	2,5	0,5	1,8	6	3												13,8
Dec	1	1,3	1	1,6	0,3	0,5	0,8	1,5	2	3,2							13,2

Annexe 2:
Précipitation station Marconna

Année 2012

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	2,1	1,6	2,5	2,5	2,1	3	3,3										17,1
Fev	2,6	5,6	4,2	1,2	0,9	1,2	1,5	1,7	2,4	2,3							23,6
Mar	1,2	1,5	2,6	0,8	0,6	2,5	1,2	2,7	3	0,6	0,5	19	4				40,2
Avr	6,1	5,2	4,7	11,2	7,3	2,1	1	1,2	0,9								39,7
Mai	2,5																2,5
Juin	0,5	0,4	0,3	2,7	0,3												4,2
Juil	1,7	1,1															2,8
Aou	2	2,1	2,9														7
Sep	20,7	1	0,9	0,5	0,3	0,4	0,7	0,6	0,5	0,4	2						28
Oct	1,3	0,9	1,8	1,9	1,2	12,2											19,3
Nov	1,7	2,5	2,1	2	2,5	2	1,2	1,4	3	7,4							25,8
Dec	1,7	2	2	2,2	0,3	1	4,5										13,7

Annexe 3:
Précipitation station Marconna

Année 2013

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	7	4,3	4,2	3,7	2,7	6,4	2,2	1,6	1,2	1,6	1,2	1,5	1,9	0,8	0,6		40,9
Fev	1,2	1,7	2	5,2	1,5	3,2	4,2	1,2	1,4	3,2	4,2						29
Mar	5,2	2,3	2,1	3,2	7,5	6,1	6	1	0,5	0,3							34,2
Avr	1	1,2	24,2	2	1,8	0,5											30,7
Mai	1	1	3,5	1													6,5
Juin	0,4	0,6	2,9	2													5,9
Juil	2	0,5	0,7	1,2													4,4
Aou	2,3	2,3	2,9														7,5
Sep	4,7	3,7	3,2	6,2	4,7	17,3	2										41,8
Oct	10,7	12,6	6,7	4,5	2,3	1,8	1,1	3,3									43
Nov	5,7	5,4	7	4,8	1,7	0,4											25
Dec	0,9	0,7	5,4	2,8	2,2	4,4	1,2	1,3	1,8								20,7

Annexe 4:
Précipitation station Hamla

Année 2011

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	1,8	1,3	0,7	0,9	1	0,5	0,3	0,2	9,8	2,1	1,4						20
Fev	13,5	2,4	2,5	3,3	0,8	2	1,4	2,1	1	2,2	4,6	2,9	3,5	1,6	3,2		47
Mar	4,9	5	3,3	2,1	3,2	5	12	2,7	1,4	1	1,2	1	1,1	0,8	0,6		45,3
Avr	13,5	10	14	30,4	3,2	2,8	3,4	5	2,8	1,9							87
Mai	3,9	3,5	2,7	1,3	0,9	1,5	3,6	0,8	4,2	70,2	1,8	2,4	1,6	3,2	0,9	0,7	103
Juin	5	4,2	3,3	1,9	3,2	2,5	12	3	2,4	2,5							40
Juil	1,3	0,3	0,7	3,8	0,8	0,5	0,9	0,8	0,4								9,5
Aou	0,5	0,7	0,8	0,4	1	3,7	1,9										9
Sep	1,2	2	1,8	2,8	3,2	4	3	4	24								46
Oct	3,2	1	3,7	5,2	1,5	1,4	2,8	2,2	1,8	6	5,2	40	20				94
Nov	0,5	0,4	0,6	0,8	1,5	8,1	1,3	2,2									15,4
Dec	2	1,2	0,8	0,6	1,1	0,4	0,8	0,5	0,3	0,4	1	2,9					12

Annexe 5:
Précipitation station Hamla

Année 2012

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	3,3	3,1	3,3	3,2	3,1	3,4											19,4
Fev	3	7	2	2,8	1,9	1,4	3,4	1,3	0,5	1	0,7						25
Mar	2,5	4	1,2	7	3,2	1,4	1,5	0,5	1,5	18,3	1,9						43
Avr	4,8	3,1	5,2	2,6	10,3	2,3	1,4	0,4	2,2	3,3	1,5	0,9					38
Mai	0,7	1,6															2,3
Juin	1,3	0,4	0,6	1,7	1,2	0,4											5,6
Juil	1,2	1,5	0,8														3,5
Aou	2,3	2,7	2,9	3,1													11
Sep	10	3,4	2,6	1,9	2,2	0,8	3	1,8	2,3	4							32
Oct	1,2	0,8	1,5	1,6	0,9	1,5	2	3	9,5								22
Nov	1,8	0,9	1,8	0,4	0,5	3,2	2	3,3	12,6	3,5							30
Dec	1,1	2,4	1,9	3,5	2,2	4											15,1

Annexe 6:
Précipitation station Hamla

Année 2013

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	7	3,2	5,2	2,5	2,9	4,4	1,8	3,3	1,2	3,9	2,2	2,8	3,6	0,9	0,4		45,3
Fev	3,7	1,6	2,5	7,4	1,4	3,9	3,7	1,1	0,6	1,8	2,4	1,5	0,4				32
Mar	2,2	2,8	1,4	3,5	8,8	4,2	3,8	2,4	4,6	1,6	1,9						37,2
Avr	1,8	1,2	0,6	1,4	0,4	26,2	0,8										32,4
Mai	4,5	2,6	1,8	0,7	1,9												11,5
Juin	2,2	3,8	4														10
Juil	3	2,8	2,3	2,5	1,9												12,5
Aou	1,6	1,8	1,3	2,7	2,9												10,3
Sep	3,4	2,8	4,9	4,2	18	10	7,3										50,6
Oct	3,8	32,5	4,6	0,9	3,2												45
Nov	1,3	2	7	1,9	3	2,4	3,2	2,2									23
Dec	0,5	0,6	2,6	0,8	0,7	2,4	0,8	0,4	3,5	12,4							24,7

Annexe 7:
Précipitation Station Larbaa

Année 2011

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	0,6	2,7	0,7	3,2	0,2	1,5	1,6	2,3	9	1,2							23
Fev	12	2,3	1,8	3	1,4	3,4	2,6	2,2	2,5	3,1	1,3	3,7	1,2	1,6	3,3	2,2	47,6
Mar	2,5	3,3	3,8	6,4	10	3,3	3	4,2	2,1	1,1	1,6	2,2	1,8	2,7			48
Avr	4,5	9	3,6	8	7,5	30	10	13	1,7	2,9							90,2
Mai	6,5	3,7	9	2,4	2,9	16	2	3,4	7,5	35	4,3	3,8	4	3,5			104
Juin	3,9	4	5,7	1,7	6,3	2,6	3,3	11,2	3,6								42,3
Juil	1,1	2,3	1,6	3,5	0,8	0,6	0,4										10,3
Aou	0,6	1,2	1,5	2	4,2												9,5
Sep	2,7	4,8	2	2,5	3,2	2,7	3,9	3,4	22,6								47,8
Oct	3,5	12	4	6,5	3,8	10	7,5	12	9	26,7							95
Nov	2,3	1,7	7,3	1,9	3,8												17
Dec	1,4	0,5	0,8	1,6	0,8	1,2	0,7	0,2	1,7	0,8	3,3						13

Annexe 8:
Précipitation Station Larbaa

Année 2012

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	3	3,4	2,8	2,7	1,9	2,9	3,5										20,2
Fev	3,3	6	1,4	2,1	4,7	2,9	1,7	3	2	1,9							29
Mar	4	2,9	3,7	0,6	5,8	0,3	0,9	3,6	0,5	20,2	1,2	2	1,3				47
Avr	3,2	3,7	4,2	13,5	3	4,2	3	2,9	1,2	2							40,9
Mai	0,8	2,2															3
Juin	0,4	1,7	1,2	1,9													5,2
Juil	0,6	2	1,4														4
Aou	2,9	1,8	2,7	3													10,4
Sep	17,8	1,4	0,8	1	3,4	1	2,7	3	1,9	2							35
Oct	2	1,2	1,5	3	10,6	2,5											20,8
Nov	3	1,3	2,9	2,8	4	2	3,1	1,8	2,7	9,4	3						36
Dec	2	1,8	1,2	0,5	2	1,5	3,5										12,5

Annexe 9:
Précipitation Station Larbaa

Année 2013

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	8,5	3,7	6,5	5	2,5	3	2,4	2,8	0,5	0,8	1,9	5,2	3,8	4			50,6
Fev	5,1	1,9	3	2,7	6,2	1,7	4,8	2,2	1	3,2	1,2						33
Mar	3,5	2,6	6	8,9	7	5	2,4	2,9	1,7								40
Avr	0,6	1,2	0,5	0,8	1,3	29,3	1,3										35
Mai	4,2	3,8	4	3,6													15,6
Juin	4,9	5,7	3,4														14
Juil	5,5	2,8	4,8	1,4	1,5												16
Aou	2,2	4,8	6														13
Sep	7	3,7	20,3	8	10	6											55
Oct	3,4	24,9	2,9	4	3,8	3	5										47
Nov	3,8	1,4	5,8	1,8	5,4	2											20,2
Dec	2,6	2	3	1,6	0,7	2,9	7,1	4	6,5								30,4

Annexe 10:

Eaux égouttées

Station Larbaa

Année 2011

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	0,2	2	0,2	1,4	0	0,3	0,2	0,5	5,7	0							10,5
Fev	8,4	0,5	0	0,8	0,2	1,7	2	0,4	0,8	1	0,3	1,9	0,2	0,3	1,4	0	19,9
Mar	0,4	1,9	2	4,3	7,5	1,6	1,2	1,9	0	0	0	0	0	0,7			21,5
Avr	2,2	7,2	1,7	6,2	6	27,8	8,5	11,5	0	0,9							72
Mai	4,7	1,9	6,8	0	0,9	14,2	0	1,5	5,7	32,3	2	1,6	2,1	1,6			75,3
Juin	1,7	1,8	3,2	0	4,2	0,2	1,2	9	1,4								22,7
Juil	0	0	0	1,2	0	0	0										1,2
Aou	0	0	0	0	1,6												1,6
Sep	0,7	2,8	0,4	0,7	1,4	0,9	2	1,7	20,6								31,2
Oct	1,9	10,1	2,3	4,6	1,9	8,2	5,7	10,1	7,2	25							77
Nov	0,5	0	5	0	2												7,5
Dec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5						1,5

Annexe 11:

Eaux égouttées

Station Larbaa

Année 2012

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	1,2	1,5	0,9	0,7	0	0,8	1,4										6,5
Fev	1,4	3,7	0	0	2,1	0,8	0	0,9	0	0							8,9
Mar	2,4	1,2	1,8	0	4	0	0,2	1,9	0	18,3	0	0,4	0				30,2
Avr	1,6	1,9	2,3	12	1	2,1	1	0,7	0	0							22,6
Mai	0	0,2															0,2
Juin	0	0	0	0													0
Juil	0	0	0														0
Aou	0	0	0	0													0
Sep	16,1	0	0	0	1,6	0	0,9	1,2	0,2	0,4							20,4
Oct	0,4	0,2	0,3	1,1	8,5	0,7											11,2
Nov	1,1	0	1	1	2,2	4	1	0	1	6,6	1,2						19,1
Dec	0	0	0	0	0,2	0,2	1,6										2

