

Rôle de l'éclaircie pour la biodiversité dans les peuplements artificiels de résineux

Convention ECOFOR/AFOCEL n° 98.19

Rapport final

Coordination :

Alain BAILLY
AFOCEL Centre-Ouest
Les Vaseix
87430 VERNEUIL SUR VIENNE
tél : 5 55 48 48 10
fax : 5 55 48 48 19
email : alain.bailly@afocel.fr

Participants : AFOCEL

A. BAILLY
A. COUTY
J. PERMINGEAT
A. BOUVET
C. DELEUZE

CEMAGREF

F. RUCHAUD
R. JOUVIE

ENGREF

J.C. RAMEAU
I. BONHEME

UNIVERSITE BOURGOGNE

F. ANDREUX
M. KOPP

Limousin Nature Environnement

M. BARDINAL

CRPF Limousin

D. BRANCA



SOMMAIRE

RESUME	3
INTRODUCTION	5
1. Sélection et caractérisation des sites d'études	7
11. Site de Bossican	8
12. Site de Fréteval	9
13. Site de Le Breuil	10
14. Site de Saint Amand	11
15. Site de Saint Brisson	12
2. Mesures réalisées	13
21. Mesures dendrométriques	13
22. Mesures de lumière	14
221. Mesure de la lumière incidente sous peuplement	14
222. Mesure de la lumière incidente en zone dégagée	15
223. Calcul de l'irradiance relative	15
23. Mesures relatives au sol	16
231. Echantillonnage	16
232. Analyses	16
24. Mesures de diversité biologique	17
3. Résultats	18
31. Eclaircissement	18
32. Diversité végétale	22
321. Méthodologie	22
322. Composition floristique	24
323. Diversité végétale : comparaison Douglas-Feuillus	28
324. Diversité végétale : nombre d'espèces présentes	32
33. Compartiment sol	35
331. Densité apparente	35
332. Capacité d'échange cationique	36
333. Mesures de pH	37
334. Teneur en azote total et carbone organique	37
335. Analyse des corrélations	39
CONCLUSION	40
BIBLIOGRAPHIE	41
ANNEXE 1 : Pages de garde des rapports d'I. BONHEME et M. KOPP	44
ANNEXE 2 : Tableaux des données brutes	47



RESUME

L'objectif global du projet est de caractériser l'impact de l'éclaircie sur le fonctionnement de l'écosystème « boisement artificiel de résineux », afin de donner aux gestionnaires des règles simples pour concilier les objectifs économiques de ces boisements (revenus pour le propriétaire, matière première d'une industrie d'avenir...) et les attentes écologiques (biodiversité, mélange d'essences...).

Dans un premier temps, nous avons choisi de nous limiter aux plantations de Douglas et de fixer comme objectif scientifique de définir les bases d'une modélisation des relations éclaircies-éclaircissement du sous bois, et des relations éclaircissement du sous bois-biodiversité.

Le travail est fait en collaboration avec le CEMAGREF, L'ENGREF, l'Université de Bourgogne, le CRPF du Limousin et l'association Limousin Nature Environnement.

Le support de l'étude est constitué par cinq essais d'éclaircie de l'AFOCEL, âgés d'une trentaine d'années, et comparant sur des parcelles unitaires de 10 ares minimum (dispositifs en blocs complets équilibrés), des scénarios sans éclaircie (1100 tiges/ha) et des scénarios avec éclaircies fortes et précoces ramenant le peuplement vers 300 tiges/ha. Ces essais sont répartis en France dans les principales régions à Douglas.

Les mesures portent sur :

- Le peuplement forestier : suivi dynamique individuel de tous les arbres de chaque parcelle unitaire.
- La flore : caractérisation de la station par le dénombrement des espèces et leur note d'abondance-dominance sur deux relevés (200 m²) et par des relevés sur un transect de 60 m dans chaque parcelle unitaire. La composition floristique est également relevée dans un peuplement feuillu à proximité, situé dans des conditions stationnelles comparables.
- L'humus : caractérisation des humus le long des transects de relevés floristiques.
- Le sol : description du profil et analyses physiques et chimiques des deux premiers horizons dans chaque parcelle unitaire.
- La lumière : mesure de l'irradiance relative, rapport entre l'irradiance mesurée dans la parcelle (sous couvert) et l'irradiance mesurée en plein découvert, sur 24 heures, en 5 points dans chaque parcelle unitaire.

Les principaux résultats font ressortir :

- L'effet « station » sur la diversité floristique est prépondérant. En station pauvre cet effet n'est en aucun cas compensé par la sylviculture.
- Sur une « station » donnée, la sylviculture joue un rôle important sur la diversité floristique. Cependant cette diversité floristique n'est pas seulement liée à l'éclaircissement ou à la densité du peuplement de Douglas. Il semble là encore que la liaison diversité floristique – sylviculture (mesurée par la surface terrière du peuplement de Douglas) dépende des conditions de milieu (altitude, roche mère, ambiance forestière, paysage ...).
- La diversité végétale sous peuplement de Douglas éclairci est égale et souvent plus importante que celle mesurée sur des parcelles feuillues en conditions stationnelles comparables.



- L'éclairement mesuré à 50cm du sol par l'irradiance relative est principalement lié à la surface terrière du peuplement. Le seuil de 30m²/ha ressort, seuil en deçà duquel les relations éclairement-surface terrière ne sont pas significatives et au delà duquel un modèle a pu être établi.
- La sylviculture influence favorablement les caractéristiques physiques et chimiques des horizons de surface des sols. Avec le renforcement des éclaircies, les stockages de matière organique (C et N) augmentent. Les valeurs de pH, dans la gamme acide (4 – 4.5) augmentent légèrement avec l'éclaircie, tandis que la CEC, souvent très basse sur les sites expérimentaux, ne présente une valeur forte que sur un site, dans les traitements les plus éclaircis. Enfin, on enregistre avec l'éclaircie une décomposition et une incorporation plus efficaces de la matière organique issue des litières.

Mots clés : Eclaircie, Biodiversité, Composition floristique, sols, sylviculture, Douglas



INTRODUCTION

Les boisements résineux réalisés depuis une cinquantaine d'années avec l'aide du Fonds Forestier National constituent aujourd'hui une ressource importante de bois susceptible de consolider et de développer, en zones rurales, les activités industrielles liées à leur exploitation et à leur transformation.

Pour autant ces plantations résineuses ne bénéficient pas toujours d'une image positive auprès de l'opinion publique rurale ou citadine. Il leur est, entre autre, reproché de détruire l'humus, d'acidifier les sols, de limiter le développement d'une biodiversité suffisante, de fermer les paysages, d'empêcher le développement des sous bois, des champignons ...

Or, la recherche d'un consensus sur la gestion durable des forêts, issue des travaux du Sommet de la Terre qui s'est tenu à Rio en 1992, est devenue incontournable pour tous, industriels, propriétaires, gestionnaires, ... car seul susceptible de permettre l'obtention de label d'écocertification des forêts, de démontrer le bien fondé des opérations sylvicoles en forêt ...

Dans ce cadre l'optimisation de la sylviculture des peuplements forestiers, et plus particulièrement des peuplements résineux, en tenant compte des impacts écologiques, doit être recherchée.

L'examen de la bibliographie met en avant le rôle de l'éclaircie, donc de l'éclaircie, sur les impacts au niveau du sol, du développement d'un sous bois et par voie de conséquence de la faune associée.

- L'influence de l'éclaircie sur la flore et la micro flore est significative. Par exemple les effets positifs de l'éclaircie du Pin maritime sur le développement de la végétation d'accompagnement sont mis en évidence par PAPANASTIS (1995). Des résultats similaires sont mis en évidence par HUMPREY (1995) dans des plantations de Pin sylvestre et par GUITTON et RUCHAUD (1996) sur Douglas et Epicéa en France.

- La faune est modifiée par les techniques culturales et plus particulièrement par l'éclaircie. LEBRETON et CHOISY (1987) ont étudié le changement quantitatif et qualitatif des populations d'oiseaux. Ils montrent que la densité d'arbres par hectare est plus importante que l'espèce forestière pour l'abondance relative des différentes espèces d'oiseaux. PETTY et AVERY (1990) montrent de la même manière que la structure verticale des sous bois et la qualité des stations sont plus importantes pour les populations d'oiseaux que l'espèce forestière principale. Ils notent que l'éclaircie apparaît souvent bénéfique, sans pour autant quantifier son influence.

- Pour ce qui concerne les caractérisations du sol et de son niveau trophique, BUCHET (1996) présente les premiers résultats obtenus sur l'impact des éclaircies sur la respiration globale du sol et la minéralisation de la matière organique. Elle montre que sous peuplements de Douglas et d'Epicéa les populations de lombrics doublent en cas d'éclaircies fortes et que la quantité de litière transformée est alors plus importante en raison d'une meilleure efficacité du cycle de la matière organique. D'autres travaux en cours à l'Université de Bourgogne sous la direction du Pr. ANDREUX (SIMARD V. 1995, JUFFARD I. 1996) montrent des résultats similaires sur l'évolution des humus en fonction de l'éclaircie. Il faut mentionner les travaux menés par l'équipe « Cycles Biogéochimiques » de l'INRA Nancy (J. RANGER) sur la dynamique des sols sous peuplements de Douglas dans le Beaujolais, sans pour autant que soit prise en compte l'éclaircie en tant que telle, qui montre des différences importantes entre les peuplements.



- Enfin, les effets de l'éclaircie sur le cycle de l'eau sont importants. Ainsi, CREGG et HENNESSY (1990) montrent que le potentiel d'eau dans le sol augmente avec l'intensité d'éclaircie sous Pin taeda, ce qui induit des changements de physiologie importants pour la végétation d'accompagnement. Des résultats similaires, liés à l'intensité lumineuse sont rapportés par POTHIER et MARGOLIS (1990).

L'éclaircie, pour le forestier, par son intensité et sa date de réalisation dans la vie du peuplement a des conséquences économiques importantes et bien connues pour la production de bois de qualité. C'est la seule opération sylvicole, une fois le peuplement installé, qui permet d'orienter la durée de révolution, la qualité des bois à produire, l'économie du boisement, ...

Nous avons donc choisi d'étudier comment à travers la pratique de l'éclaircie il était possible de développer des recommandations pour une gestion durable des peuplements artificiels résineux et plus particulièrement des peuplements de Douglas.

L'objectif global de cette étude, qui va bien au delà des 3 ans fixés pour la durée de la convention, est de caractériser l'impact de l'éclaircie sur le fonctionnement de l'écosystème « boisement artificiel de résineux », afin de donner aux gestionnaires des règles simples pour concilier les objectifs économiques de ces boisements (revenus pour le propriétaire, matière première d'une industrie d'avenir ...) et les attentes écologiques (biodiversité, mélange d'essences ...).

Ce travail a été réalisé en collaboration avec le CEMAGREF, l'ENGREF, l'Université de Bourgogne, le CRPF du Limousin et l'association Limousin Nature Environnement.

Deux stagiaires de l'ENGREF (I. BONHEME) et de l'Université de Bourgogne (M. KOPP) ont participé à cette étude. Les pages de garde de leur rapport sont annexées au présent document (annexe 1).



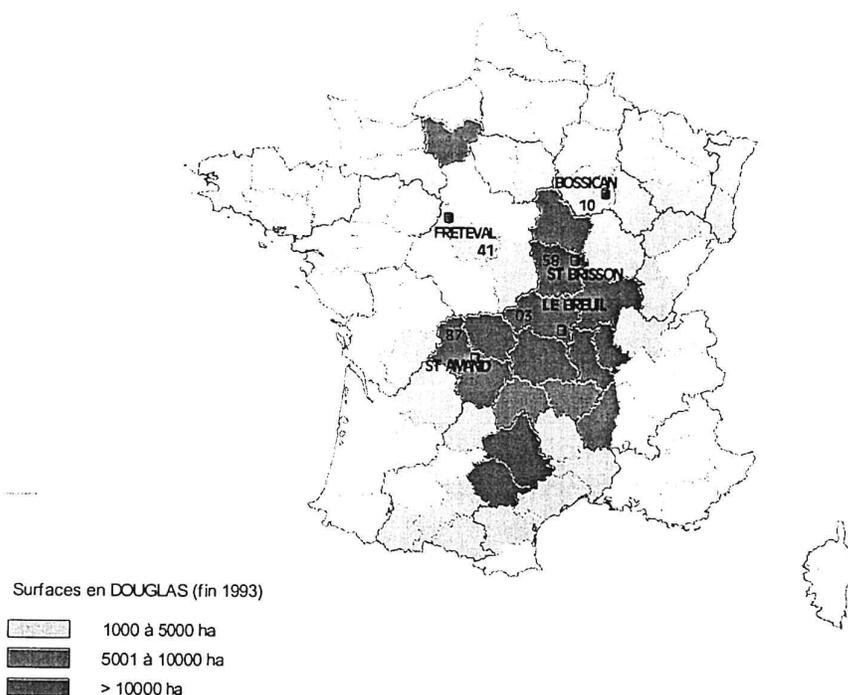
1. Sélection et caractérisation des sites d'études

L'AFOCEL a installé depuis plus de trente ans une quarantaine d'expérimentations sur des peuplements de Douglas visant à tester l'intensité et la date de la première éclaircie et des suivantes. Nous disposons ainsi maintenant de nombreux peuplements âgés de plus de trente ans et ayant subi des itinéraires sylvicoles très variés.

Dans le cadre du projet, les études d'impact ont été menées sur cinq sites comportant au minimum les trois traitements expérimentaux suivants :

- un témoin absolu, n'ayant jamais été éclairci,
- un traitement extrême, dans lequel les éclaircies réalisées ont été fortes et précoces,
- au moins un traitement intermédiaire représentatif des sylvicultures classiquement appliquées localement.

Notre choix s'est porté sur des peuplements suffisamment âgés pour permettre de caractériser l'économie au niveau de la parcelle des itinéraires sylvicoles pratiqués et éclaircis depuis un temps suffisamment long pour que les bouleversements induits par l'éclaircie sur les indicateurs de biodiversité pris en compte soient stabilisés. Ces essais sont répartis dans les principales régions à Douglas.



Carte de répartition des surfaces de Douglas et situation géographique des sites étudiés

11. Site de Bossican

Localisation

Région forestière : Plateau du Barres Nord

Département : Aube (10).

Commune : Bligny.

Altitude : 282 m.

Climat

C'est un climat de type océanique intermédiaire entre celui du bassin parisien à l'ouest et celui du plateau de Langres à l'est.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
P(mm)	63	60	56	46	66	68	60	67	61	56	65	70	738
T (°C)	2.5	3.5	6.5	9.7	14	17	18.9	18.2	15.2	11.3	5.9	3.4	10.4

On peut cependant noter qu'en forêt de Bossican la pluviométrie s'élève entre 750 et 800 mm, en raison de sa situation plus élevée.

Géologie et pédologie

Le site étudié se situe sur un plateau calcaire du Portlandien inférieur. Son altération donne un résidu argileux de couleur rouge-brune, assez riche en limons, décalcifié englobant des cailloux blancs arrondis par l'altération chimique.

On se trouve sur un sol brun lessivé. Le premier horizon (0-15 cm) est un horizon humifère homogénéisé car le sol a été labouré. Sa texture est limono-sableuse et il est relativement riche en matières organiques. Dans le deuxième horizon (15-50 cm) le pourcentage de sable diminue tandis que les parties fines de limon qui étaient de 18% en surface passent à 28%. La compacité est faible et la quantité de matières organiques et de racines diminue. Le troisième horizon est un horizon d'accumulation (50-80 cm), les particules fines sont constituées de 63% de limon et représentent 81% des éléments. Le limon n'est plus humifère, il est compact, plastique et mal structuré mais les grosses racines peuvent encore y pénétrer. Sa couleur est ocre-roux et présente des traînées ocre et des concrétions ferromagnésiques.

Le sol est riche en phosphore assimilable mais pauvre en potasse.

Peuplement

La plantation a eu lieu en mars 1971 sur sol travaillé après coupe rase du taillis sous-futaie, nettoyage à la lame coupante et brûlage des rémanents en tas. La densité de plantation est de 1111 plants/ha (3x3 m au câble).

Quatre traitements ont été mis en place sur deux blocs de parcelles.

PARCELLE	TRAITEMENT	1 ^{ère} ECLAIRCIE 1984 (13 ans) (Nb arbres/ha)		2 nd e ECLAIRCIE 1992 (21 ans) (Nb arbres/ha)	
		AVANT	APRES	AVANT	APRES
201	TEMOIN	1080	1080	1080	1073
301	TEMOIN	1042	1042	1042	1026
202	L3	1057	702	702	486
302	L3	1088	725	725	509
203	L3S4	1111	540	540	309
303	L3S4	1096	540	540	293
204	L3S2	1026	370	370	363
304	L3S2	1057	386	386	386



12. Site de Fréteval

Localisation

Région forestière : Perche Vendômois.
Département : Loir et Cher (41).
Commune : Fréteval.
Altitude : 145 mètres.

Climat

Le climat du Perche est de type océanique avec un maximum de précipitations en automne et en hiver.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
P (mm)	70.3	47.1	55.9	63.4	63.6	48.2	63.1	32.3	54.5	65.7	62.4	66.6	714.7
T (°C)	3,4	3,4	7,0	9,0	13,1	16,1	18,9	18,5	15,6	11,9	6,7	4,5	10.7

Géologie et pédologie

La forêt de Fréteval se situe sur un support géologique formé par de l'argile à silex sur une épaisseur de 10 à 30 m qui surmonte une couche de craie du crétacé supérieur. L'essai se trouve sur un sol lessivé de pente sur argile à silex. Le premier horizon (A : 0-12 cm) est homogénéisé car labouré, de couleur brune, de texture limon moyen à structure polyhédrique subanguleuse et contenant 20% d'éléments grossiers d'une taille allant de 0,5 à 2 cm (silex). Le deuxième horizon (E₁ : 12-23 cm) est de couleur orange-jaune sombre, de texture limon moyen, de structure continue et contenant la même charge en éléments grossiers. Le troisième horizon (E₂ : 23-46 cm) est de couleur orange-jaune sombre, de texture limon moyen, à structure polyhédrique grossière avec une charge en éléments grossiers qui s'élève à 30-40 % et dont les éléments ont une taille de 0,5 à 4 cm. Le quatrième horizon (horizon de transition entre E2 et IIC(g) : 46-60 cm) est de texture limono-argileuse avec une forte charge en éléments grossiers (60-70%) de taille allant de 0,5 à 4 cm et présentant des traces d'hydromorphie. Le cinquième horizon (IIC(g) : 60 à 100 cm au moins) a une texture argileuse, une charge en éléments grossiers supérieure à 70% avec des éléments de taille comprise entre 1 et 5 cm et présente un mélange des couleurs brun-rouge brillant, orange et gris clair. Les racines se développent dans les 3 premiers horizons et très peu dans le quatrième. La réserve utile du sol dans les trois premiers horizons est de 80 mm d'eau et le pH est compris entre 4 et 4,5 sur tout le profil.

Peuplement

La plantation a eu lieu en 1969 après arasement des souches et labour. La plantation s'est faite au pas et l'espacement moyen entre les lignes et de 2,75 m et de 2,6 m sur la ligne, soit à une densité de 1420 tiges/ha.

Quatre traitements ont été mis en place (sans répétition).

PARCELLES	TRAITEMENT	1 ^{ère} ECLAIRCIE 1987 (18 ans) (Nb arbres/ha)		2 ^{nde} ECLAIRCIE 1991 (22 ans) (Nb arbres/ha)		3 ^{ème} ECLAIRCIE 1996 (26 ans) (Nb arbres/ha)	
		AVANT	APRES	AVANT	APRES	AVANT	APRES
P1	TEMOIN	1285	1285	1285	1285	1285	1256
P2	TEMOIN LOCAL	1264	754	754	600	600	451
P3	SD	1147	599	599	449	449	300
P4	SE	1208	434	434	300	300	300



13. Site de Le Breuil

Localisation

Région forestière : Montagne bourbonnaise.
Département : Allier (03).
Commune : Le Breuil.
Altitude : 398 mètres.

Climat

Le climat est de type subatlantique.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
P (mm)	71	63	66	51	82	66	54	75	70	65	68	72	800
T (°C)	2,8	4,0	6,6	9,3	12,9	16,2	18,1	17,8	15,3	11,0	6,2	3,6	10

Géologie et pédologie

Le site se trouve sur un matériau granitique. La fertilité du sol est assez bonne, il est limono-sableux et assez profond.

Premier horizon orange jaune de 6 à 19 cm, texture sablo-limoneuse, structure grenue avec présence de racines abondantes.

Second horizon noir brun, de 11 à 30 cm, texture limono-argilo-sableuse, structure grumeleuse à nuciforme avec peu de racines présentes.

Peuplement

La plantation a eu lieu en 1970. La parcelle avant plantation était probablement une terre agricole. Le sol n'a certainement pas été travaillé en plein avant plantation. Les arbres ont été plantés au pas, en moyenne à une distance de 2,8 m entre les lignes et 3,0 m sur une même ligne, soit à une densité de 1170 plants/ha.

Trois traitements ont été mis en place sans répétition (3 parcelles).

PARCELLES	TRAITEMENTS	1 ^{ère} ECLAIRCIE 1986 (16 ans) (Nb arbres/ha)		2 nd e ECLAIRCIE 1995 (25 ans) (Nb arbres/ha)	
		AVANT	APRES	AVANT	APRES
1	TÉMOIN	1171	1171	1171	1110
2	L3S4	1108	532	532	350
3	L3S2	1182	419	419	233



14. Site de Saint-Amand

Localisation

Région forestière : Plateau Limousin.

Département : Haute-Vienne (87).

Commune : Saint-Amand-le-Petit.

Altitude : 570 mètres.

Climat

Le climat est de type atlantique avec une certaine dégradation liée à l'altitude (150 à 200 jours de pluie par an, 15 à 30 jours de neige par an, et 90 à 130 jours de gel par an).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
P (mm)	197	120	154	82	158	96	83	91	120	177	116	220	1614
T(°C)	3,8	3,3	5,4	7,8	10,5	14,7	17,6	16,5	14,0	10,1	7,0	3,5	9,5

Géologie et pédologie

Le substrat géologique est formé par du granite (granite à biotite ± cordiérite, granodiorites). Le sol est assez profond dans la partie basse de l'essai et plus superficiel dans la partie haute.

L'horizon de surface a une texture de sable limono-argileux à argilo-limoneux, la quantité de graviers varie. Il a une épaisseur variable allant de 15 à 35 cm et est noir. La structure est généralement de type grumeleux et grenu. Il est très poreux. L'horizon sous-jacent, situé entre 30 et 80 cm de profondeur, est de couleur brune, de structure grumeleuse et grenue ; la quantité de graviers et de cailloux augmente avec la profondeur et elle peut atteindre 50% au voisinage de la roche peu altérée. Les horizons suivants sont des horizons d'altérations du granite qui sont meubles, sableux et peu poreux lorsque l'altération est importante, meubles mais contenant des blocs de granite peu altérés relativement durs lorsque l'altération est intermédiaire et dur lorsque le granite est peu altéré.

Peuplement

La plantation a eu lieu en 1962. Il n'y a certainement pas eu de travail du sol en plein. Elle occupe certainement une ancienne zone de landes. Les plants ont été plantés au pas, à une distance moyenne de 2,7 m entre les lignes et de 2,6 m sur une même ligne, soit à une densité de 1425 plants/ha.

Trois traitements ont été mis en place avec trois répétitions (9 parcelles).