Annexe 12:

Eaux égouttées

Station Larbaa

Année 2013

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	5,4	1,8	4	2,9	0,4	1	0,5	1	0	0,2	0,4	3,1	1,9	2,1			24,7
Fev	2,9	0	1	0,6	3	0	2,8	0,2	0	1	0						11,5
Mar	1,5	0,6	3,4	4,9	4,7	3,2	0,5	1	0								19,8
Avr	0	0	0	0	0	24,5	0										24,5
Mai	2	1,9	1,8	1,4													7,1
Juin	2,3	3,2	1,1														6,6
Juil	2,1	0,2	1,5	0	0												3,8
Aou	0	2,5	3,7														6,2
Sep	5	1,8	16,7	6	7,9	4,1											41,5
Oct	1,7	23	1,1	2,3	2	1,2	3,3										34,6
Nov	1,9	0	3,1	0	4	0											9
Dec	0,7	0,4	1	0	0	0,8	4,9	2	4,2								14

Annexe 13:

Eaux égouttées

station Hamla

Année 2011

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	0,2	0	0	0,2	0,3	0	0	0	7,3	0,6	0						8,6
Fev	10,5	0,8	1	1,7	0	0,4	0	0,6	0	0,6	3,6	1,3	1,8	0	1,6		23,9
Mar	2,8	3,2	1,5	0,5	1,6	3,1	8,7	0,9	0	0	0	0	0	0	0		22,3
Avr	11,8	8,3	12	26,8	1,5	1,2	1,7	3,2	1,2	0,3							68
Mai	2,3	1,8	1,1	0	0	0	2	0	2,5	66,6	0,2	0,7	0	1,6	0	0	78,8
Juin	3,2	2,6	1,7	0	1,2	0,7	9	1,3	0,7	0,6							21
Juil	0	0	0	2,4	0	0	0	0	0								2,4
Aou	0	0	0	0	0	2	0										2
Sep	0	0,6	0	0,8	1,8	2,6	1,3	2,2	22								31,3
Oct	1,6	0	1,5	3,7	0	0	1,3	0,6	0,2	4,4	3,6	34,1	17				68
Nov	0	0	0	0	0	5	0	0,8									5,8
Dec	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,3					1,7

Annexe 14:

Eaux égouttées

station Hamla

Année 2012

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	1,8	1,5	1,8	1,7	1,6	1,9											10,3
Fev	1,7	6	0,5	1,5	0,3	0	2,1	0	0	0	0						12,1
Mar	1,2	2,4	0	5,2	1,6	0	0	0	0	17	0,3						27,7
Avr	3,2	1,6	4,3	1,1	8,1	0,9	0	0	0,4	1,6	0	0					21,2
Mai	0	0															0
Juin	0	0	0	0	0	0											0
Juil	0	0	0														0
Aou	0,3	0,5	0,6	1,2													2,6
Sep	7,8	1,7	1	0,2	0,4	0	1,5	0	0,5	2,4							15,5
Oct	0	0	0	0	0	0	0,6	1,5	7,1								9,2
Nov	0,2	0	0,3	0	0	1,7	0,3	1,7	11	2							17,2
Dec	0	0,6	0,2	2	0,7	2,5											6

Annexe 15:
 Eaux égouttées

 station Hamla
 Année 2013

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	5,5	1,6	3,8	1	1,4	2,8	0,2	1,8	0	2,4	0,4	1,3	2,1	0	0		24,3
Fev	2,2	0	1	5,7	0	2,3	2,2	0	0	0,2	1,4	0	0				15
Mar	0,7	1,3	0	2	6,2	2,8	2,2	0,9	3	0	0						19,1
Avr	0	0	0,6	0	0	22,4	0										23
Mai	2,7	0,7	0	0	0												3,4
Juin	0,2	1,6	2														3,8
Juil	1,4	0,4	0,2	0,5	0												2,5
Aou	0	0	0	0,3	0,9												1,2
Sep	2	1,2	3,3	2,8	16,7	8,6	5,4										40
Oct	2,3	26,8	2,4	0	1,5												33
Nov	0	0,4	5,2	0	1,5	0	1,6	0,7									9,4
Dec	0	0	1,2	0	0	1,4	0	0	2,3	10,6							15,5

Annexe 16:
 Eaux égouttées

 Station Marconna
 Année 2011

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	0,4	0	0,1	0,5	0,1	0	1,2	7,2	0,1	0,4							10
Fev	9,8	2,1	0,6	0,3	0,6	0,8	0,1	0,5	1,2	1,1	0,6	0	0	0	1	1,3	20
Mar	1,2	1	1,8	2,2	1,8	0	0	3,2	0	0	0	10	1,7	0,2			24
Avr	8,2	7	3,8	14	8	13	6,4	4,4	0								65
Mai	0,6	0,2	3,8	2,8	3,2	0	4,1	2,3	5,6	0	45	6,4	0				74
Juin	0,8	1,2	0	4,2	12	6,3	2,8										27
Juil	0	3,5	0	0	0												3,5
Aou	0	0	3,8														3,8
Sep	0	0	0	0,5	6,4	1,4	3,5	18									30
Oct	2,5	0	4	0,3	10	0,8	0,9	15	5,6	27							67
Nov	1,5	0	0,2	4,6	1,9												8,2
Dec	0	0	0	0,6	0	0	0	0,6	1,1	2							4,3

Annexe 17:
 Eaux égouttées

station Marconna

Année 2012

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	1	0,5	1,5	1,4	1	2	2,3										9,7
Fev	1,5	4,3	3,1	0	0	0	0,4	0,6	1,2	1,1							12
Mar	0,2	0,5	1,6	0	0	1,7	0	1,6	2,2	0	0	18	3				29
Avr	5,1	4,2	3,4	10	6,3	0,8	0	0	0								30
Mai	1,3																1,3
Juin	0	0	0	1,1	0												1,1
Juil	0	0															0
Aou	0,3	0,5	0,8														1,6
Sep	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1						20
Oct	0	0	0,8	0,3	0	11											12
Nov	0,7	1,5	1,1	1	1,4	0,8	0	0,2	1,5	6							14
Dec	0,8	1	0,9	1,2	0	0	3,5										7,4

Annexe 18:
 Eaux égouttées

station Marconna

Année 2013

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	6	3,3	3	2,6	1,7	5,1	1	0,6	0	0,5	0,2	0,3	0,9	0	0		25
Fev	0	0,8	1	4,8	0,3	2	3	0	0	2,1	3,1						17
Mar	4,2	1,5	1,2	2,3	6,6	5,1	5	0,1	0	0							26
Avr	0	0	22	0,6	0,2	0											23
Mai	0	0	2,3	0													2,3
Juin	0	0	1,4	0,3													1,7
Juil	0,2	0	0	0													0,2
Aou	0,5	0,4	0,9														1,8
Sep	3,7	2,6	2,3	5	3,7	15	1										33
Oct	9,5	10	5,3	3,2	1,3	0,4	0	2,4									32
Nov	4,5	4,4	5,9	3,8	0,7	0											19
Dec	0	0	4,1	1,8	1,1	2,9	0	0,2	0,9								11

Annexe 19:
Écoulement

Station Larbaa

Année 2011

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	0	0	0	0	0	0	0	0	1,2	0							1,2
Fev	4,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,3
Mar	0	0	0	0	2,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0			2,3
Avr	0	0,8	0	0,1	0,2	7,1	1,4	2,7	0	0							12,3
Mai	0	0	0,8	0	0	3	0	0	0	9	0	0	0	0			12,8
Juin	0	0	0	0	0	0	0	2,8	0								2,8
Juil	0	0	0	0	0	0	0										0
Aou	0	0	0	0	0												0
Sep	0	0	0	0	0	0	0	0	5,8								5,8
Oct	0	2,2	0	0	0	1,3	0	2,2	0,8	6							12,5
Nov	0	0	0,3	0	0												0,3
Dec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						0

Annexe 20:
Écoulement

Station Larbaa

Année 2012

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	0	0	0	0	0	0	0										0
Fev	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							0
Mar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,3	0	0	0				6,3
Avr	0	0	0	5,7	0	0	0	0	0	0							5,7
Mai	0	0															0
Juin	0	0	0	0													0
Juil	0	0	0														0
Aou	0	0	0	0													0
Sep	5,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0							5,6
Oct	0	0	0	0	1,8	0											1,8
Nov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,3	0						2,3
Dec	0	0	0	0	0	0	0										0

Annexe 21:
Écoulement

Station Larbaa

Année 2013

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	1,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			1,3
Fev	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						0
Mar	0	0	0	1,9	0	0	0	0	0								1,9
Avr	0	0	0	0	0	5	0										5
Mai	0	0	0	0													0
Juin	0	0	0														0
Juil	0	0	0	0	0												0
Aou	0	0	0														0
Sep	0	0	4,6	0,2	1,6	0											6,4
Oct	0	6,7	0	0	0	0	0										6,7
Nov	0	0	0	0	0	0											0
Dec	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0								0,1

Annexe 22:
Ecoulement

Station Hamla

Année 2011

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	0	0	0	0	0	0	0	0	2,9	0	0						2,9
Fev	6,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,7
Mar	0	0	0	0	0	0	5,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,3
Avr	2,2	1,2	2,1	8,3	0	0	0	0	0	0							13,8
Mai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	16
Juin	0	0	0	0	0	0	4,4	0	0	0							4,4
Juil	0	0	0	0	0	0	0	0	0								0
Aou	0	0	0	0	0	0	0										0
Sep	0	0	0	0	0	0	0	0	6,4								6,4
Oct	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,6	3,6				12,2
Nov	0	0	0	0	0	1,8	0	0									1,8
Dec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0

Annexe 23:
Écoulement

Station Hamla

Année 2012

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	0	0	0	0	0	0											0
Fev	0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0						0,8
Mar	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	6,4	0						6,8
Avr	0	0	0	0	3,3	0	0	0	0	0	0	0					3,3
Mai	0	0															0
Juin	0	0	0	0	0	0											0
Juil	0	0	0														0
Aou	0	0	0	0													0
Sep	3,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0							3,1
Oct	0	0	0	0	0	0	0	0	2,6								2,6
Nov	0	0	0	0	0	0	0	0	3,7	0							3,7
Dec	0	0	0	0	0	0											0

Annexe 24:
Ecoulement

Station Hamla

Année 2013

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5
Fev	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0				1
Mar	0	0	0	0	2,5	0	0	0	0	0	0						2,5
Avr	0	0	0	0	0	5,5	0										5,5
Mai	0	0	0	0	0												0
Juin	0	0	0														0
Juil	0	0	0	0	0												0
Aou	0	0	0	0	0												0
Sep	0	0	0	0	5	1,9	0,1										7
Oct	0	7	0	0	0												7
Nov	0	0	0,6	0	0	0	0	0									0,6
Dec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,2							3,2

Annexe 25:
Écoulement

Station Marconna

Année 2011

jours pluvieux mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	0	0	0	0	0	0	0	2,9	0	0							2,9
Fev	4,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,8
Mar	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	5	0	0			5,2
Avr	1,3	0,7	0	5,8	1,2	2,5	0,4	0,2	0								12,1
Mai	0	0	0	0	0	0	0,4	0	1,4	0	9,5	2,9	0				14,2
Juin	0	0	0	0,2	4,7	1,2	0										6,1
Juil	0	0	0	0	0												0
Aou	0	0	0														0
Sep	0	0	0	0	2,4	0	0,2	3,4									6
Oct	0	0	0,4	0	1,4	0	0	2,2	0,8	9,2							14
Nov	0	0	0	1,1	0												1,1
Dec	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							0

Annexe 26:
Écoulement

Station Marconna

Année 2012

Jours pluvieux Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	0	0	0	0	0	0	0										0
Fev	0	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0							1,2
Mar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,2	0				5,2
Avr	0,7	0,2	0,3	3,2	0,8	0	0	0	0								5,2
Mai	0																0
Juin	0	0	0	0	0												0
Juil	0	0															0
Aou	0	0	0														0
Sep	4,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						4,3
Oct	0	0	0	0	0	3											3
Nov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,7							2,7
Dec	0	0	0	0	0	0	0,2										0,2

Annexe 27:
Ecoulement

Station Marconna

Année 2013

Jours pluvieux /Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
Jan	2,4	0,2	0,3	0	0	1,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0		4,7
Fev	0	0	0	0,5	0	0	0	0	0	0	0						0,5
Mar	0,4	0	0	0	2,9	0,8	0,6	0	0	0							4,7
Avr	0	0	3,8	0	0	0											3,8
Mai	0	0	0	0													0
Juin	0	0	0	0													0
Juil	0	0	0	0													0
Aou	0	0	0														0
Sep	0,2	0	0	1	0,4	3,8	0										5,4
Oct	1,4	3	1,2	0	0	0	0	0									5,6
Nov	0,8	0,4	1,9	0,2	0	0											3,3
Dec	0	0	1,2	0	0	0,3	0	0	0								1,5

Variation de l'interception des précipitations dans une chênaie à *Quercus ilex* L. des Aurès (Est algérien)

Variation of the interception of rainfall in an oak grove of Quercus ilex L. in the region of Aurès (East Algeria)

Toufik BENHIZIA^{1,2,*}, Bachir OUDJEHIH¹ et Salim LEBBAL²

1. Département des sciences agronomiques, université Batna 1, Algérie

2. Département des sciences agronomiques, université de Khenchela, Algérie

*Auteur correspondant : toufikbenhizia@yahoo.fr

Received: 6 June, 2017; First decision: 4 April, 2018; Revised: 1 May, 2018; Accepted: 11 June, 2018

Résumé

La répartition des précipitations en différentes fractions d'égouttement, écoulement et interception est la première interaction entre le cycle de l'eau et la forêt. Ces fractions ont été évaluées pour une période de trois années successives sous le couvert de Quercus ilex L. dans la chênaie de Hamla dans les Aurès par un dispositif de recueil spécifique pour chaque fraction : sous couvert pour l'égouttement, scellé sur les troncs pour l'écoulement et installé sur un sol nu pour les précipitations.

Les résultats ont montré que le taux des précipitations qui arrivent par égouttement se situe en moyenne à 57,4 % des précipitations.

L'écoulement ne représente en moyenne qu'une faible fraction (6,7 %) des précipitations. Quant à l'interception, elle est très forte et elle représentait en moyenne 35,8 % des précipitations. La variabilité interannuelle de l'égouttement et de l'interception est importante. Elle est largement dépendante des précipitations journalières incidentes.

Les relations entre les précipitations, l'écoulement et l'égouttement dans la station étudiée ont été appréciées par des régressions linéaires qui ont montré de fortes corrélations entre les différentes fractions d'eaux et les précipitations (R^2 varie entre 0,74 et 0,99).

Abstract

The distribution of precipitation in different fractions (i. e. throughfall, stemflow and interception) is the first interaction between the water cycle and the forest. These fractions have been evaluated over a period of three successive years under the cover of green oak (Quercus ilex L.) in Hamla forest, eastern Algeria using specific collection devices under cover for the throughfall, sealed on the trunks for the stemflow, and installed on bare soil for the precipitation.

The results showed that the rate of water coming by throughfall was on average 57.4% of the precipitation. Stemflow represented a small fraction of precipitation (6.7%). The interception was high. It was on average 35.8% of the precipitation. In general, the interannual variability was significant. It is attributed mainly to the importance of the daily precipitation. The relationships between precipitation, stemflow and throughfall at the study site were assessed by linear regressions which revealed strong correlations between different fractions of water and precipitation. R^2 varied between 0.74 and 0.99.

Keywords: precipitation, throughfall, stemflow, interception, green oak, Aurès.

Mots clés : précipitations, égouttement, écoulement, interception, chêne vert, Aurès.

Version anglaise abrégée

The green oak (*Quercus ilex* L.) is one of the most important forest trees in the Mediterranean region. It covers nearly 2 million ha (Dahmani-Megrerouche 2002; Bonin 2008) with 149 000 ha (El Achi 2010) in Algeria. Under the Mediterranean climate and in the arid and semi-arid zones, the availability of water at soil level is the main constraint faced by the green oak (Limousin *et al.* 2008). Data on the interception of rainfall by oak grove of *Quercus ilex* in a semi-arid climate are few (Llorens & Domingo 2007 ; Muzylo *et al.*, 2009) nonexistent for Algeria to our knowledge. The purpose of this study is to quantify precipitation, stemflow, throughfall and interception in a green oak grove and their temporal variations in order to establish prediction models of different fractions of water.

Our work concerns a green oak grove in Hamla (35° 5'N and 6° 2'E) in the Aurès region (East Algeria) during the period from January 2011 to December 2013. The grove is part of Belezma National Park. The protocol used in this study is based on research carried out by Gash *et al.* (1995), Dumas (2009) and Limousin *et al.* (2008). Precipitation was collected using plastic containers of inverted cone shape on bare soil, and the quantities of water collected were measured with a test tube. On the other hand, the throughfall was evaluated using specific collection devices under cover, and the stemflow with a device sealed on the trunks of trees.

The results of this study showed that the daily precipitation on the Aurès was mainly less than 4 mm. The annual amount of precipitation recorded was between 246.9 and 528,4 mm spread over 90 to 135 days. In addition, the throughfall varied from year to year and from month to month. It was on average 57.4% of precipitation, shared over a maximum of 75 days/year. As for the fraction of the rains which reached the ground by stemflow, it represented on average only 6.7% of the total precipitation, distributed over a period not exceeding 13 days/year. This very low quantity of water, which reaches the ground close to the trunks of trees, can explain the low productivity of the green oak in the Aurès. Furthermore, the interception rate was considerable. On average, it accounted for 35.8% of the total received precipitation.

The variation of throughfall, stemflow and interception was important over time,

especially between years. It was largely dependent on the amount of daily precipitation.

The study of the relationship between the different measured parameters revealed strong positive correlations between precipitation and throughfall and stemflow, whereas interception was negatively correlated with precipitation. Months with low precipitation (July and August in general) were characterized by the lowest stemflow and throughfall volumes and the highest interception.

The models described in the form of equations can be used to predict the quantity of water that will arrive at the forest floor either by throughfall or stemflow in the Aurès oak groves and then to apprehend the interception.

Introduction

Le chêne vert est l'une des espèces forestières les plus représentées dans la région méditerranéenne. Il couvre près de deux millions d'hectares (Dahmani-Megrerouche 2002 ; Bonin 2008). En Algérie, il s'étend sur une superficie de 149 000 ha (El Achi 2010). On le rencontre dans les Aurès entre 1 000 et 2 200 m d'altitude. À 1 500-1 770 m, il forme de très belles futaies (Abdessemed 1984).

Dans les zones reculées, ces forêts qui se développent sous un climat méditerranéen contraignant (Quézel 1976 ; Quézel 2000 ; Benslimane *et al.* 2008 ; Chermat *et al.* 2013 ; Chermat *et al.* 2016) sont soumises en permanence à une forte pression anthropique (Beghami *et al.* 2013). Les peuplements se présentent souvent sous forme de taillis simples de faible productivité, estimée à environ 2,24 tonnes/ha (Khater, 2010). La faible densité, la forme rabougrie des cépées et la hauteur moyenne des arbres (2,5 m) témoignent de la sévérité de l'impact de ces contraintes (Teibi 1992).

Sous climat méditerranéen et dans les zones arides et semi-arides, la disponibilité de l'eau au niveau du sol joue un rôle très important pour la régénération et la productivité des arbres forestiers (Sadeghi *et al.* 2015a ; Lempereur *et al.* 2017). Elle est la principale contrainte à laquelle doit se confronter le chêne vert (Limousin *et al.* 2008). En Algérie, les quatre dernières décennies sont marquées par des sécheresses récurrentes plus ou moins accentuées selon les régions (Chermat *et al.* 2013).

De nombreux modèles climatiques prévoient des changements susceptibles de perturber le fonctionnement des végétaux. À titre d'exemple, le rapport du GIEC (2014) indique pour la fin du XXI^e siècle une diminution des précipitations d'environ 20 % ; ce qui fait de la région méditerranéenne l'une des zones du globe qui sera la plus fortement touchée par les changements climatiques.

La faible disponibilité en eau a mis en exergue l'utilité, pour les forestiers et les gestionnaires de l'eau, de l'évaluation des pluies qui arrivent réellement sur le sol forestier (Sadeghi *et al.* 2015a) ainsi que de la compréhension de la répartition des précipitations en différentes fractions d'égouttement, d'écoulement et d'interception (Limousin *et al.* 2008), afin de développer des plans stratégiques pour le choix des espèces destinées aux reboisements et de contrôler l'érosion hydrique du sol.

Lorsque les précipitations arrivent sur un couvert forestier, elles se divisent en trois parties : la première traverse les couronnes des arbres (égouttement), la seconde s'écoule le long des troncs des arbres (écoulement) et la troisième se perd soit par le stockage dans la canopée des arbres soit par évaporation (interception). De nombreuses études ont porté sur l'interception des précipitations par différents couverts forestiers dans différents pays (Gash 1979 ; Gash *et al.* 1995 ; Llorens 1997 ; Carlyle-Moses & Price 1999 ; Navar *et al.* 1999 ; Schellekens *et al.* 1999 ; Jackson, 2000 ; Bryant *et al.* 2005 ; Sraj *et al.* 2008 ; Limousin *et al.* 2008 ; Fathizadeh *et al.* 2013 ; Sadeghi *et al.* 2015a ; Sadeghi *et al.* 2015b ; Attarod *et al.* 2015 ; Sadeghi *et al.* 2016 ; Van Stan *et al.* 2016). Les données sur l'interception des pluies par les chênaies à *Quercus ilex* dans un climat semi-aride sont en revanche peu nombreuses (Llorens & Domingo 2007 ; Muzyllo *et al.* 2009 ; Fathizadeh *et al.* 2013) et, à notre connaissance, inexistantes pour l'Algérie.

La présente étude a pour but, d'une part, de quantifier les précipitations, les eaux d'écoulement, d'égouttement et d'interception dans une chênaie de *Quercus ilex* L. des Aurès et, d'autre part, de suivre leurs variations temporelles afin d'établir des modèles pour la prévision des différentes fractions d'eau.