PARCELLES	TRAITEMENTS	1 ^{ère} ECLAIRCIE 1984 (22 ans) (Nb arbres/ha)		2 ^{nde} ECLAIRCIE 1990 (28 ans) (Nb arbres/ha)		3 ^{ème} ECLAIRCIE 1995 (33 ans) (Nb arbres/ha)	
		AVANT	APRES	AVANT	APRES	AVANT	APRES
P1	L3S3	1424	539	539	312	312	227
P2	L5S3	1340	639	639	488	488	371
P3	L3S3	1152	494	494	303	303	224
P4	L5S3	1294	593	593	499	499	364
P5	Témoin	1246	1194	1194	1187	1187	1115
P6	Témoin	1146	1100	1100	1063	1063	972
P7	L5S3	1307	571	571	495	495	371
P8	Témoin	1361	1326	1326	1298	1298	1242
P9	L3S3	1222	482	482	317	317	225



15. Site de Saint-Brisson

Localisation

Région forestière : Morvan.

Département : Nièvre (58).

Commune : Saint-Brisson.

Altitude : 670 m.

Climat

Le climat est de type semi-montagnard subissant des influences continentales.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
P (mm)	142	135	112	86	106	105	85	113	107	107	139	164	1401
T(°C)	1,3	2,3	5,1	7,9	11,8	14,9	17,0	16,7	14,5	10,3	5,0	2,5	9.1

Géologie et pédologie

Le substrat géologique est granitique. Le sol est un sol brun acide de 60 cm de profondeur.

0-15 cm : sable limoneux, humifère, sans structure, brun, non compact avec racines abondantes

15-30 cm : sable très faiblement argileux et graveleux, peu de structure, racines abondantes

30-60 cm : horizon identique au précédent, mais sans humus, peu compact.

Sol très acide et probablement très pauvre en potasse assimilable.

Peuplement

La plantation a eu lieu en mai 1970 après coupe du taillis de bouleau et de chêne, arrasage des souches et labour du sol.

Quatre traitements sur deux blocs sont retenus.

PARCELLES	TRAITEMENTS	1 ^{ère} ECLAIRCIE 1984 (14 ANS) (Nb arbres/ha)		2 nd e ECLAIRCIE 1989 (19 ANS) (Nb arbres/ha)		3 ^{ème} ECLAIRCIE 1994 (24 ANS) (Nb arbres/ha)	
		AVANT	APRES	AVANT	APRES	AVANT	APRES
301	TEMOIN	1070	1070	1070	1008	1008	1008
401	TEMOIN	1079	1069	1069	1016	1016	1016
302	L3	1091	730	730	484	484	484
402	L3	1101	720	720	720	720	484
303	L3S4	1070	556	556	556	556	370
403	L3S4	1091	545	545	370	370	370
304	L3S2	1101	381	381	370	370	370
404	L3S2	1091	370	370	370	370	370



2. Mesures réalisées

21. Mesures dendrométriques

Les sites étudiés faisant partie du réseau expérimental de l'AFOCEL, nous disposons d'une série de mesures dynamiques depuis l'installation des différents traitements sylvicoles.

Ces sites font partie du réseau utilisé pour développer un modèle de croissance des peuplements de Douglas (BAILLY, BIGOT, PERMINGEAT 1996)

Les différentes variables mesurées comprennent :

- . La **circonférence à 1.30m** : mesurée sur tous les arbres des parcelles unitaires au mètre ruban.
- . La **hauteur totale** : mesure au Vertex® sur un échantillon structuré de 30 arbres par parcelle unitaire, d'une surface moyenne de 10 ares.
- . La **hauteur du premier verticille vert (HPVV)** (3/4 des branches vertes) : mesure au Vertex® sur l'échantillon défini ci dessus, faisant l'objet de mesure de hauteur totale. La **hauteur du houppier (HOUP)** a été calculée à partir de cette mesure et de la mesure de l'estimation de la hauteur totale.



Parcelle de St AMAND

22. Mesures de lumière

Les mesures sont réalisées selon les protocoles mis au point dans le cadre du projet Européen AIR CT920143 « Northern Conifers in fast growing conditions : a step towards an adequate wood supply for Industry » (coordination AFOCEL : P. MONCHAUX) avec le CEMAGREF de Clermont Ferrand (GUITTON 1996, RUCHAUD, NICOLAÏDES, JOUVIE 2000).

221. Mesure de la lumière incidente sous peuplement

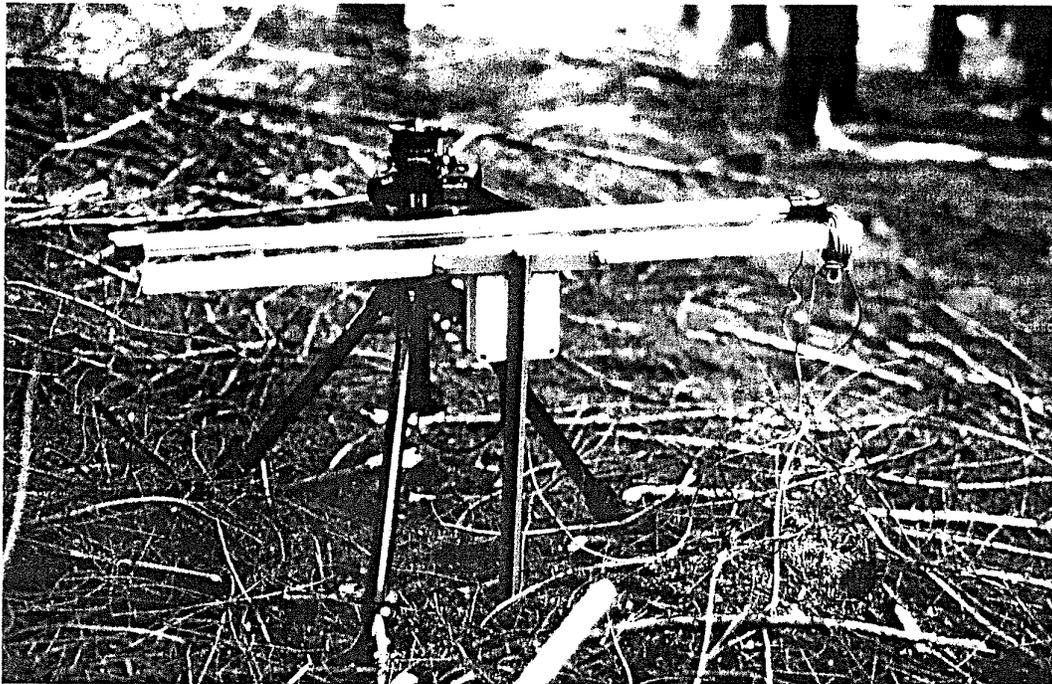
La mesure est réalisée par des tubes solarimètres TSL (thermopile : copper-constantan, tube : pyrex borosilicate glass). Les cellules photosensibles captent l'énergie lumineuse dans le visible et le proche infra-rouge (0,35-2,5 μm). Le flux énergétique entre les aires blanches émettrices et les aires noires réceptrices est transformé en courant par la thermopile.

Les solarimètres sont couplés à des intégrateurs (Delta-T devices Ltd, Burwell, UK) sur lesquels on peut lire en microvolts la mesure cumulée du courant créé dans les solarimètres sur 24 heures. La précision de chaque couple solarimètre-intégrateur est de $\pm 3\%$.

Chaque année, l'appareil est étalonné par le calcul d'un coefficient correcteur de chaque couple solarimètre-intégrateur après 24 heures de mesure en plein champ :

$$\text{Coefficient correcteur du couple} = \frac{\text{Irradiance moyenne de tous les couples}}{\text{Irradiance mesurée pour le couple considéré}}$$

L'heure de mise en route de chaque solarimètre est notée précisément de façon à ce que la mesure dure exactement 24 heures pour chacun des solarimètres. Le décalage de mise en route entre les appareils est de 30 secondes pour les solarimètres d'une même parcelle et de 2 minutes lorsque l'on change de parcelle.



Vue générale d'un solarimètre

La mesure est faite sur cinq solarimètres, pour chacune des parcelles unitaires des dispositifs expérimentaux, placés sur un transect de 30 m à 3,75 ; 11,25 ; 15 ; 18, 75 et 26, 25 m le long du transect. La mesure est faite à 50 cm de hauteur par rapport au sol et à la verticale des points.

La position exacte de chacun des appareils sur le transect et par rapport aux cloisonnements ainsi que l'azimut des lignes de plantation sont notés pour chacune des parcelles.

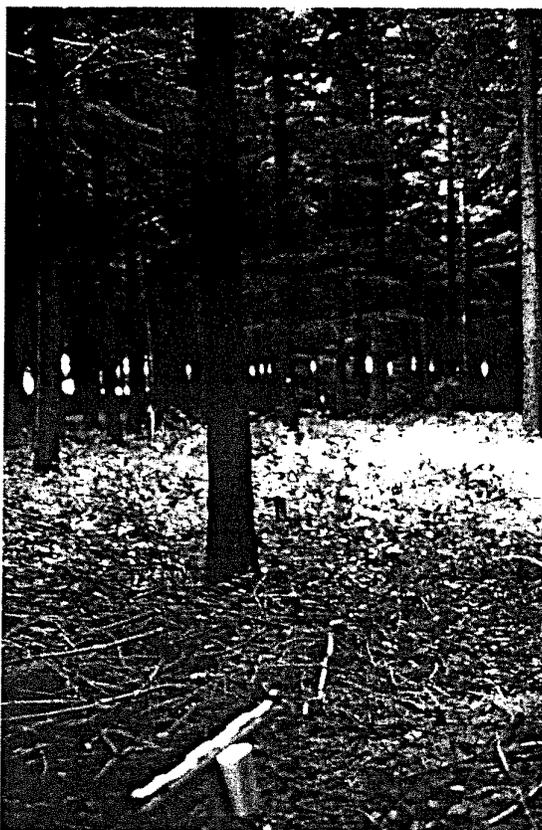
222. Mesure de la lumière incidente en zone dégagée

En zone dégagée (hors d'atteinte d'une éventuelle ombre), une mesure de la lumière incidente est faite par 2 solarimètres à 50 cm du sol, ceci en même temps pour que chaque série de solarimètres placés dans le peuplement de Douglas (toutes les 24 heures).

223. Calcul de l'irradiance relative

La moyenne de ces deux mesures sert de référence pour le calcul de l'irradiance relative moyenne pour une parcelle. L'irradiance relative (%) s'écrit :

$$\text{Irradiance relative} = \frac{\text{Moyenne de l'irradiance sous peuplement (4 mesures)}}{\text{Moyenne de l'irradiance en plein découvert (2 mesures)}} \times 100$$

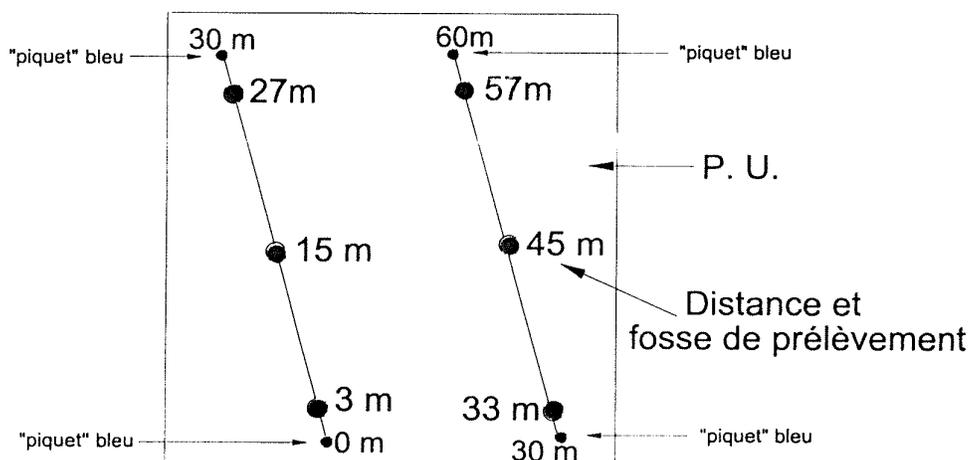


Dispositif en place sur le site de St AMAND

23. Mesures relatives au sol

231. Echantillonnage

Le plan d'échantillonnage retenu pour ce projet consiste, dans chaque parcelle unitaire du plan expérimental des cinq sites d'étude, à ouvrir 6 fosses de façon à pouvoir prélever un échantillon sur les deux premiers horizons. La position de chaque fosse est fixée de la manière suivante :



Sur chaque fosse, une description du profil est réalisée, consignnant par horizon la profondeur, la couleur, une notation de la présence de racines, la texture, la dureté, la structure, l'abondance de la fraction grossière.