Méthodes

Sites d'étude

Notre travail concerne un peuplement de chêne vert à Hamla dans la région des Aurès (Est algérien). Il fait partie de l'aire du parc national de Belezma qui couvre une superficie 26 250 ha. Cette chênaie (35° 5'N et 6° 2'E), avec une pente de 45 %, se trouve à 1 500 m d'altitude, sur le versant nord de la partie centrale du Djebel Tugurt, à 12 km au nord-ouest de la ville de Batna. Sa végétation est dégradée principalement par l'action anthropique (surexploitation et incendies) et elle se compose essentiellement de *Quercus ilex*. La densité du peuplement est de 350 tiges/ha. Son indice de surface foliaire est de l'ordre de 1,4. Il repose sur un substrat calcaire dolomitique et un sol brun calcaire peu profond (Abdessemed 1981).

Dans la région d'étude, entre 2011 et 2013, l'insolation totale mensuelle était comprise entre 149 (décembre 2011) et 363 heures (juin 2013) ; alors que la température moyenne était de 15,6 °C, selon les données fournies par la station météorologique d'Ain Skhouna (Batna). La pluviométrie annuelle de la même région au cours d'une période de 32 ans (1989-2010) a été comprise entre 188 et 596 mm ; tandis que la saison sèche durant la même période a été supérieure à cinq mois (figure 1).

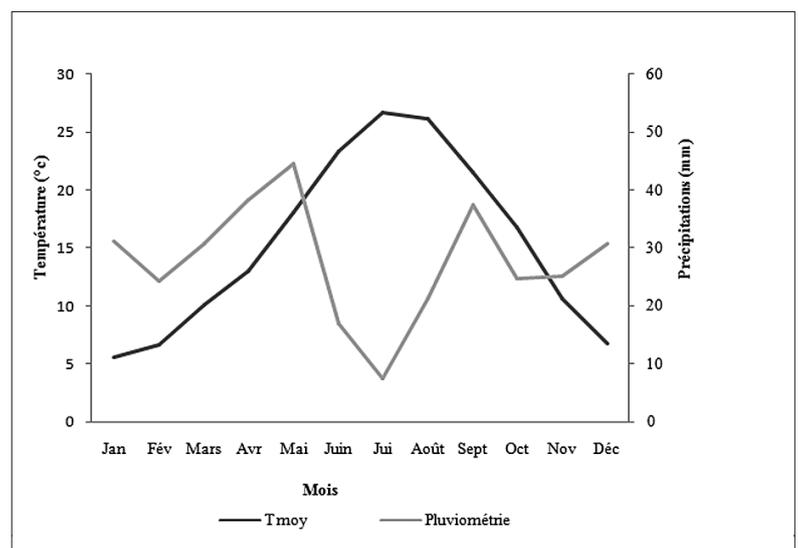


Figure 1 – Diagramme ombrothermique de Bagnouls & Gausson pour la station d'Ain Skhouna (moyennes calculées sur la période de 1989-2010).

Figure 1 – Ombrothermic diagram of Bagnouls & Gausson for the station of Ain Skhouna (means calculated for the period 1989-2010).

Plan expérimental

Le protocole utilisé dans la présente étude est inspiré des travaux de recherche de Gash *et al.* (1995), Dumas (2009) et Limousin *et al.* (2008) en raison de ses avantages tels que la facilité de son application et la prise en compte de l'écoulement le long des troncs. Plusieurs auteurs ont démontré qu'il y a une marge d'erreur plus grande dans l'évaluation de l'interception lorsqu'on néglige l'écoulement (Limousin *et al.* 2008 ; Fathizadeh *et al.* 2013 ; Sadeghi *et al.* 2015a ; Sadeghi *et al.* 2015b ; Attarod *et al.* 2015).

Ce protocole a été surtout validé par de nombreuses études menées dans divers couverts forestiers de différents pays (Gash 1979 ; Llorens 1997 ; Carlyle-Moses & Price 1999 ; Navar *et al.* 1999 ; Schellekens *et al.* 1999 ; Jackson 2000 ; Bryant *et al.* 2005 ; Sraj *et al.* 2008).

Les précipitations et les eaux d'égouttement sont collectées à l'aide de récipients en plastique en forme de cône renversé, munis d'un couvercle dont la partie inférieure conique est percée de petits trous pour réduire au maximum l'évaporation et retenir les débris végétaux et animaux. La surface de réception d'un récipient est de 0,049 m². Les récipients sont fixés sur des supports métalliques à 4 pieds, de sorte que la cuve soit à 20 cm du sol (figure 2a et b). Les quantités d'eau recueillies sont mesurées avec une éprouvette.

Les eaux d'égouttement sous les canopées sont quantifiées par 4 récipients installés aléatoirement sous les couronnes de 25 arbres de 2,5 à 4 m de haut et de 60 à 70 ans d'âge (figure 2a). La surface globale de collecte est de 4,9 m². Cette dernière est jugée suffisante pour estimer convenablement l'eau d'égouttement sous couvert (Rodrigo & Avila 2001).

Les quantités des eaux de précipitation à découvert sont évaluées par la mise en place de 10 récipients identiques à ceux décrits précédemment, et répartis aléatoirement dans une zone au sol nu, éloignée de 10 m environ du couvert végétal (figure 2b).

Les eaux d'écoulement étaient recueillies par des collecteurs scellés solidement autour des troncs des arbres, avec des colliers en plastique rendus étanches à l'aide de mastic (figure 2c). Les collecteurs étaient légèrement inclinés pour permettre le raccordement de leur point le plus bas qui facilite le transfert rapide de l'eau captée vers un bidon. Les ouvertures supérieures des collecteurs étaient couvertes pour éviter l'entrée des eaux d'égouttement. Les volumes de l'écoulement en mm ont été calculés par la division des quantités collectées par la surface du houppier (Livesley *et al.* 2014).

L'emplacement des dispositifs d'estimation des eaux d'écoulement était fixe durant toute la période des mesures.

Les volumes des eaux (précipitations, égouttement et écoulement) ont été mesurés en continu de janvier 2011 à décembre 2013, le plus rapidement possible après la chute des pluies.

Les volumes d'eau recueillis sont convertis en mm par la formule :

$$P \text{ (mm)} = 10 \times V/S$$

(Vialard-Goudou & Richard 1956)

sachant que : S = surface de réception en cm² et V = volume d'eau recueilli en cm³.

La quantité d'eau interceptée, exprimée en mm, a été estimée par la formule :

$$I \text{ (mm)} = P - (E_g + E_c)$$

(Aussenac 1968 ; Bellot *et al.* 1999 ; Limousin *et al.* 2008 ; Dumas 2009)

avec : I = eau interceptée, P = précipitations, E_g = égouttement et E_c = écoulement.

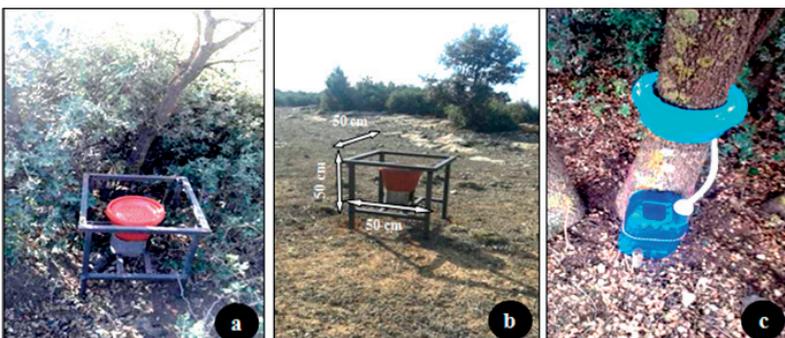


Figure 2 – Dispositifs de collecte des eaux d'égouttement sous la canopée (a), incidentes à découvert (b) et d'écoulement (c).

Figure 2 – Devices for collecting throughfall water under the canopy (a), rainfall (b) and stemflow (c).

Analyses des données

Les résultats des précipitations, égouttement, écoulement et interception sont soumis à l'analyse de la variance (ANOVA) au seuil de 5 % d'erreur, en utilisant le logiciel SPSS version 10.0.5 (SPSS Inc.) ; tandis que les modèles de prévision des paramètres étudiés (E_g, E_c et I) ont été établis par des régressions linéaires avec Microsoft Excel 2007©.

Résultats

Précipitations (P)

Variations interannuelles et intra-annuelles

Durant la période d'étude, entre 2011 et 2013, les quantités de pluies recueillies varient d'une année à l'autre et d'un mois à l'autre (figure 3). L'analyse de variance ANOVA des précipitations annuelles a montré une différence significative (tableau 1). L'année 2011 était la plus pluvieuse (528,4 mm) ; tandis que l'année 2012 était la moins pluvieuse (246,9 mm).

D'un autre côté, l'analyse ANOVA n'a révélé aucune différence significative entre les mois, à l'exception de l'année 2012 (tableau 1). D'une façon générale, les mois les plus secs étaient juillet et août, alors que les mois d'avril, septembre et octobre étaient souvent les plus arrosés (figures 3 à 5).

Fréquences des différentes classes des précipitations

Pendant la période d'étude, la chênaie de Hamla a accumulé environ 528, 247 et 334 mm de pluies (respectivement pour 2011, 2012 et 2013), réparties sur 135, 90 et 94 jours de précipitations respectivement (tableau 2).

La connaissance du régime des précipitations est très importante pour comprendre la variation des paramètres étudiés (P), (E_g), (E_c) et (I) à l'échelle mensuelle et annuelle. Les précipitations journalières enregistrées durant la présente étude sont comprises entre 0,4 et 70,2 mm.

Les résultats de classement des précipitations et leurs fréquences, dans des intervalles allant de 0 à 80 mm, sont reportés dans le tableau 2. Ce dernier montre que le nombre de jours durant lesquels on a recueilli des précipitations inférieures à 4 mm constitue un pourcentage élevé (> 80 %) du total des jours de précipitations.

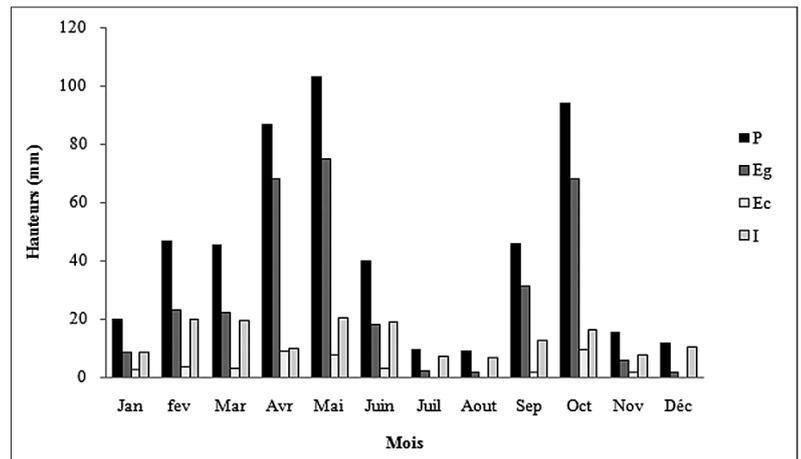


Figure 3 – Précipitations (P), égouttement (Eg), écoulement (Ec) et interception (I) (mm) dans la chênaie de Hamla (Algérie) durant l'année 2011.