Enfin, un échantillon de 400 à 500 g de sol frais est prélevé au transplantoir sur chacun des deux premiers horizons. L'échantillon caractéristique d'un horizon par parcelle unitaire est ensuite constitué par le mélange des 6 prélèvements ainsi effectués.

232. Analyses

L'essai de FRETEVAL a été détruit par la tempête de décembre 1999, avant que les mesures relatives au sol n'aient pu y être réalisées.

Nous avons donc analysé 56 échantillons provenant de 28 parcelles unitaires ayant subi des régimes d'éclaircies différents.

Les analyses ont porté sur :

- . La densité apparente, rapport entre le poids d'un échantillon sec et le poids d'un même volume d'eau (volume de 250 cm³ pour chaque horizon et mesure faite sur les 6 fosses échantillonnées par parcelle unitaire). Cette variable est liée à la porosité du sol (BAIZE 1988).
- . pH H₂O
- . pH KCl
- . Capacité d'échange cationique (CEC) : méthode à la cobalthexamine
- . Carbone organique (méthode par combustion sèche et chromatographie)
- . Azote organique (méthode par combustion sèche et chromatographie)

24. Mesures de diversité biologique

Nous avons restreint notre étude au seul compartiment de la végétation.

Dans chacune des parcelles unitaires des essais d'éclaircie, deux relevés sont réalisés. Sur une surface de 200 m² les espèces sont recensées selon le code d'abondance-dominance de Braun-Blanquet (Rameau, 1988). La placette est de forme rectangulaire et de dimensions 14 m sur 14,5 m (soit 203 m²) de manière à pouvoir la délimiter plus aisément sur le terrain. Les arbres à partir desquels sont tracés les rectangles de relevé sont repérés sur le plan de l'essai.

Dans un peuplement de feuillus du même type stationnel (à proximité immédiate), deux relevés sur des placettes de 200 m² sont également réalisés dans un objectif de comparaison. La flore utilisée est la flore forestière française (Rameau *et al.*, 1989).

De plus, sur les mêmes parcelles unitaires, deux transects d'une longueur totale de 60 m (parfois 3 transects de 20 m quand les parcelles ne sont pas assez larges) sont tracés. Leur orientation est repérée sur le terrain par des marques faites sur les arbres. Une marque à la peinture blanche indique le début du transect et une autre marque indique la direction que suit le transect. La fin du transect est repéré par un piquet bleu. La marque ronde est utilisée pour le premier transect et le trait marque le second transect. Les deux arbres repérés sur le terrain sont également notés sur le plan des parcelles, l'angle du transect et la pente du terrain sont relevés. L'orientation des lignes de plantation est également notée.

Le long de chaque transect, tous les 2 m, le relevé des espèces herbacées et ligneuses sur un cercle de 1m de rayon est fait. Le code d'abondance-dominance de l'espèce et la strate occupée par celle-ci sont notés.

Parallèlement, le long des transects de relevés floristiques, 6 observations d'humus par parcelle sont faites (à 3, 15 et 27 m du début pour les transects de 30 m). L'aspect des couches de l'humus et de l'horizon A et l'activité biologique présente sont décrits selon la méthode de Jabiol *et al.*, 1995. On note pour chacun des horizons, leur présence, leur épaisseur, le type de transition formée avec l'horizon sous-jacent, leur structure.



Placette de mesure



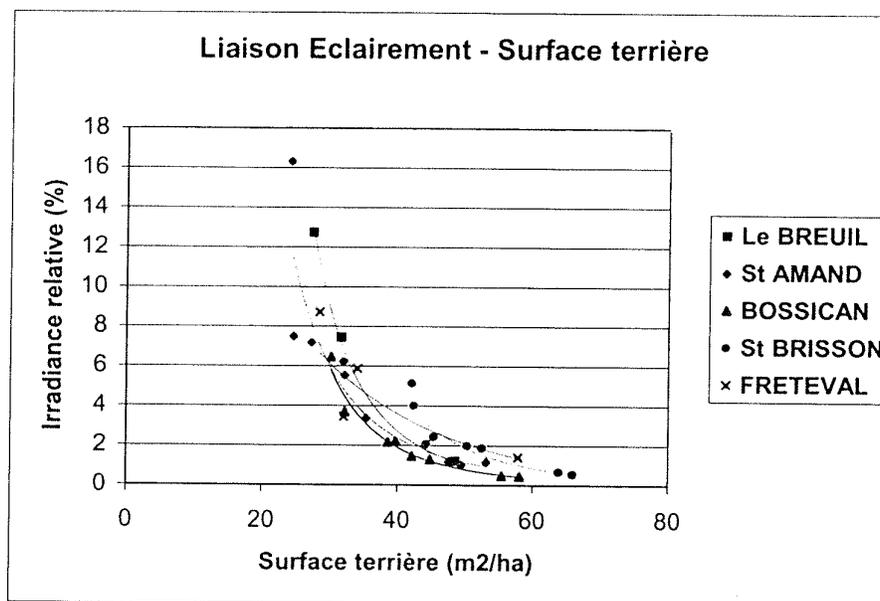
3. Résultats

Nous avons retenu de présenter les résultats en nous intéressant successivement à l'éclaircissement, à la diversité végétale et au compartiment sol. Les données brutes sont annexées au document (annexe 2).

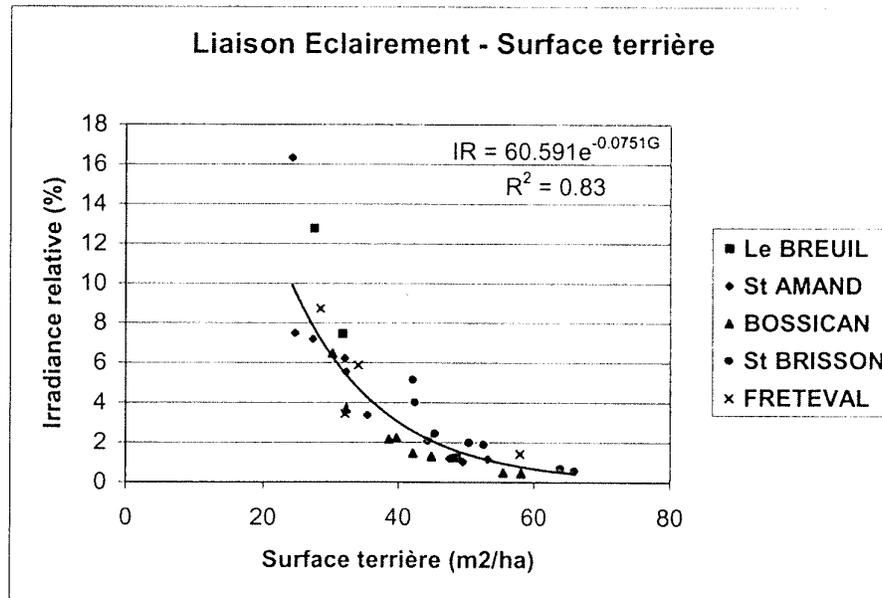
31. Eclaircissement

L'analyse des corrélations fait ressortir le rôle primordial joué par la surface terrière comme variable explicative de l'irradiance relative mesurée sous couvert.

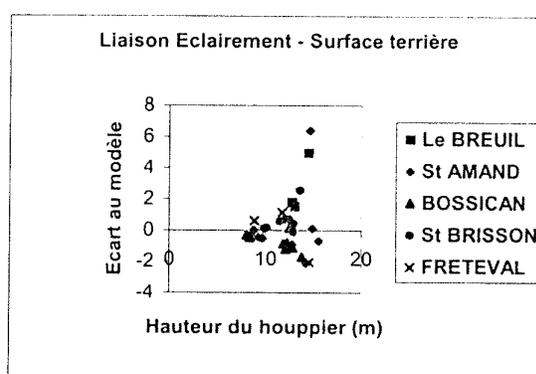
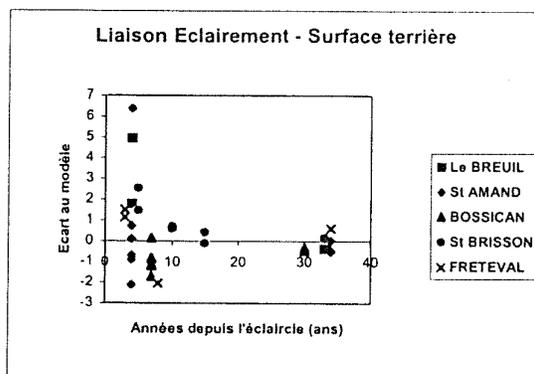
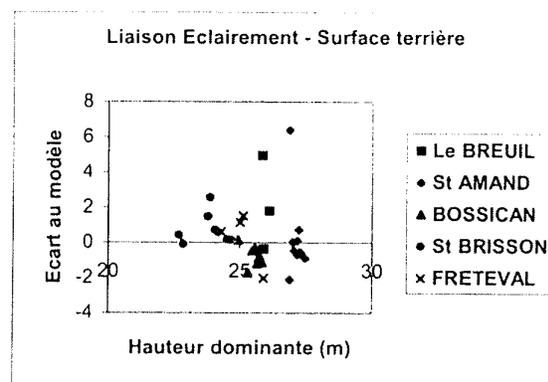
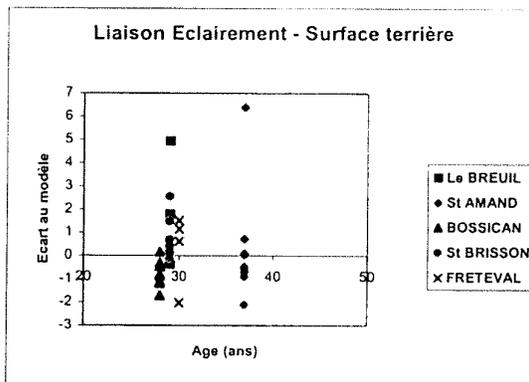
Coefficient de Corrélation	Age	Diamètre à 1.30 m	Hauteur totale	Hauteur Dominante	Elancement (H/D)	Hauteur Premier Verticille Vert	Hauteur du Houppier	Durée depuis l'éclaircie	Nombre d'éclaircies	Nb arbres par ha	Surface terrière par ha	Volume total par ha
Irradiance relative	0.29	0.47	0.51	0.25	-0.56	-0.33	0.66	-0.62	0.66	-0.64	-0.80	-0.77



Nous avons choisi d'ajuster un modèle unique et d'analyser les résidus au modèle afin de cerner les variables explicatives complémentaires.



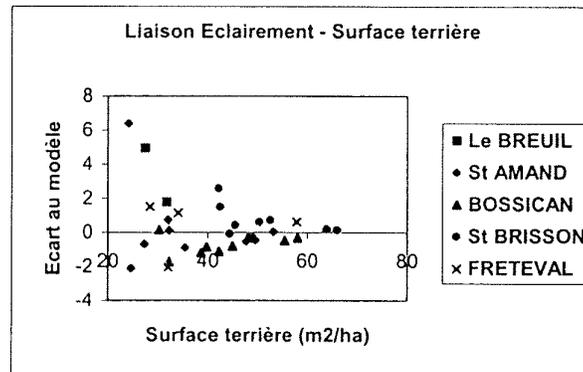
Analyse des résidus :



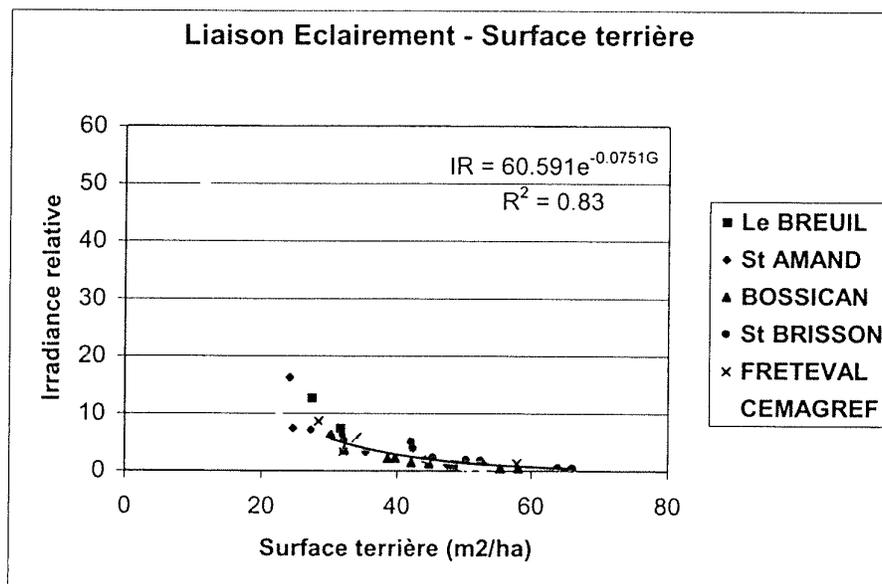
Aucune structuration particulière des résidus n'apparaît.

On note cependant une plus grande dispersion des écarts dans les cinq années qui suivent l'éclaircie, ce qui pourrait indiquer que le plan d'échantillonnage utilisé pour mesurer l'irradiance relative sous couvert de peuplement de Douglas pendant cette période post éclaircie mériterait d'être intensifié.

Cependant, l'examen des résidus du modèle en fonction de la surface terrière nous indique la présence d'un seuil aux alentours de 30m²/ha en deçà duquel la variabilité des écarts semble augmenter. Le modèle ne semble donc pas adapté aux peuplements dont les valeurs de surface terrière sont faibles.



Le CEMAGREF disposant de mesures d'irradiance relative sous peuplement de Douglas, faites dans le cadre d'autres projets (RUCHAUD 2000), il nous est apparu intéressant de les intégrer et de les comparer à nos séries de mesures.



Il apparaît alors plus nettement que l'éclairement sous peuplement de Douglas comporte un seuil aux alentours de 30m^2 en dessous duquel la liaison éclairement – Surface terrière est différente et plus variable. Nous notons également que les points mesurés par le CEMAGREF dans la gamme de surface terrière supérieure à $30\text{m}^2/\text{ha}$ se confondent avec les points mesurés dans le cadre de notre projet. L'équation du modèle indiqué sur le graphique correspond à l'ajustement des données d'irradiance relative des parcelles unitaires d'une surface terrière supérieure à $30\text{m}^2/\text{ha}$, hors mesures faites par le CEMAGREF.

Nous n'avons pas cherché à aller plus loin dans l'ajustement d'un modèle compte tenu du faible nombre de points de mesure (en particulier dans la zone des faibles surfaces terrières) et des incertitudes liées à l'échantillonnage retenu.

En effet, nous avons mesuré l'irradiance relative moyenne avec quatre solarimètres par parcelle unitaire quelle que soit la surface terrière du peuplement. Ruchaud et al (2000) indiquent dans leur bilan que la précision de la mesure de l'irradiance relative moyenne sur une parcelle forestière dépend du nombre de solarimètres mis en place et que ce nombre doit être supérieur dans le cas de peuplement ayant un couvert hétérogène. Nous pouvons supposer que les peuplements de Douglas à faible niveau de surface terrière sont soit des jeunes peuplements, soit des peuplements juste après éclaircie donc à couvert que l'on peut considérer comme hétérogène.

Nous retiendrons donc une bonne liaison entre l'éclairement et la surface terrière dans les peuplements denses ($G > 30\text{m}^2/\text{ha}$) et une incertitude importante pour les peuplements plus ouverts ($G < 30\text{m}^2/\text{ha}$).

32. Diversité végétale

Nous avons retenu deux types d'analyse des liens entre la diversité végétale et les caractéristiques de sylviculture des peuplements de Douglas étudiés : une analyse utilisant les dispositifs expérimentaux et portant sur la moyenne du nombre d'espèces présentes et une analyse plus générale reprenant toutes les données obtenues sur les points de transect.

321. Méthodologie

Il nous a paru intéressant de comparer les résultats des différents types d'inventaire floristique réalisés sur chacune des parcelles unitaires.

En effet, nous avons réalisé deux types d'inventaire :

- Relevés sur 30 cercles d'1m de rayon le long d'un transect de 60m
- Relevés sur deux placettes de 203 m² (14 x 14.5 m)

Dans la parcelle de feuillus adjacente à chaque peuplement de Douglas, seuls les relevés sur les deux placettes de 200 m² ont été réalisés.

Nous récapitulons, dans le tableau ci-dessous, pour chaque parcelle unitaire, le nombre d'espèces différentes recensées selon les différentes méthodes :

- nombre total d'espèces recensées sur le transect et les deux placettes
- nombre total d'espèces recensées sur le transect uniquement
- nombre total d'espèces recensées au total sur les deux placettes
- nombre total d'espèces recensées sur chacune des deux placettes
- nombre total d'espèces communes aux relevés transect et placettes
- nombre total d'espèces communes aux relevés transect et au moins une des deux placettes

SITE	PARCELLE	Nombre d'espèces différentes recensées					Communes au transect et aux deux placettes	Communes au transect et à au moins une des deux placettes
		Au total (transect et 2 placettes)	Sur le transect	Sur les deux placettes	Sur chaque placette			
LE BREUIL	Parcelle feuillue	24		24	10	18		
LE BREUIL	P1-Témoin	5	3	4	4	3	2	2
LE BREUIL	P2-L3S4	65	45	56	46	38	23	36
LE BREUIL	P3-L3S2	66	54	53	39	36	18	41
St AMAND	Parcelle feuillue	16		16	14	13		
St AMAND	P1- L3S3	35	28	27	22	20	12	20
St AMAND	P2-L5S3	31	27	26	20	18	10	22
St AMAND	P3-L3S3	36	28	32	27	25	17	24
St AMAND	P4-L5S3	24	19	24	16	20	12	19
St AMAND	P5-Témoin	8	5	6	6	2	2	3
St AMAND	P6-Témoin	4	4	2	2	1	1	2
St AMAND	P7-L5S3	38	29	36	28	26	16	27
St AMAND	P8-Témoin	5	5	4	2	3	1	4
St AMAND	P9-L3S3	40	30	36	29	20	11	26
BOSSICAN	Parcelle feuillue	23		23	20	16		
BOSSICAN	P201-Témoin	6	5	5	5	3	3	4
BOSSICAN	P202-L3	36	29	30	26	23	18	23
BOSSICAN	P203-L3S4	65	59	46	40	31	24	40
BOSSICAN	P204-L3S2	45	33	38	23	33	14	26
BOSSICAN	P301-Témoin	4	4	2	2	2	2	2
BOSSICAN	P302-L3	26	15	22	7	20	4	11
BOSSICAN	P303-L3S4	53	44	43	36	33	26	34
BOSSICAN	P304-L3S3	42	27	37	24	28	12	22
St BRISSON	Parcelle feuillue	10		10	9	6		
St BRISSON	III-L3	16	12	10	7	4	1	6
St BRISSON	III-L3+S2	20	10	18	7	15	3	8
St BRISSON	III-L3+S4	25	20	23	19	17	11	18
St BRISSON	III-Témoin	2	1	1	0	1	0	0
St BRISSON	IV-L3	13	11	10	5	8	3	8
St BRISSON	IV-L3+S2	12	12	8	4	8	4	8
St BRISSON	IV-L3+S4	23	22	20	10	20	10	19
St BRISSON	IV-Témoin	2	2	1	1	0	0	1
FRETEVAL	Parcelle feuillue	21		21	18	13		
FRETEVAL	P1-Témoin	6	5	5	4	5	4	4
FRETEVAL	P2-Témoin local	31	26	25	22	22	18	20
FRETEVAL	P3-SD	32	28	25	20	20	15	21
FRETEVAL	P4-SE	29	16	26	24	16	9	13

Faisant l'hypothèse qu'en cumulant les espèces relevées avec les 2 méthodes, nous obtenons un inventaire exhaustif des espèces présentes dans une parcelle unitaire, nous constatons que la précision du recensement des espèces est équivalente (78 et 83%) avec la méthode du transect et des deux placettes de 200 m² et par contre moins exhaustive (60%) dans le cas de la méthode n'utilisant qu'une placette de 200 m².

Partant de ce constat et pour introduire une notion d'abondance-dominance des espèces dans l'analyse nous avons effectué un premier traitement statistique des données portant sur les codes d'abondance-dominance relevés sur chaque placette de 200m².

Nous ne pouvons détailler les résultats car le nombre d'espèces recensées est relativement faible et de plus l'interprétation est difficile car dans certains cas les deux relevés d'une même parcelle unitaire sont très différents, comme par exemple dans le cas de la parcelle unitaire III-L3 de l'essai de St BRISSON sur laquelle nous avons recensé 7 espèces sur une placette, 4 sur l'autre et au total 10 espèces différentes !

Aussi, nous avons retenu d'utiliser les données présence-absence relevées sur chaque point de mesure des transects (cercle de 1m de rayon), ce qui nous permet de donner plus de poids aux espèces présentes sur plusieurs points de relevés, afin d'étudier l'influence de la sylviculture sur la diversité végétale (cf. § 322).

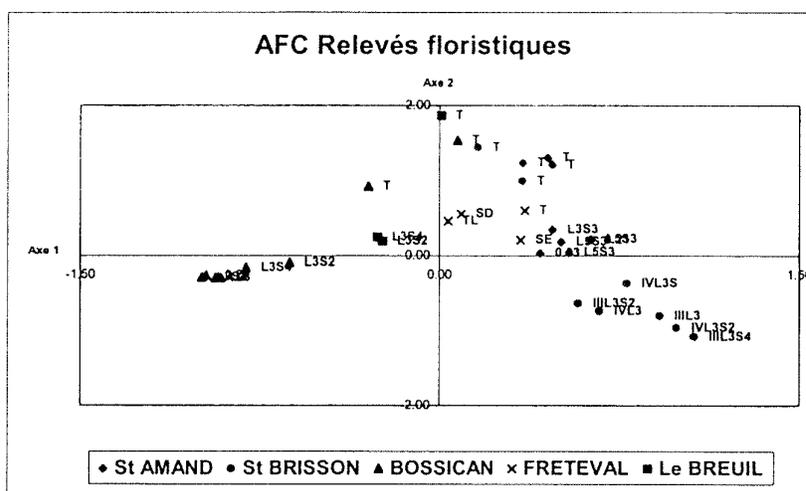
Par contre, pour nous permettre de mettre en parallèle la diversité végétale sous peuplement de Douglas avec celle observée sous peuplement feuillu, nous avons utilisé les données (notion de présence-absence uniquement) obtenues par la méthode des deux placettes de 200m².

322. Composition floristique

Nous avons résumé les relevés des transects dans un tableau de présence/absence des espèces pour chaque parcelle unitaire.