Figure 3 – Precipitation (P), throughfall (Eg), stemflow (Ec) and interception (I) (mm) in the oak grove of Hamla (Algeria) in 2011.

Eaux d'égouttement (E_g)

Le nombre de jours de pluie qui ont donné lieu à des égouttements varie d'une année à l'autre. Il est de 75 jours pour l'année 2011, 53 jours pour l'année 2012 et 60 jours pour l'année 2013. Le pourcentage moyen de l'égouttement par rapport à la quantité des précipitations a été estimé à 57,4 %. De plus, on a noté que les volumes des précipitations recueillies changent en fonction des années et des mois (figures 3 à 5). À l'échelle de l'année, l'analyse statistique des E_g a révélé une différence significative (tableau 1). Ainsi, l'année 2011 a enregistré la valeur la plus importante de l'égouttement ($\bar{x} = 0,89$ mm/jour). À l'inverse, l'année 2012 s'est caractérisée par l'égouttement le plus faible ($\bar{x} = 0,33$ mm/jour), où l'on a observé une absence totale de l'égouttement durant les mois de mai, juin et juillet.

À l'échelle mensuelle, l'ANOVA n'a confirmé aucune différence significative (tableau 1) durant les trois ans pris séparément. D'une

Tableau 1 – ANOVA pour les variations interannuelles et intra-annuelles des paramètres étudiés.

Table 1 – ANOVA for the between years and within year variations of studied parameters.

	P	Eg	Ec	I
Variations interannuelles	0,011*	0,035*	0,250	0,000*
Variations intra-annuelles 2011	0,142	0,230	0,736	0,512
Variations intra-annuelles 2012	0,033*	0,157	0,681	0,032*
Variations intra-annuelles 2013	0,529	0,467	0,833	0,002*

* Différence significative si $P < 0,05$

Tableau 2 – Répartitions en classe de quantité des précipitations enregistrées durant la période d'étude.

Table 2 – Distribution of recorded rainfall in quantity classes during the period of study.

Précipitations journalières	2011			2012			2013		
	Fréquence (Jours)	Précipitations cumulées mm	%	Fréquence (Jours)	Précipitations cumulées mm	%	Fréquence (Jours)	Précipitations cumulées mm	%
] 0-2 mm]	72	80,2	15,18	46	56,8	23,01	38	47	14,05
] 2-4 mm]	39	116,4	22,03	35	105,4	42,69	38	114,3	34,17
] 4-6 mm]	11	54,3	10,28	2	10	4,05	8	36,6	10,94
] 6-8 mm]	0	0	0,00	2	14	5,67	4	28,7	8,58
] 8-10 mm]	3	27,9	5,28	2	19,5	7,90	2	18,8	5,62
] 10-80 mm]	10	249,6	47,24	3	41,2	16,69	4	89,1	26,64
Totale	135	528,4	100	90	246,9	100	94	334,5	100

* Différence significative si $P < 0,05$.

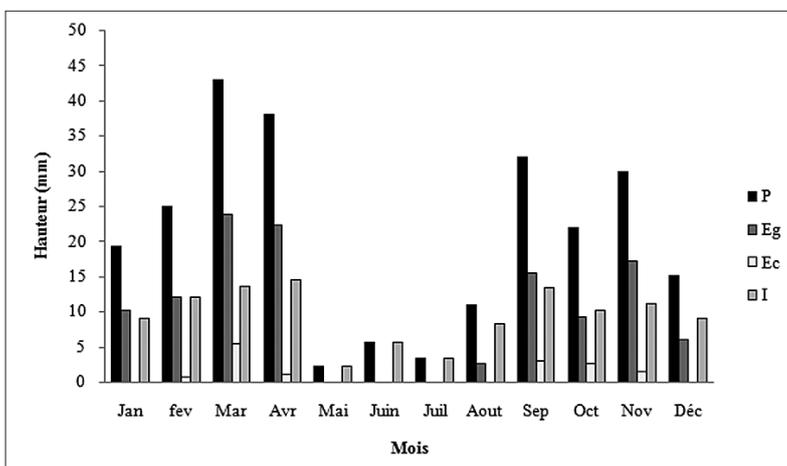


Figure 4 – Précipitations (P), égouttement (Eg), écoulement (Ec) et interception (I) (mm) dans la chênaie de Hamla (Algérie) durant l'année 2012.

Figure 4 – Precipitation (P), throughfall (Eg), stemflow (Ec) and interception (I) (mm) in the oak grove of Hamla (Algeria) in 2012.

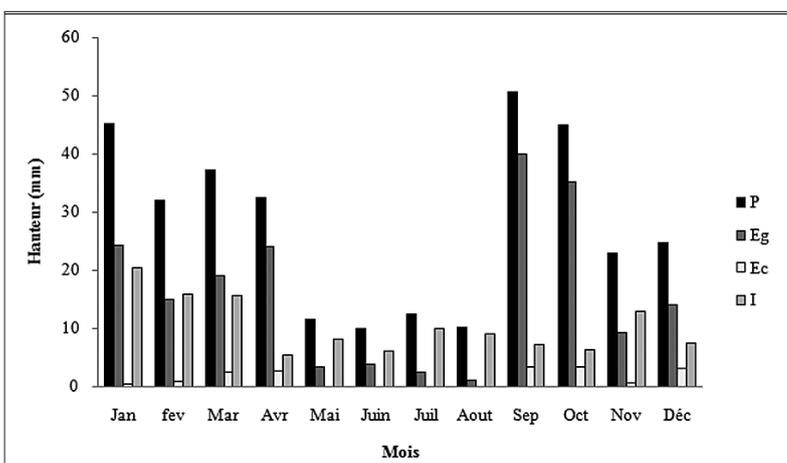


Figure 5 – Précipitations (P), égouttement (Eg), écoulement (Ec) et interception (I) (mm) dans la chênaie de Hamla (Algérie) durant l'année 2013.

Figure 5 – Precipitation (P), throughfall (Eg), stemflow (Ec) and interception (I) (mm) in the oak grove of Hamla (Algeria) in 2013.

façon générale, les mois de juillet et août ont montré l'égouttement le plus faible. Par contre, le mois d'avril a enregistré un égouttement souvent élevé (figures 3 à 5).

Écoulement (E)

Le nombre de jours de précipitation qui ont provoqué des écoulements est très faible. Il est compris entre 7 et 13 jours/an. Globalement, l'écoulement représente un taux moyen de 6,73 % des précipitations pour la station étudiée. Par ailleurs, on observe une fluctuation des volumes des pluies écoulés selon les années et les mois (figures 3 à 5). L'année 2011 a connu le volume le plus élevé de l'écoulement ($\bar{x} = 0,12$ mm/jour), quoique l'ANOVA n'a pas montré de différence significative (tableau 1). En revanche, l'année 2012 s'est distinguée par l'écoulement le plus faible ($\bar{x} = 0,04$ mm/jour), avec une absence totale de l'écoulement durant six mois (janvier, mai, juin, juillet, août et décembre).

En comparant les mois, l'ANOVA n'a pas montré une différence significative (tableau 1). L'écoulement a été nul en juillet-août pour les trois années d'étude (figures 3 à 5).

Interception (I)

Il est noté une oscillation des volumes des pluies interceptés suivant les années et les mois (figures 3 à 5). Les volumes de l'interception sont considérables. Ils représentent environ 35,8 % des précipitations totales. L'année 2011 a enregistré le volume moyen d'interception le plus important avec 0,75 mm/jour.

Le [tableau 1](#) fait ressortir que la fluctuation mensuelle des taux d'interception est très forte. D'une façon générale, les volumes les plus faibles ont été enregistrés durant les mois d'avril, septembre et octobre ; alors que les volumes les plus importants ont été signalés durant les mois de juillet et août.

Relations entre précipitations et eau d'égouttement

Un autre aspect, pour mieux comprendre l'interception des précipitations, est lié aux relations qui existent entre les précipitations et l'égouttement.

La [figure 6](#) montre, pour les trois années étudiées, une relation linéaire positive entre la pluie égouttée (E_e) et les précipitations (P) (le R^2 varie entre 0,97 et 0,99).

L'égouttement est donc d'autant plus important que les précipitations sont importantes.

Relations entre précipitations et écoulement

La [figure 7](#) présente des droites de régression linéaire qui sont ajustées aux nuages de points de la pluie écoulee E_c , en fonction des précipitations (P). La pluie écoulee en fonction des précipitations suit les équations présentées sur la même figure. En exploitant ces équations, on peut déduire que l'écoulement est mesurable à partir de 2,95 mm de précipitations.

L'écoulement est corrélé positivement avec les précipitations (R^2 varie entre 0,74 et 0,85). Les résultats suggèrent que les précipitations importantes induisent un fort taux d'écoulement.

Relations entre précipitations et interception

La [figure 8](#) indique que des droites de régression linéaire peuvent être ajustées aux nuages de points de la pluie interceptée (I), en fonction des précipitations (P). La pluie interceptée en fonction des précipitations suit les équations exposées sur la même figure.

L'interception est corrélée négativement avec les précipitations (R^2 varie entre 0,06 et 0,16). Les précipitations faibles induisent un taux d'interception élevé.

Discussion

Précipitations (P)

La variabilité interannuelle de la pluviométrie est considérable dans la chênaie étudiée. Nos résultats sont en accord avec ceux de Smadhi (2011) qui a analysé les données climatiques du nord algérien sur une période de 71 ans. De plus, une autre enquête menée par Meddi & Toumi (2013), sur la variabilité interannuelle des pluies en Algérie sur 37 ans, a montré que la variation des précipitations annuelles au niveau des Aurès est importante (44 à 48 %).

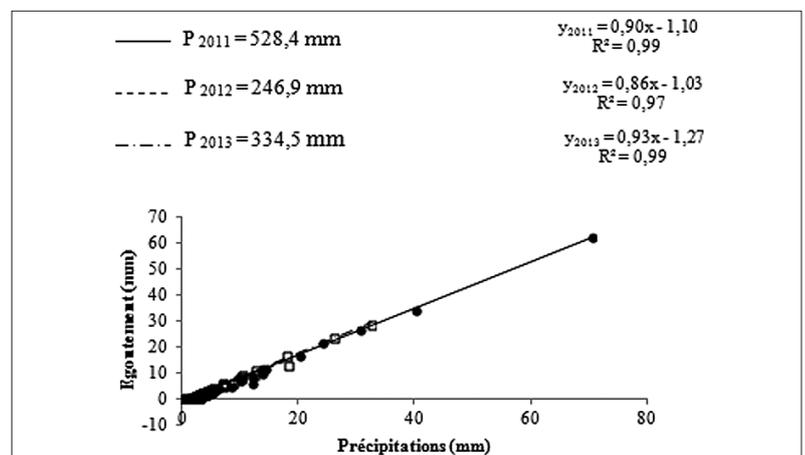


Figure 6 – Égouttement (mm) en fonction des précipitations (mm) pour les trois ans d'étude.

Figure 6 – Throughfall (mm) according to the precipitation (mm) during the three years of study.

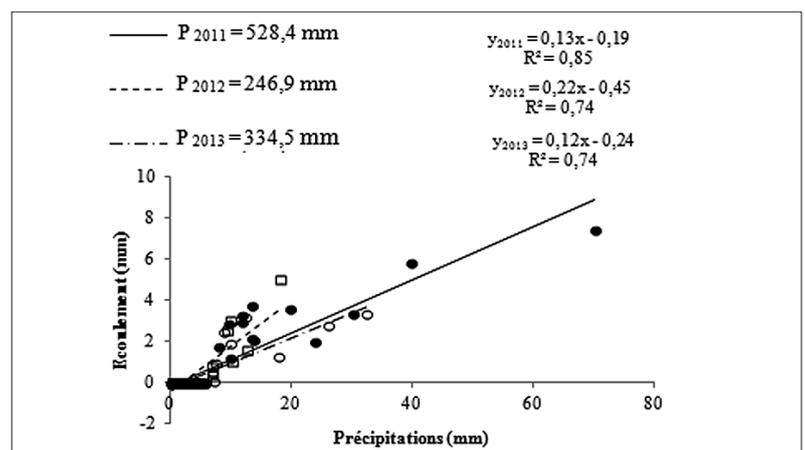


Figure 7 – Écoulement (mm) en fonction des précipitations (mm) pour les trois ans d'étude.

Figure 7 – Stemflows (mm) depending on precipitation (mm) during three years of study.

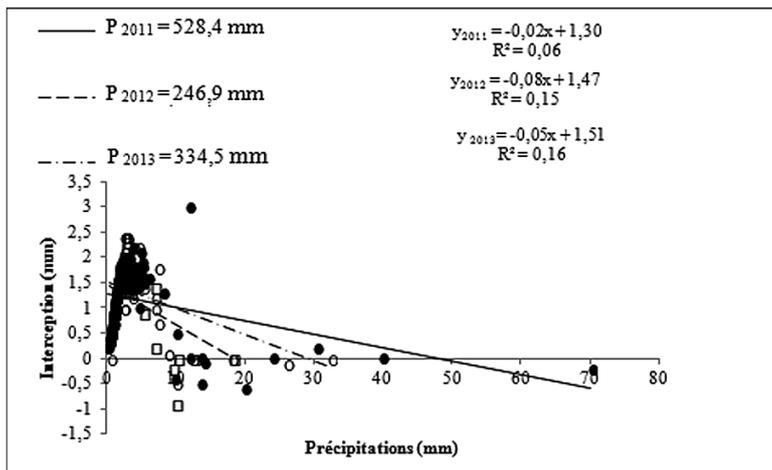


Figure 8 – Interception (mm) en fonction des précipitations (mm) pour les trois ans d'étude.

Figure 8 – Interception (mm) depending on precipitation (mm) during three years of study.

Égouttement (E_g)

Les taux d'égouttement que nous avons mesurés semblent faibles (57.4 % en moyenne) par rapport aux autres études qui concluent que l'égouttement varie selon les lieux et les espèces, mais qu'il se situe dans la plupart des cas entre 65 et 85 % (Aussenac & Boulangeat 1980 ; Dumas 2009 ; Aussenac 1970 ; Fathizadeh *et al.* 2013). Pour le chêne vert, Llorens & Domingo (2007) ont signalé que les valeurs relevées d'égouttement fluctuent entre 63,8 et 77,8 % dans différents pays européens de la Méditerranée. Néanmoins, cet égouttement important signalé par ces auteurs est accompagné de quantités de pluies annuelles comprises entre 478 et 1 275 mm. L'égouttement, faible dans notre cas, peut être attribué, en partie, aux précipitations majoritairement faibles (entre 246,9 et 528,4 mm/an). Outre la quantité totale de pluies faible, leur répartition dans le temps influe également sur l'égouttement.

Les résultats relatifs aux répartitions des précipitations journalières sur plusieurs intervalles ont indiqué que le nombre de jours avec des pluies faibles (< 4 mm) est très élevé. Cela se répercute sur le nombre de jours d'égouttement et d'écoulement, et par conséquent sur les quantités d'eaux qui arrivent au sol forestier. Attarod *et al.* (2015) ont démontré que le changement du régime pluviométrique en climat semi-aride touche beaucoup plus la fréquence des précipitations journalières comprises entre 0,1 et 5 mm, où la fréquence de (P) inférieure à 5 mm est devenue très importante. Sous un climat

semi-aride, Sadeghi *et al.* (2016) signalent des taux d'égouttement faibles pour une essence de feuillus lorsque les précipitations journalières sont comprises entre 0,4 et 2,5 mm, et des taux d'égouttement importants lorsque les précipitations journalières sont supérieures à 10 mm. De même, Dumas (2009) a mentionné que durant les faibles averses, pas ou peu d'eau traverse la canopée, alors que pour les épisodes pluvieux longs, la quantité d'eau qui traverse la canopée peut complètement saturer les différents niveaux de stockage possibles.

Par ailleurs, d'autres facteurs, comme les particules en suspension dans l'atmosphère dues à l'érosion fréquente du sol (Chermat *et al.* 2013), peuvent entraver l'égouttement en s'accumulant sous forme de poussières sur les feuilles et les branches des arbres, sous l'effet de l'insolation prolongée et des vents.

À l'échelle mensuelle, les valeurs d'égouttement faibles enregistrées durant la période estivale peuvent être expliquées par les fortes températures et les vents chauds et secs venants du sud (sirocco) (Emberger 1938 ; Chermat *et al.* 2013), qui provoquent une forte évaporation, notamment pour les pluies inférieures à 4 mm.

D'un autre côté, Limousin *et al.* (2008) ont trouvé un taux d'égouttement de 55,6 % dans une chênaie caractérisée par un indice foliaire de 3,1. Ce taux est proche de celui de notre étude (57,4 %), malgré un indice foliaire estimé de 1,4. Donc il est vraisemblable que le facteur principal qui a influé sur l'égouttement était le régime pluviométrique.

Écoulement (E_e)

Les taux d'écoulements mesurés (6,7 % en moyenne) sont en accord avec d'autres études menées sur *Quercus* spp. (Petit & Kalombo 1984 ; Limousin *et al.* 2008 ; Fathizadeh *et al.* 2013) qui ont montré que le pourcentage de l'eau qui circule le long des troncs peut atteindre 10 % des précipitations. Ainsi, Bellot (1989) et Comin *et al.* (1987) ont estimé ce taux d'écoulement à une valeur supérieure à 13 % dans des sites qui cumulent des précipitations entre 570 et 862 mm/an. Par contre, d'autres auteurs (Carlyle-Moses *et al.* 2004 ; Holwerda *et al.* 2006) ont mentionné que le taux d'écoulement est négligeable (< 5 %).

Le taux et le volume d'écoulement sont liés directement à l'importance des précipitations journalières. Notre étude a révélé que le nombre de jours caractérisés par des

précipitations supérieures à 4 mm ne représente qu'un pourcentage faible par rapport au nombre total de jours de précipitations (< 20 %). De même, Sadeghi *et al.* (2016) ont trouvé un taux d'écoulement nul sous le couvert de *Fraxinus rotundifolia* et de *Cupressus arizonica* pour la classe de pluies comprises entre 0 et 2,5 mm.

La trajectoire des gouttelettes d'eau est modifiée par le vent, ce qui a pour effet d'augmenter ou de diminuer l'eau écoulée selon la biomasse, la morphologie et la ramification du feuillage des différents arbres qui constituent la chênaie. La phénologie de l'arbre influe sur la surface de la canopée et donc sur la capacité de stockage de l'eau et l'interception (Pypker *et al.* 2005). Ainsi, l'écorce épaisse et rugueuse du chêne vert entrave le déclenchement de l'écoulement des pluies (Aussenac & Boulangeat 1980 ; Dumas 2009 ; Aussenac 1970). Un volume considérable des précipitations est retenu par l'écorce du chêne vert et certains chercheurs (Aussenac & Boulangeat 1980) pensent que son rôle doit être non négligeable pour la biologie de l'arbre.

La quantité d'eau écoulée qui arrive au contour très proche du chêne vert est bénéfique pour son enracinement. Les espèces à fort écoulement ont des racines denses et ramifiées (Aussenac & Boulangeat 1980).

Dans la présente étude, la variation intermensuelle de l'écoulement a été très forte. Les taux d'écoulement sont liés étroitement avec les quantités de pluies. Les mois de juillet et août, qui ont enregistré les précipitations les plus faibles, se sont caractérisés par un taux d'écoulement nul.

Interception (I)

Les taux d'interception de la présente étude (35,8 % en moyenne) sont relativement élevés par rapport aux autres études conduites sur le chêne vert (< 31 %) (Dolman 1987 ; Bellot 1989 ; Humbert & Najjar 1992 ; Rodrigo & Avila 2001 ; Carlyle-Moses *et al.* 2004 ; Limousin *et al.* 2008 ; Pereira *et al.* 2009). Cependant, en considérant les volumes d'interception, Limousin *et al.* (2008) ont trouvé un volume de 497 mm correspondant à un taux de 30,9 %, contrairement à notre situation où on a calculé un volume total d'interception de 397 mm, ce qui représente un taux de 35,8 %.

Le régime pluviométrique journalier semble être le facteur principal responsable de

l'interception élevée dans la chênaie de Hamla. Dans la présente étude, les jours où les précipitations sont inférieures à 4 mm représentent la classe la plus fréquente par rapport au total des jours de précipitations. Ces faibles pluies s'évaporent souvent avant le déclenchement de l'égouttement et de l'écoulement et augmentent ainsi le volume et le taux d'interception.

De nombreux auteurs ont confirmé que les faibles quantités de pluies journalières contribuent à l'augmentation des taux d'interception quelle que soit la formation arborée considérée (Aussenac 1980 ; Nizinski & Saugier 1989 ; Gash *et al.* 1995 ; Attarod *et al.* 2015 ; Sadeghi *et al.* 2016 ; Van Stan *et al.* 2016).

D'un autre côté, d'autres facteurs peuvent influencer sur le volume et le taux d'interception tels que l'âge de l'arbre (Dumas 2009) qui va influencer sur l'indice de surface foliaire (Teixeira Filho 1995 ; Gomez *et al.* 2001 ; Deguchi *et al.* 2006) et la capacité de stockage de la canopée, la radiation solaire (Linhoss *et al.* 2016) et la densité du peuplement (Rapp & Romane 1968 ; Bellot *et al.* 1999 ; Bryant *et al.* 2005).

Nos résultats montrent que la variabilité de l'interception est forte entre les mois. De même, Humbert & Najjar (1992) et Nizinski & Saugier (1989) ont affirmé l'existence de différences mensuelles et saisonnières notables pour le chêne.

Cette variabilité intra-annuelle est largement tributaire de l'importance des précipitations journalières incidentes et de la température. D'une façon générale, l'interception était plus importante en été qu'en hiver.

Conclusion

Cette étude est la première dans la région des Aurès en Algérie. Elle a abouti à une meilleure connaissance de l'interception des pluies par un couvert de chêne vert.