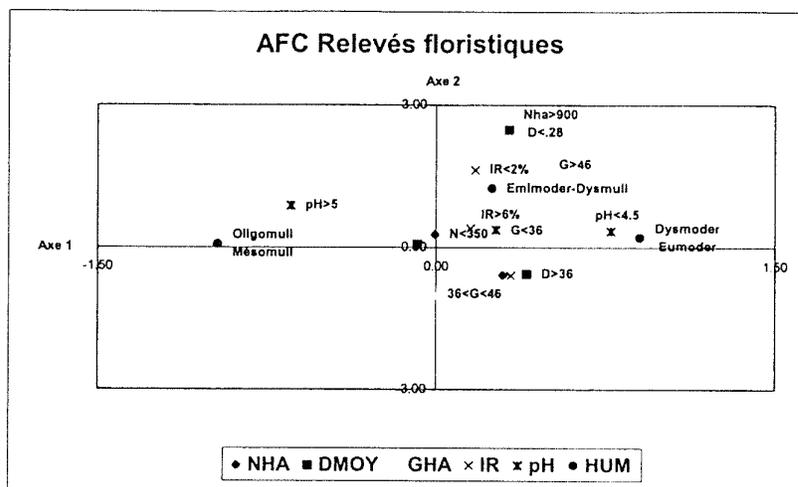
Nous avons ensuite réalisé une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) en ne gardant que les espèces présentes sur au moins quatre relevés.

Les deux premiers axes cumulent une inertie de 31% et la projection des relevés est la suivante.



Nous constatons que les sites expérimentaux s'individualisent parfaitement, à l'exception des traitements témoins n'ayant jamais été éclaircis qui se regroupent nettement en bout de l'axe 2.

L'introduction de variables supplémentaires relatives aux mesures dendrométriques, aux mesures de lumière et à la qualité des sols permet de préciser la signification des deux axes.



L'axe 1 est relatif aux variations de pH et d'humus qui différencient les sites expérimentaux (effet « milieu »), tandis que l'axe 2 représente les variables dendrométriques et l'éclaircie (effet « sylviculture »).

L'examen des différents autres plans issus de l'AFC ne permet pas d'isoler les placettes unitaires en fonction de la sylviculture qu'elles ont subi.

Nous pouvons donc retenir qu'à part le cas des témoins sans éclaircie, la diversité spécifique est principalement liée au milieu, et peu reliée à la sylviculture pratiquée.

La segmentation effectuée par une analyse hiérarchique des correspondances (tableaux présentés pages suivantes) le confirme en faisant ressortir différents groupes de végétaux, qui se répartissent comme suit :

- Les parcelles témoins sont caractérisées par un faible nombre d'espèces autres que le Douglas (chêne, lierre, genêts). Notons que la parcelle témoin de l'essai de Fréteval ne fait pas partie de ce groupe, car on y trouve en plus du Douglas et du lierre deux espèces de mousse (*Scleropodium purum* et *Thuidium tamariscinum*) et un espèce de germandrée (*Teucrium scorodonia*).
- Les autres groupes de végétaux sont le reflet des sites, avec certaines espèces caractéristiques comme :
 - *Carex pilulifera*, *Frangula alnus* et *Anthoxanthum odoratum* à St Amand
 - *Vicia hirsuta*, *Digitalis purpurea* et *Juncus effusus* à Fréteval et Le Breuil
 - *Rumex sanguineus*, *Carex sylvatica*, *Lathyrus montanus*, *Geranium rabertianum*, *Plagiomnium undulatum* et *Anemone nemorosa* (entre autres) et absence de genêt à Bossican
 - *Carex umbrosa*, *Dicranum*, *Atrichum undulatum* et absence de lierre à St Brisson.

Groupes de végétaux segmentés par l'ACH (AFC Données Transect)

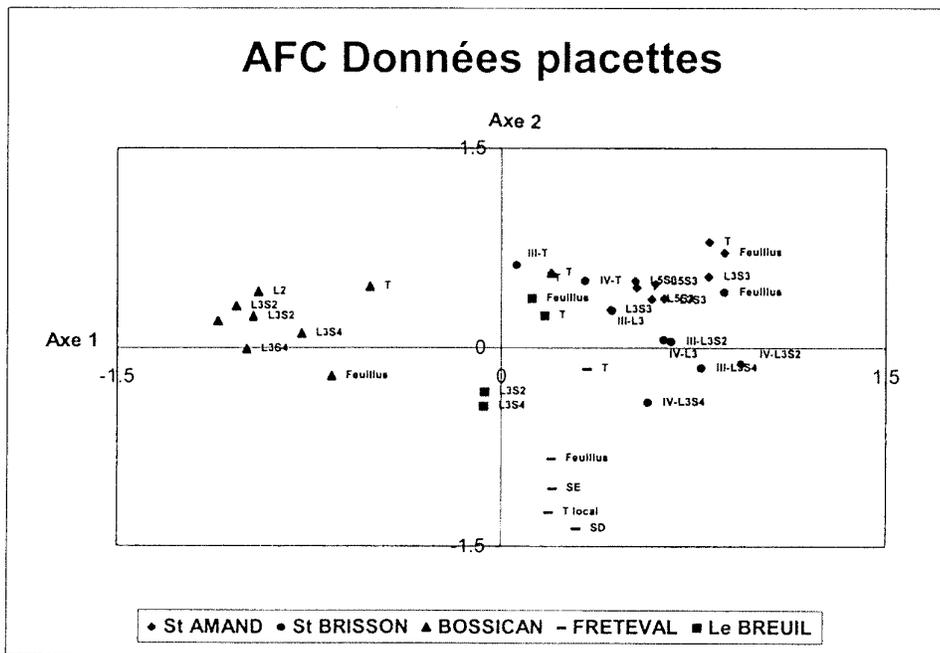
	201 - Témoin	BOSSICAN	SI BRISSON	SI AMAND	SI AMAND	SI AMAND	SI AMAND	BOSSICAN	SI BRISSON	Le BREUIL	SI AMAND	FRETEVAL	FRETEVAL	FRETEVAL	FRETEVAL	Le BREUIL	Le BREUIL	BOSSICAN	BOSSICAN	BOSSICAN	BOSSICAN	BOSSICAN	BOSSICAN	SI BRISSON																		
	III Témoin			P5 - Témoin	P6 - Témoin	P8 - Témoin	301 - Témoin	IV Témoin	P1-Témoin		P3 - L3S3	P7 - L5S3	P4 - L5S3	P2 - L5S3	P9 - L3S3	P1 - L3S3	P2 - T. local	P3 - SD	P4 - SE	P1-Témoin	P2-L3S4	P3-L3S2		302 - L3	304 - L3S2	202 - L3	204 - L3S2	203 - L3S4	303 - L3S4	III L3	IV L3	IV L3S2	IV L3S4	III L3S2	III L3S4							
<i>Atrichum undulatum</i>																																										
<i>Luzula pilosa</i>																									1			1	1	1												
<i>Gallum saxatile</i>											1	1		1	1																											
<i>Plagiomnium affine</i>											1			1																												
<i>Dicranum sp?</i>												1			1																											
<i>Betula pendula</i>															1	1																										
<i>Picea abies</i>														1		1																										
<i>Urtica dioica</i>																									1	1			1	1	1											
<i>Fragaria vesca</i>																									1	1		1	1	1												
<i>Eupatorium cannabinum</i>																									1	1			1	1												
<i>Galeopsis tetrahit</i>																																										
<i>Dryopteris dilatata</i>																										1		1	1	1												
<i>Rumex sanguineus</i>																									1	1	1	1	1	1												
<i>Carex sylvatica</i>																									1	1	1	1	1	1												
<i>Lathyrus montanus</i>																									1	1	1	1	1	1												
<i>Geranium robertianum</i>																									1	1	1	1	1	1												
<i>Lampsana communis</i>																									1	1			1	1												
<i>Plagiomnium undulatum</i>														1											1	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
<i>Anemone nemorosa</i>																									1	1	1	1	1	1												
<i>Rosa arvensis</i>																									1		1	1	1	1												
<i>Lamlastrum galeobdolon</i>																										1	1	1	1	1												
<i>Carex remota</i>																									1	1	1	1	1													
<i>Ajuga reptans</i>																			1							1	1	1	1	1												
<i>Carpinus betulus</i>																									1		1		1													
<i>Vicia sepium</i>	1																								1	1	1	1	1													
Total	5	1	5	4	5	3	2	3	23	23	22	23	23	27	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	



323. Diversité végétale : comparaison Douglas-Feuillus

L'analyse porte sur les données regroupées des deux placettes de 200m² dans chaque parcelle unitaire. Nous travaillons sur les codes présence-absence d'une espèce dans une placette en ne conservant que les espèces présentes sur au moins quatre placettes (sur un total de 74 placettes inventoriées).

Les deux premiers axes de l'AFC expliquent alors 28% de la variabilité totale.



La classification des parcelles (AHC), présentée page suivante, permet le regroupement de 6 groupes distincts :

- groupe 1 : toutes les parcelles témoin sauf celle de Fréteval. Dans la classification, c'est la première segmentation. Il y a donc une très grande différence entre ces parcelles témoins et toutes les autres.
- groupe 2 : toutes les parcelles de Saint-Brisson (y compris feuillus) + témoin de Fréteval
- groupe 3 : toutes les parcelles de Saint-Amand (y compris feuillus)
- groupe 4 : parcelles de Le Breuil (y compris feuillus) + parcelles feuillus de Fréteval et Bossican
- groupe 5 : 3 parcelles de Fréteval
- groupe 6 : 6 parcelles de Bossican.

Nous arrivons donc à la même conclusion qu'avec l'analyse sur données transect à savoir une très nette différence entre les témoins et les parcelles éclaircies, puis une différenciation selon les sites.

Pour les 2 parcelles feuillues qui ne sont pas classées avec les autres parcelles du même site expérimental, l'explication n'est pas la présence d'espèces que l'on ne trouverait pas sous les Douglas, mais plutôt l'inverse.

En effet, sur le site de Fréteval, il existe un groupe de 7 espèces (*Hypericum pulchrum* à *Agrostis gigantea*) que l'on ne trouve pratiquement que dans le peuplement de Douglas de ce site. Même chose sur le site de Bossican, avec un groupe de 14 espèces (*Rumex sanguineus* à *Lathyrus montanus*) présentes uniquement sous peuplement de Douglas.

Cependant, comme nous avons limité l'analyse aux seules espèces présentes sur au moins 4 placettes de mesure, il y a un risque d'avoir éliminé des espèces qui ne sont présentes que sous peuplement feuillus, d'où une possibilité de biais si l'on veut comparer la diversité végétale feuillus-douglas.

Ce risque nous apparaît pourtant limité, car dans la comparaison des 2 méthodes d'inventaire (§321), nous avons noté que le nombre d'espèces est moins important dans les feuillus que dans les Douglas. De plus, l'examen de la liste des espèces non prises en compte dans l'analyse montre qu'il y a effectivement des espèces présentes uniquement dans les peuplements feuillus, mais il y a autant sinon plus d'espèces présentes uniquement sous les Douglas.

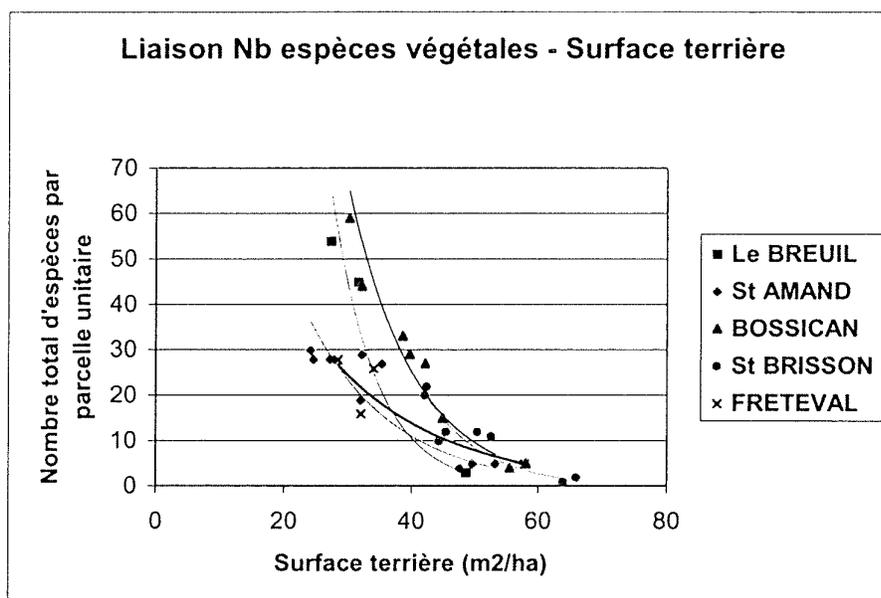
324. Diversité végétale : nombre d'espèces présentes

En complément de l'analyse qualitative faite en tenant compte de la dimension spécifique des végétaux observés, il nous a paru intéressant d'intégrer nos résultats en ne comparant que le nombre des espèces présentes par parcelle unitaire.