Durant la période allant de 2011 à 2013, le dispositif installé sur un sol nu a mis en évidence que les précipitations journalières sur les Aurès sont majoritairement inférieures à 4 mm. La quantité des précipitations annuelles enregistrées a été comprise entre 246,9 et 528,4 mm réparties sur 90 à 135 jours. Par ailleurs, le dispositif installé sous le feuillage a permis d'évaluer la proportion des pluies qui atteint le sol par égouttement. Elle varie

d'une année à l'autre et d'un mois à l'autre. Elle se situe en moyenne à 57,4 % des précipitations (soit un volume de 637 mm durant les trois ans d'étude), partagée sur un maximum de 75 jours/an. Quant à la fraction des précipitations qui atteint le sol par écoulement, elle a été appréciée par un dispositif scellé sur les troncs des arbres. Elle ne représente en moyenne que 6,7 % des précipitations (ce qui représente un volume total de 74,35 mm durant les trois ans d'étude) distribuée sur une période ne dépassant pas 13 jours/an. Cette quantité d'eau très faible, qui arrive au sol proche des troncs d'arbres, peut justifier la faible productivité du chêne vert dans les Aurès.

Les quantités d'interception sont considérables. Elles ont représenté en moyenne 35,8 % des précipitations (ce qui correspond à un volume de 397 mm durant les trois ans d'étude). Cette interception élevée signifie que le sol forestier bénéficie de faibles quantités d'eau, ce qui a des conséquences sur les micro-organismes, la faune et la flore. À titre d'exemple, la faible humidité dans le sol peut affecter le taux de germination des graines et des glands des essences forestières dans la région et affaiblir leur régénération naturelle. Par conséquent, il serait intéressant de chercher des espèces ou bien des génotypes plus tolérants aux faibles précipitations journalières pour faire face à cette situation.

La variation de l'égouttement, de l'écoulement et de l'interception est importante dans le temps. Elle est largement tributaire de l'importance des précipitations journalières.

L'étude de la relation entre les différents paramètres mesurés a révélé de fortes corrélations positives entre les précipitations et les volumes d'égouttement et d'écoulement ; tandis que l'interception est corrélée négativement avec les précipitations. Les mois qui ont connu des faibles précipitations (juillet et août en général) ont été caractérisés par un écoulement et un égouttement les plus faibles et une interception la plus élevée.

Les modèles, décrits sous forme d'équations, peuvent servir pour prédire la quantité des eaux qui vont arriver au sol forestier soit par égouttement soit par écoulement dans les chênaies des Aurès, puis pour appréhender l'interception. En outre, ces modèles peuvent contribuer à la compréhension du cycle de l'eau dans cette région.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier vivement le personnel de l'Agroparistech (centre de Nancy – France) et les cadres de la conservation des forêts de la Wilaya de Batna. Nos gratitude vont particulièrement à messieurs Gasparrotto D., Briki S. et à madame Behloul W.

Références

- Abdessemed K., 1981. *Le Cèdre de l'atlas (Cedrus atlantica Manetti) dans les massifs de l'Aurès et du Belezma : Étude phytosociologique et problèmes de conservation et d'aménagement*. Thèse de doctorat de l'université Aix Marseille, 199 p.
- Abdessemed K., 1984. Les problèmes de la dégradation des formations végétales dans l'Aurès (Algérie). Première partie : la dégradation, ses origines et ses conséquences. *Forêt méditerranéenne* 4(1) : 19-26.
- Aussenac G., 1968. Interception des précipitations par le couvert forestier. *Ann. Sc. Forest.* 25(3) : 135-156.
- Aussenac G., 1970. Action du couvert forestier sur la distribution au sol des précipitations. *Ann. Sc. Forest.* 27(4) : 383-399.
- Aussenac G. & Boulangeat C., 1980. Interception des précipitations et évapotranspiration réelle dans des peuplements de feuillu (*Fagus sylvatica* L.) et de résineux (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco). *Ann. Sc. Forest.* 37(2) : 91-107.
- Attarod P., Sadeghi S.M.M., Pypker T.G., Bagheri H., Bagheri M. & Bayramzadeh V., 2015. Needle-leaved trees impacts on rainfall interception and canopy storage capacity in an arid environment. *New Forests* 46: 339-355.
- Beghami Y., Kalla M., Vela E., Thinon M. & Benmessaoud H., 2013. Le genévrier thurifère (*Juniperus thurifera* L.) dans les Aurès, Algérie : considérations générales, cartographie, écologie et groupements végétaux. *ecologia mediterranea* 39(1) : 17-29.
- Bellot J., 1989. *Análisis de los flujos de deposición global, translocación, escorrentía cortical y deposición seca en el encinar mediterráneo de L'Avic (Sierra de Prades, Tarragona)*. Thèse de doctorat de l'université d'Alicante, 284 p.
- Bellot J., Avila A. & Rodrigo A., 1999. Throughfall and Stemflow. In: Roda F., Retana J. & Gracia C.A. (eds.), *Ecology of Mediterranean evergreen oak forests*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg: 209-222.
- Benslimane M., Hamimed A., El Zerey W., Khaldi A. & Mederbal K., 2008. Analyse et suivi du phénomène de la désertification en Algérie du Nord. *Vertigo, la revue électronique en sciences de l'environnement* 8(3) : [en ligne, <https://vertigo.revues.org/6782>].
- Bonin G., 2008. 30 ans de recherche forestière en région méditerranéenne. *Forêt méditerranéenne* 29(4) : 431-444.
- Bryant M.L., Bhat S. & Jacobs J.M., 2005. Measurements and modeling of throughfall variability for five forest communities in the southeastern US. *J. Hydrol.* 312(1-4): 95-108.

- Carlyle-Moses D.E. & Price A.G., 1999. An evaluation of the Gash interception model in a northern hardwood stand. *J. Hydrol.* 214: 103-110.
- Carlyle-Moses D.E., Laureano, J.S.F. & Price, A.G., 2004. Throughfall and throughfall spatial variability in Madrean oak forest communities of northeastern Mexico. *J. Hydrol.* 297(1-4): 124-135.
- Chermat S., Djellouli Y. & Gharzouli R., 2013. Dynamique régressive de la végétation des hautes plaines sétifiennes : érosion de la diversité floristique du djebel Youssef (Algérie). *Terre Vie-Rev. Ecol.* 68(1) : 85-100.
- Chermat S., Gharzouli R. & Djellouli Y., 2016. Phytodynamique des groupements steppiques de djebel Zdim en Algérie nord-orientale. *ecologia mediterranea* 42(1) : 51-63.
- Comin M.P. & Escarre A., Gracia C.A., Liedo M.J., Rabella R., Savé R. & Terradas J., 1987. Water use by *Quercus ilex* in forests near Barcelona, Spain. In: Tenhunen J.D., Catarino F.M., Lange O.L. & Oechel W.C (eds.), *Plant response to stress-functional analysis in Mediterranean ecosystems*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg: 259-266.
- Dahmani-Megrerouche M., 2002. Typologie et dynamique des chênaies vertes en Algérie. *Forêt méditerranéenne* 23(2) : 117-132.
- Deguchi A., Hattori S. & Park H.T., 2006. The influence of seasonal changes in canopy structure on interception loss: application of the revised Gash model. *J. Hydrol.* 318: 80-102.
- Dolman A.J., 1987. Summer and winter rainfall interception in an oak forest: predictions with an analytical and a numerical model. *J. Hydrol.* 90:1-9.
- Dumas D., 2009. Estimation de l'influence de la couverture forestière sur les pluies en montagne : exemple du massif de la Chartreuse. *Revue forestière française* 60(6) : 711-726.
- El Achi M., 2010. *Évaluation des ressources forestières mondiales. Rapport national Algérie*. FAO, Rome, 57 p.
- Emberger L., 1938. *Les Arbres au Maroc et comment les connaître*. Volume I. Larousse, Paris, 314 p.
- Fathizadeh O., Attarod P., Pypker T.G., Darvishsefat A.A. & Zahedi Amiri G., 2013. Seasonal variability of rainfall interception and canopy storage capacity measured under individual oak (*Quercus brantii*) trees in western Iran. *J. Agr. Sci. Tech.* 15: 175-188.
- Gash J.H.C., 1979. An analytical model of rainfall interception by forests. *Quart. J. R. Met. Soc.* 105(443): 43-55.
- Gash J.H.C., Lloyd C.R. & Lachoud G., 1995. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. *J. Hydrol.* 170: 79-86.
- GIEC, 2014. *Changements climatiques 2014*. Rapport de synthèse du GIEC, Suisse, 161 p.
- Gómez J.A., Giraldez J.V & Fereres E., 2001. Rainfall interception by olive trees in relation to leaf area. *Agr. Water Manage.* 49(1): 65-76.
- Holwerda F., Sctena F.N. & Brunjnzeel L.L., 2006. Throughfall in a Puerto Rican lower montane rain forest: a comparison of sampling strategies. *J. Hydrol.* 327: 592-602.
- Humbert J. & Najjar G., 1992. *Influence de la forêt sur le cycle de l'eau en domaine tempéré. Une analyse de la littérature francophone*. Thèse de l'université de Strasbourg, 88 p.
- Jackson N.A., 2000. Measured and modeled rainfall interception loss from an agroforestry system in Kenya. *Agr. Forest Meteorol.* 100(4): 323-336.
- Khater N., 2010. *Contribution à l'étude de la production d'un taillis de chêne vert dans une séquence dégradée : cas de Tallis de Marconna (Batna)*. Mémoire de magistère de l'université de Batna, 72 p.
- Lempereur M., Limousin J.-M., Guibal F., Ourcival J.-M., Rambal S., Ruffault J. & Mouillot F., 2017. Recent climate hiatus revealed dual control by temperature and drought on the stem growth of Mediterranean *Quercus ilex*. *Global Change Biol.* 23: 42-55.
- Limousin J.-M., Rambal S., Ourcival J.-M. & Richard J., 2008. Modelling rainfall interception in a Mediterranean *Quercus ilex* ecosystem: lesson from a throughfall exclusion experiment. *J. Hydrol.* 357: 57-66.
- Linhoss A.C. & Siegert C.M., 2016. A comparison of five forest interception models using global sensitivity and uncertainty analysis. *J. Hydrol.* 538: 109-116.
- Livesley S. J., Baudinette B. & Glover D., 2014. Rainfall interception and stem flow by eucalypt street trees: the impacts of canopy density and bark type. *Urban forestry & urban greening* 13(1): 192-197.
- Llorens P., 1997. Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area: 2. Assessment of the applicability of Gash's analytical model. *J. Hydrol.* 199: 346-359.
- Llorens P. & Domingo F., 2007. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. *J. Hydrol.* 335: 37-54.
- Meddi M. & Toumi S., 2013. Study of the interannual rainfall variability in northern Algeria. *Revue scientifique et technique* 23 : 40-59.
- Muzylo A., Llorens P., Valent F., Keizer J.J., Domingo F. & Gash J.H.C., 2009. A review of rainfall interception modeling. *J. Hydrol.* 370: 191-206.
- Navar J., Charles F. & Jurado E., 1999. Spatial variations of interception loss components by *Tamaulipan thornscrub* in northeastern Mexico. *Forest Ecol. Manag.* 124(2-3): 231-239.
- Nizinski J. & Saugier B., 1989. Dynamique de l'eau dans une chênaie (*Quercus petraea*) en forêt de Fontainebleau. *Ann. Sc. Forest.* 46(2) : 173-186.
- Pereira F.L., Gash J.H.C., David J.S., David T.S., Monteiro P.R. & Valente F., 2009. Modelling interception loss from evergreen oak Mediterranean savannas: application of a tree-based Modeling approach. *Agr. Forest Meteorol.* 149: 680-688.
- Petit F. & Kalombo K., 1984. Interception des pluies par différents couverts forestiers. *Bulletin de la Société géographique de Liège* 20 : 99-127.
- Pypker T.G., Bond B. J., Link T.E., Marks D. & Unsworth M. H., 2005. The importance of canopy structure in controlling the interception loss of rainfall: examples from a young and an old-growth Douglas-fir forest. *Agr. Forest Meteorol.* 130: 113-129.
- Quézel P., 1976. Forêts et maquis méditerranéens : écologie, conservation et aménagement. UNESCO.
- Quézel P., 2000. Réflexion sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. Ibis Press, Paris, 117 p.
- Rapp M. & Romane F., 1968. Contribution à l'étude du bilan de l'eau dans les écosystèmes méditerranéens : égouttement des précipitations sous des peuplements de *Quercus ilex* L. et de *Pinus halepensis* Mill. *Oecol. Plant.* 3 : 271-284.