Nous avons cependant distingué les strates auxquelles appartiennent les espèces dénombrées en séparant les espèces des strates mucicole, herbacée, semi ligneuse et arbustive. Pourtant, compte tenu du fait qu'aucun groupe ne semble avoir un comportement différent des autres nous avons choisi de raisonner sur le nombre total d'espèces présentes sur chaque parcelle unitaire.

L'analyse des corrélations fait ressortir le rôle principal joué par la variable surface terrière sur le nombre moyen d'espèces végétales présentes sous couvert de Douglas. La variable d'éclaircie semble par contre moins bien corrélée au nombre d'espèces végétales dénombrées par parcelle unitaire.

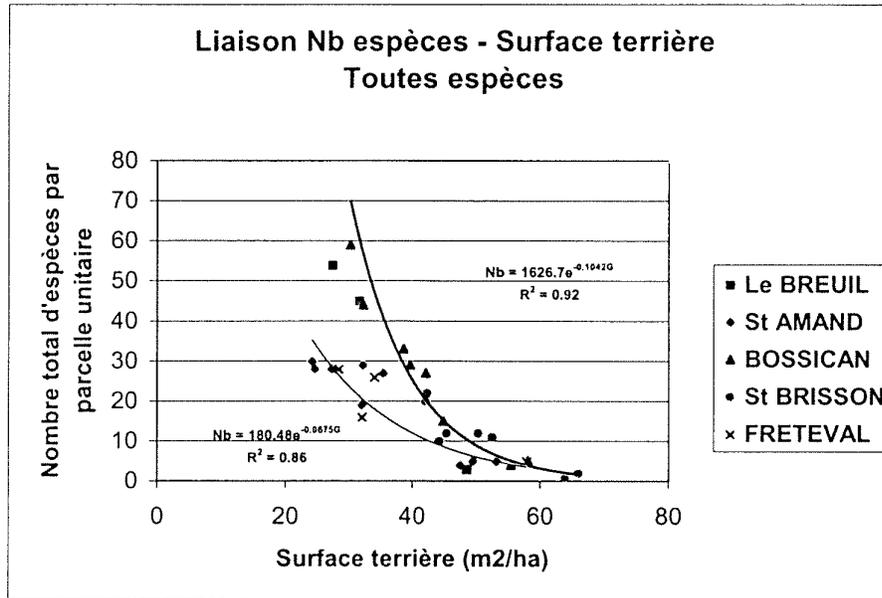
Coefficient de Corrélation	Age	Diamètre à 1.30 m	Hauteur totale	Hauteur Dominante	Elancement (H/D)	Hauteur Premier Verticille Vert	Hauteur du Houppier	Durée depuis l'éclaircie	Nombre d'éclaircies	Nb arbres par ha	Surface terrière par ha	Volume total par ha	Irradiance relative
Nombre total d'espèces végétales	0.78	0.58	0.39	0.16	-0.65	-0.42	0.67	-0.75	0.67	-0.74	-0.81	-0.77	0.67
Strate mucicole	-0.08	0.87	0.19	-0.21	-0.91	-0.73	0.83	-0.90	0.83	-0.89	-0.67	-0.74	0.57
Strate herbacées	-0.19	0.47	0.30	0.12	-0.57	-0.35	0.54	-0.65	0.55	-0.64	-0.71	-0.60	0.59
Strate semis ligneux	0.15	0.37	0.59	0.42	-0.53	-0.15	0.54	-0.56	0.58	-0.55	-0.75	-0.65	0.50
Strate arbustive	0.40	0.43	0.56	0.42	-0.63	-0.25	0.62	-0.53	0.56	-0.56	-0.68	-0.60	0.62



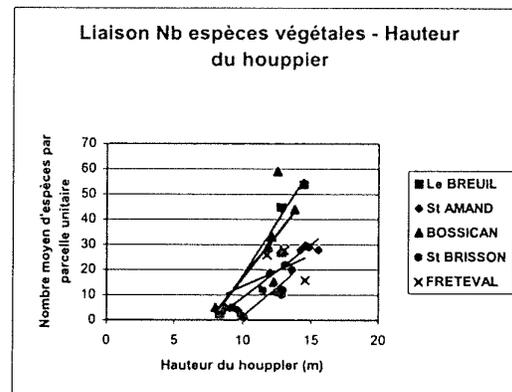
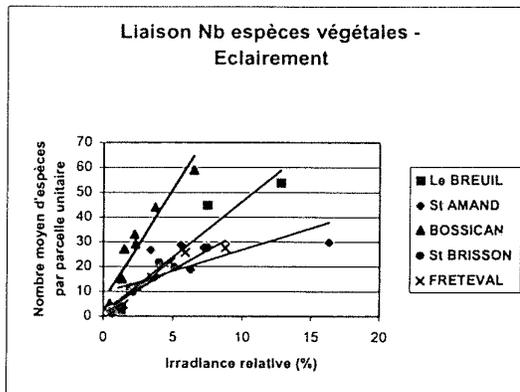
Nous notons la discrimination des sites expérimentaux en deux groupes au comportement distinct, St Amand-Freteval d'un côté et Le Breuil-Bossican-St Brisson de l'autre.

Nous notons également que les relations observées sur les sites de Bossican et St Brisson semblent parfaitement complémentaires.

Deux modèles existeraient donc concernant le nombre d'espèces végétales présentes en fonction de la surface terrière des peuplements de Douglas.



Les facteurs permettant, sur un site, de prévoir le modèle à choisir n'ont pu être mis en évidence avec les données utilisées au cours de cette étude. En effet, les autres variables dont nous disposons et qui pourraient avoir un lien avec cette segmentation ne permettent pas de préciser cette différenciation entre les deux groupes de sites expérimentaux.



Nous ne pouvons que faire des hypothèses portant sur l'environnement de la parcelle d'essai (environnement forestier dans le cas de St Amand et de Freteval), environnement plus ouvert dans le cas des autres sites), la potentialité de la station (mais quel paramètre retenir ?), la facilité de dispersion des graines à l'intérieur du peuplement (végétation arbustive, circulation du vent ...)

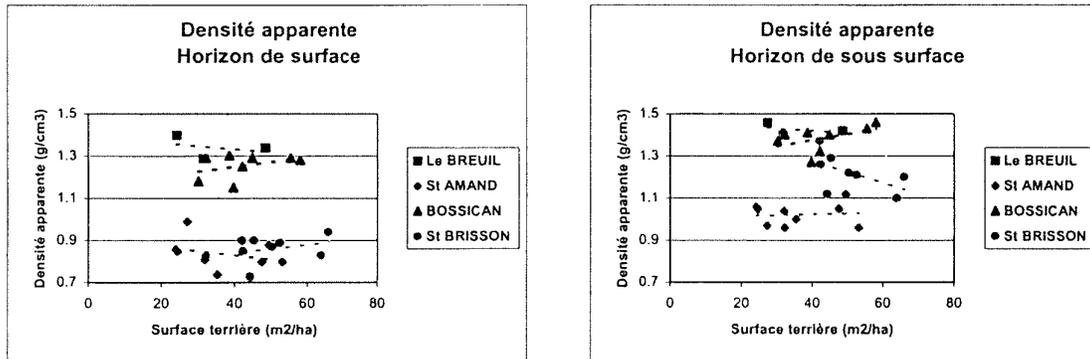


Site de St AMAND- Placettes Témoin et ESC

33. Compartiment sol

Compte tenu du rôle joué par la surface terrière comme variable caractéristique de l'éclaircissement et de la diversité végétale, nous avons choisi de présenter les résultats des différentes mesures effectuées sur le compartiment sol au regard de cette variable.

331. Densité apparente



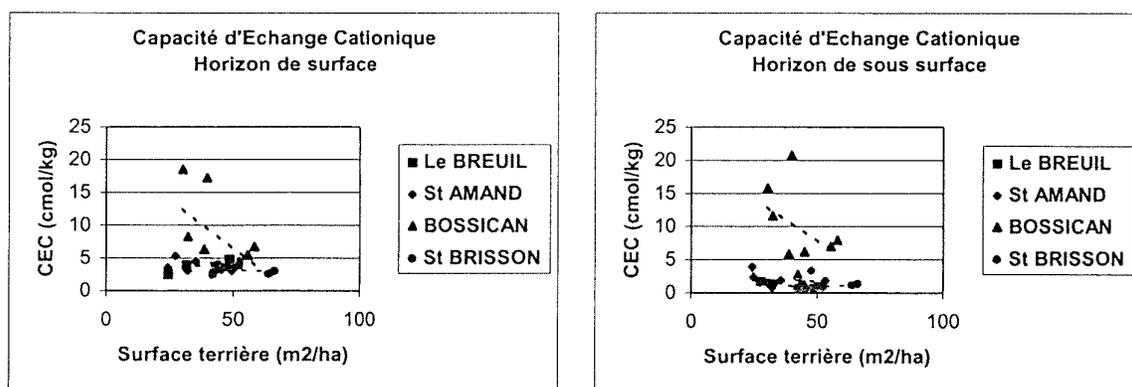
La densité apparente des horizons de sous surface semble légèrement plus élevée en moyenne que celle mesurée sur l'horizon de surface, ce qui traduit une porosité plus faible de l'horizon de sous surface.

Notons la ségrégation nette entre les sites de St Amand et St Brisson d'un côté, caractérisés par un horizon de surface dont la porosité est plus faible et de Bossican et Le Breuil d'autre part.

Nous pouvons noter une très légère influence de la surface terrière sur la densité apparente, sans qu'elle soit statistiquement significative (cf paragraphe 337).

Notons, enfin, le comportement de l'essai de St Brisson sur lequel la liaison densité apparente de l'horizon de sous surface-éclaircie (G/ha) semble plus marquée que sur les autres sites, sans pour autant être statistiquement significative.

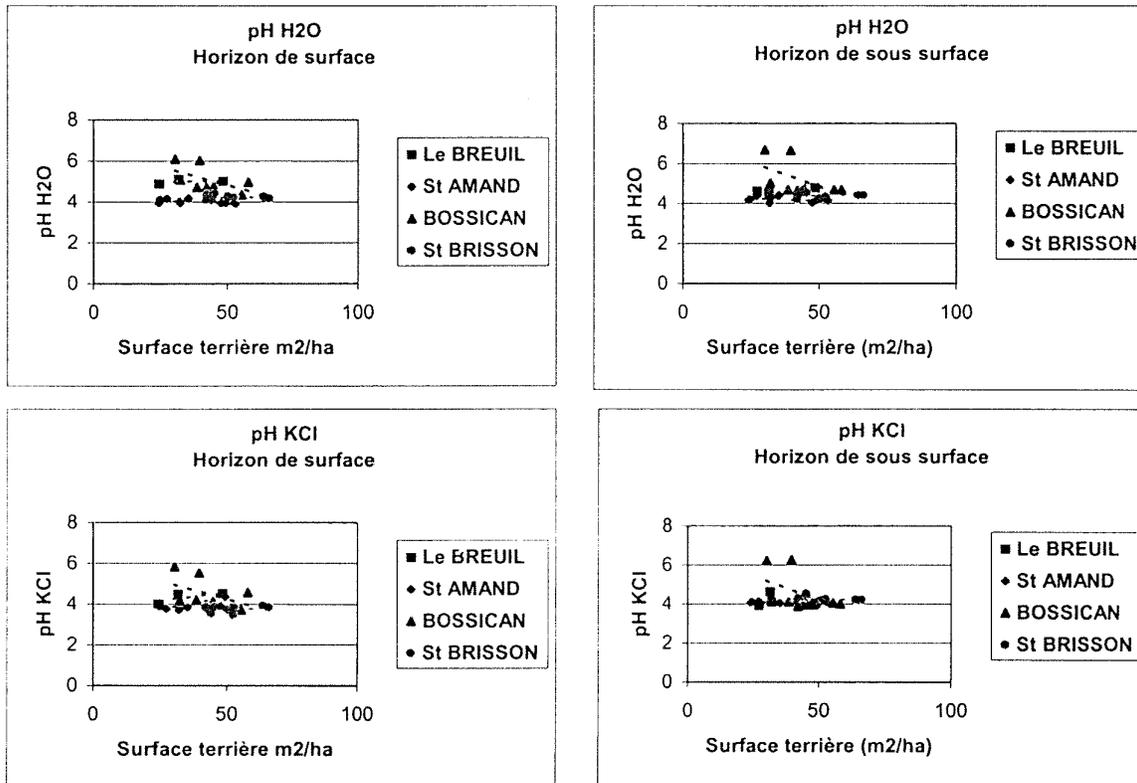
332. Capacité d' Echange Cationique



Nous avons noté une dispersion importante des valeurs de CEC. Nous retiendrons surtout le comportement singulier du sol sur le site de Bossican qui s'explique par la présence d'un substratum calcaire, alors que tous les autres sites sont situés sur substratum granitique ou sableux.