- Rodrigo A. & Avila A., 2001. Influence of sampling size in the estimation of mean throughfall in two Mediterranean holm oak forests. *J. Hydrol.* 243(3-4): 216-227.
- Sadeghi S.M.M., Attarod P., & Pypker T.G., 2015a. Differences in rainfall interception during the growing and non-growing seasons in a *Fraxinus rotundifolia* Mill. plantation located in a semiarid climate. *J. Agr. Sci. Tech.* 17: 145-156.
- Sadeghi S.M.M., Attarod P., Van Stan J.T., Pypker T.G. & Dunkerley D., 2015 b. Efficiency of the reformulated Gash's interception model in semiarid afforestations. *Agr. Forest Meteorol.* 20: 76-85.
- Sadeghi S.M.M., Attarod P., Van Stan J.T., Pypker T.G., 2016. The importance of considering rainfall partitioning in afforestation initiatives in semiarid climates: a comparison of common planted tree species in Tehran, Iran. *Sci. Total Environ.* 568: 845-855.
- Schellekens J., Scatena F.N., Bruijnzeel L. A. & Wickel A.J., 1999. Modelling rainfall interception by a lowland tropical rain forest in northeastern Puerto Rico. *J. Hydrol.* 225(3-4): 168-184.
- Smadhi D., 2011. *Régionalisation et modélisation agro-climatique en céréaliculture pluviale. Cas du nord de l'Algérie*. Thèse de doctorat de l'École nationale supérieure d'agronomie d'Algérie, 180 p.
- Sraj M., Brilly M. & Mikos M., 2008. Rainfall interception by two deciduous Mediterranean forests contrasting stature in Slovenia. *Agr. Forest Meteorol.* 148: 121-134.
- Teibi M., 1992. *Contribution à l'étude de l'estimation de biomasse aérienne d'un taillis de chêne vert et de deux genévriers : genévrier oxycèdre, et genévrier de Phénicie*. Mémoire d'ingénieur de l'Institut national des études supérieures agronomiques de Batna, 92 p.
- Teixeira Filho J., 1995. *Analyse et modélisation du fonctionnement hydrique d'un écosystème forestier méditerranéen : spatialisation à l'échelle du bassin versant*. Thèse de l'université de Montpellier II, 312 p.
- Van Stan J.T., Gutmann E.D., Lewis E.S. & Gay T.E., 2016. Modeling rainfall interception loss for an epiphyte-laden *Quercus virginiana* forest using reformulated static- and variable-storage Gash analytical models. *J. Hydrometeorol.* 17: 1985-1997.
- Vialard-Goudou A. & Richard C., 1956. Étude pluviométrique, physico-chimique et économique des eaux de pluie à Saigon (1950-1954). *Agronomie Tropicale* 11(1) : 78-92.

Résumé

L'objectif principal de cette thèse est de comprendre le fonctionnement des chênaies à *Quercus ilex* L dans les Aurès (Est algérien), en estimant dans le temps et dans l'espace l'interception des précipitations et des apports en éléments N, P et K par les pluies, pluviollessivats et litières.

La redistribution des précipitations par l'action du chêne vert, en différentes fractions d'égouttement, écoulement et d'interception ont été évaluée sur une période de trois années successives (2011 – 2013) dans trois stations (Hamla, Larbaa et Marconna). En outre, les retombées de litières et de pluviollessivats ont été évaluées sur une période de deux années (2012 et 2013) dans les stations de Larbaa et Marconna.

Les dispositifs de récupération des précipitations, égouttements, écoulements et de litières ont été installés sur un sol nu, sous couvert et scellé sur les troncs des arbres respectivement.

Les résultats ont montrés que le taux des eaux qui arrivent au sol par égouttement varie avec l'année et la station considérées. Il se situe en moyenne entre 57.4 et 66.3 % des précipitations reçues par les trois stations.

L'écoulement ne représente en moyenne qu'une fraction faible des précipitations totales (5,5 à 7,1 %).

Les relations entre les précipitations, l'écoulement et l'égouttement dans les différentes stations ont été appréciées par des régressions linéaires qui ont montrées de fortes corrélations entre les différentes fractions d'eaux et les précipitations (R^2 varie entre 0,80 et 0,99). Les modèles issues de cette étude ont montré que les chênaies des Aurès doivent recevoir au moins des précipitations allant de 1 à 2 mm et de 3 à 5 mm pour qu'elles puissent déclencher l'égouttement et l'écoulement respectivement.

L'interception mesurée était très forte. Elle varie en moyenne entre 26,7 % et 40,2 % des précipitations incidentes.

- Les retombées biologiques, toutes origines confondues, ont assuré un approvisionnement du sol en éléments minéraux N, P et K avec des quantités qui varient entre 34.8 à 71 kg/ha.

Mots clés : Précipitations, interception, retombées biologiques, pluviollessivat, *Quercus ilex* L. Aurès, chêne vert.

ملخص

الهدف من هذه الأطروحة هو محاولة فهم النظام البيئي لغابات البلوط الأخضر بالاوراس (الجزائر) وهذا من خلال تقييم التغير في المكان والزمان لبعض المعايير المتعلقة بالتغذية المائية والمعدنية الخاصة بهذا النظام. تمت الدراسة بثلاث محطات غابية (حملة، لرباع ومركونة) لمدة ثلاث سنوات (2011 – 2013) وهذا من اجل تقييم كميات الماء الناتجة عن تساقط الامطار والكميات الناتجة عن اعادة توزيعها بفعل الغطاء الغابي والمتمثلة في مياه التقطير، جريان عبر جذوع الاشجار وكميات معترضة (لاتصل الى التربة الغابية). كما تمت عملية متابعة كمية المعادن التي تعود الى التربة الغابية بفعل الأمطار، التقطير والمواد العضوية الصلبة المتساقطة من الاشجار وهذا بكل من غابة لرباع ومركونة لمدة عامين (2012–2013)، و من اجل التقييم الدقيق لكل المعايير السابقة تم الاستعانة بحاويات استرجاع خاصة صممت لهذا الغرض وذلك حسب الشروط المعمول بها في هذا المجال. أظهرت النتائج ان نسبة المياه التي تصل الى التربة الغابية بالتقطير تتغير من 57.4 – 66.3 % من مجموع الامطار المتساقطة خلال فترة الدراسة. وان نسبة الجريان عبر جذوع الاشجار لا تمثل إلا نسبة ضعيفة (5.5 – 7.1 %) من مجموع الامطار المتساقطة، أما نسبة المياه المعترضة التي لا تصل الى التربة الغابية فقد قدرت بـ 26.7 - 40.2%. كما بينت نتائج الدراسة ان التغير المتعلق بالتقطير، الجريان والاعتراض مهم ويرتبط بكمية وكثافة الامطار المتساقطة يوميا وقد تم تحديد العلاقة بين كمية الأمطار، الجريان و التقطير بانحدارات خطية والتي بدورها أظهرت من جهة ارتباطات ايجابية قوية بين كمية الأمطار المتهاطلة، الجريان و التقطير ومن جهة اخرى ارتباطات سلبية بين الأمطار و الكميات المعترضة بفعل الغطاء الغابي او التبخر. توصلت نتائج البحث ايضا الى معادلات يمكن استعمالها كنماذج للتنبؤ بكميات كل من مياه التقطير، الجريان والكميات المعترضة التي لاتصل حقيقة الى التربة الغابية، وباستعمال المعادلات المشار اليها يتبين انه من اجل بداية عملية التقطير يتطلب الغطاء الغابي كمية تتراوح بين 1 و 2 مم من الامطار فيما يتطلب بداية الجريان عبر جذوع الاشجار كمية اكثر اهمية قد تصل الى 5 مم. فيما يخص التغذية المعدنية اظهرت نتائج الدراسة ان كمية الازوت، الفسفور والبوتاسيوم التي تستفيد منها التربة الغابية بفعل التساقطات البيولوجية (أمطار تقطير والمواد العضوية الصلبة) تتغير من 34.8 الى 71 كغ /هكتار/ السنة.

الكلمات الدالة : الأمطار ، اعتراض الأمطار ، التساقطات البيولوجية ، مواد عضوية صلبة، تقطير، الأوراس ، البلوط الأخضر ، *Quercus ilex* L

Abstract

The main objective of this thesis is to understand the functioning of *Quercus ilex* L. forests, in the Aurès (Algeria), by estimating in time and space, interception of precipitation and provisions in elements N, P and K by precipitation, throughfall and litter.

The redistribution of precipitation, by the action of the holm oak, in different fractions of throughfall, stemflow and interception were evaluated for a period of three successive years (2011 – 2013) in three stations (Hamla, Larbaa and Marconna). Similarly, the fallouts of litters and throughfall were quantified from 2012 and for two successive years in the stations of Larbaa and Marconna.

Precipitation, throughfall, stemflow and litter recovery devices were fixed on bare ground, under cover and sealed on tree trunks respectively.

The results showed that the rate of water that reaches the soil by throughfall varies with the year and the station. It averages between 57.4% and 66.3% of the precipitation received for the three stations.

The stemflow represents on average only a small fraction (5.5 to 7.1 % of total precipitation). The relationships between precipitation, throughfall and stemflow in the studied stations were assessed by linear regressions, which showed strong correlations between different water fractions and precipitation (R^2 varies between 0.80 and 0.99). The models resulting from this study have shown that the evergreen oak in the Aurès must receive, at least, precipitation ranging from 1 to 2 mm and 3 to 5 mm, for which it can initiate throughfall and stemflow respectively.

The evaluated interception was very high. It varies on average for this study between 26.6% and 40.2 % of incident rainfall.

- Biological fallout, from all sources, provided a soil supply in mineral elements N, P and K ranging from 34.8 to 71 kg / ha / year.

Key words: precipitation, interception, biological fallout, throughfall, *Quercus ilex* L. Aurès, Holm oak