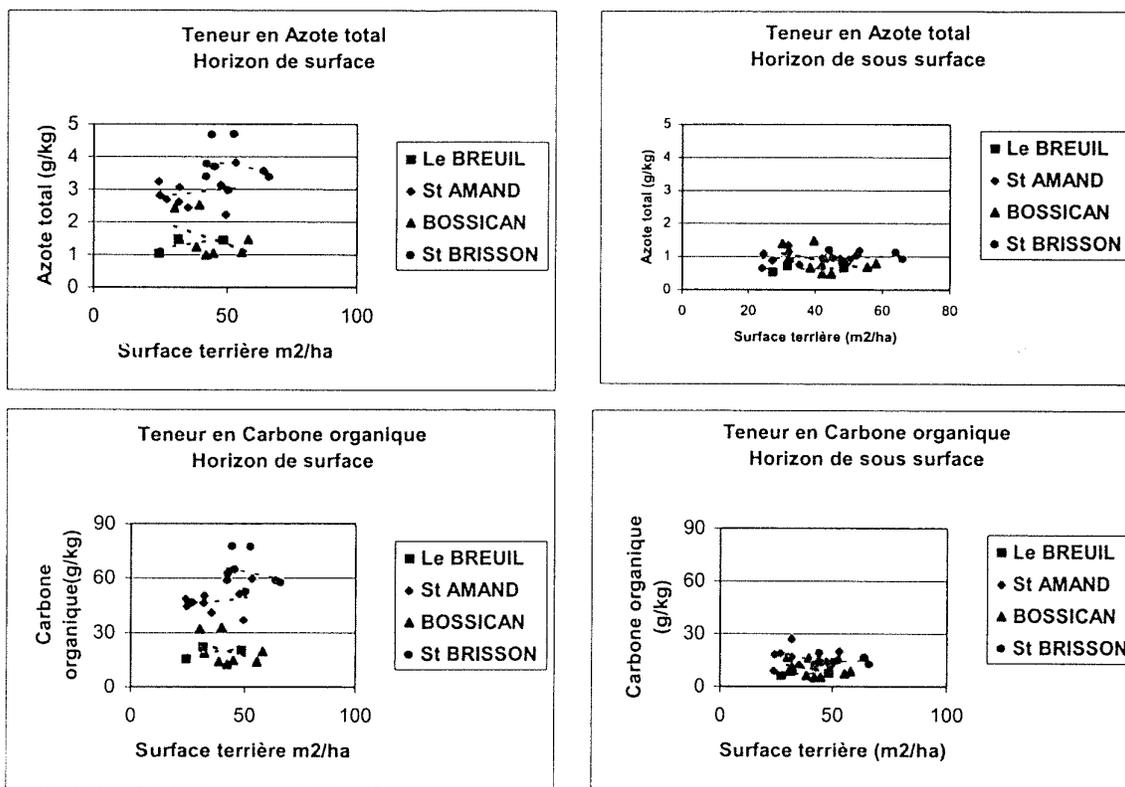
La CEC est légèrement plus forte en surface que dans l'horizon de sous surface, sur les roches mères acides, ce qui n'est pas le cas sur le site de Bossican. Enfin, sur le seul site de Bossican, la CEC semble influencée par la surface terrière, avec une CEC plus forte dans les traitements les plus éclaircis. Notons cependant que la CEC mesurée sur les autres sites (acides) est tellement basse que des différences éventuelles sont très difficilement décelables.

333. Mesures de pH et acidité d'échange



De même que pour la CEC et pour les mêmes raisons, on note le comportement singulier du site de Bossican dont les pH_{H_2O} sont proches de 6. Les autres sites sont caractérisés par un pH faible (voisin de 4-4.5) et peu variable d'une parcelle unitaire à l'autre.

334. Teneur en azote total et en carbone organique

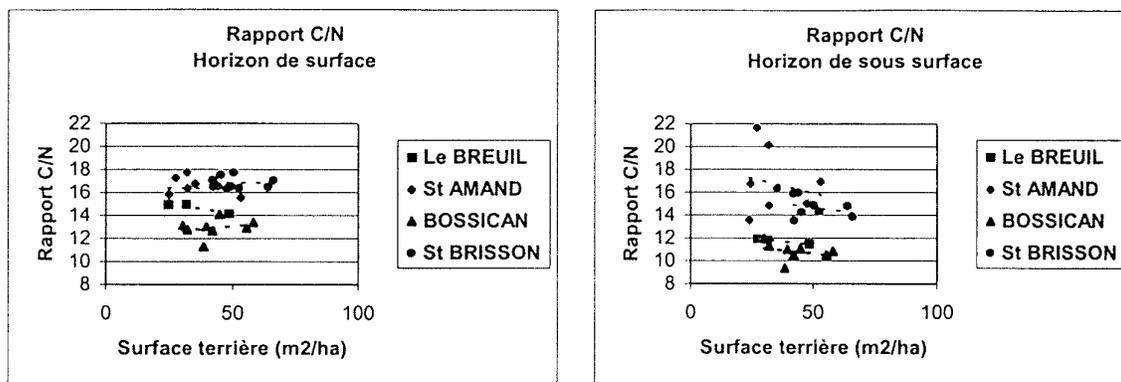


Classiquement nous observons des teneurs en azote total et en carbone organique plus élevées et plus variables dans l'horizon de surface que dans l'horizon de sous-surface.

Pour l'horizon de surface, la ségrégation entre les sites expérimentaux, que nous avons remarquée pour la densité apparente, est présente avec d'un côté les sites de St Amand et St Brisson aux sols plus riches en N et C que ceux des sites de Le Breuil et Bossican. Cette ségrégation est également notée pour le rapport C/N.

Cela pourrait indiquer une minéralisation moins active de la litière forestière sur les sites de St Amand et St Brisson, liée à l'altitude, au climat local, se traduisant par une accumulation plus élevée de matière organique modérément décomposée.

D'autre part, une légère augmentation de la densité apparente sur les sites de Le Breuil et Bossican pourrait induire une incorporation plus intime de la matière organique humifiée aux fractions minérales.



Les courbes de tendance de ces différentes variables semblent indiquer un effet de la surface terrière donc de l'éclaircie, sans que cela soit statistiquement significatif.

Pour le rapport C/N, indicateur du fonctionnement de la litière forestière la liaison semble plus marquée sur l'horizon de sous surface, qu'en surface du sol. Tout se passe comme si l'éclaircie entraînait dans l'horizon de sous-surface une baisse du rapport C/N, donc une plus grande minéralisation de la litière, sans que les dispositifs expérimentaux ne le mettent en évidence au niveau statistique.

335. Analyse des corrélations

Les tableaux de corrélations des différentes analyses effectuées sont les suivants :

Coefficient de Corrélation		Age	Diamètre à 1.30 m	Hauteur totale	Hauteur Dominante	Hauteur Premier Verticille Vert	Hauteur du Houppier	Durée depuis l'éclaircie	Nombre d'éclaircies	Nb arbres par ha	Surface terrière par ha	Volume total par ha	Irradiance relative	Nombre moyen d'espèces végétales par parcelle unitaire
Horizon de surface	Densité apparente	0.61	-0.04	0.09	0.01	0.19	-0.12	-0.05	-0.09	-0.01	-0.10	-0.07	0.01	0.38
	PH H2O	0.61	-0.08	-0.14	-0.15	-0.09	-0.02	-0.20	0.04	-0.16	-0.17	-0.19	-0.01	0.53
	PH KCl	0.26	-0.16	-0.01	-0.10	0.12	-0.13	-0.03	-0.03	0.01	-0.18	-0.14	0.04	0.44
	CEC	0.27	-0.01	-0.06	-0.01	0.01	-0.05	-0.11	0.06	-0.09	-0.17	-0.14	-0.04	0.42
	C organique	0.28	0.16	-0.37	-0.37	-0.41	0.14	0.07	-0.01	-0.01	0.22	0.12	-0.04	-0.38
	N Total	0.26	0.15	-0.37	-0.37	-0.40	0.13	0.07	-0.02	-0.01	0.21	0.12	-0.03	-0.34
	Rapport C/N	0.47	0.08	-0.17	-0.09	-0.29	0.16	0.03	0.08	-0.02	0.09	0.02	0.07	-0.35
Horizon de sous surface	Densité apparente	0.85	0.06	-0.33	-0.43	-0.06	-0.18	-0.03	-0.21	-0.01	0.10	0.02	-0.12	0.24
	PH H2O	0.49	0.08	-0.15	-0.19	-0.12	0.01	-0.16	0.04	-0.15	-0.14	-0.14	-0.05	0.46
	PH KCl	0.26	0.13	-0.20	-0.19	-0.26	0.10	-0.22	0.14	-0.21	-0.17	-0.18	0.05	0.41
	CEC	0.33	-0.01	0.02	0.02	0.06	-0.05	-0.12	0.05	-0.08	-0.14	-0.10	-0.05	0.38
	N organique	0.51	0.03	-0.05	0.10	-0.16	0.11	-0.03	0.17	-0.06	-0.08	-0.08	0.02	-0.12
	N Total	0.19	-0.03	-0.22	-0.08	-0.17	0.01	0.01	0.05	-0.01	0.01	-0.01	-0.10	0.01
	Rapport C/N	0.71	0.11	0.14	0.24	-0.16	0.26	-0.08	0.26	-0.12	-0.16	-0.16	0.18	-0.19

Nous pouvons noter qu'aucune relation ne semble s'individualiser entre les variables du sol choisies et les variables dendrométriques ainsi que les variables relatives à la diversité végétale (nombre d'espèces végétales présentes). Seule la variable « âge du peuplement » fait ressortir des corrélations fortes mais entravées par la structuration de l'échantillon (4 essais, donc seulement 4 ages de peuplement).

A priori cela pourrait s'expliquer soit par la jeunesse des peuplements forestiers et des interventions sylvicoles, soit par un défaut des protocoles expérimentaux utilisés pour la prise de mesure, sans que nous puissions faire la part respective de ces deux éléments d'explication.

CONCLUSION

Cette étude, qui met en œuvre plusieurs approches et méthodes sur cinq peuplements de Douglas aux itinéraires sylvicoles variés, permet dans un premier temps de faire la part des différences imputables aux variations de climat local, roches mères et autres caractéristiques de la station à celles induites par la sylviculture elle-même.

L'éclaircissement du sous bois apparaît principalement lié à la surface terrière du peuplement de Douglas. Il ressort pourtant un seuil de 30m²/ha en deçà duquel cette liaison est moins forte sans que nous puissions déterminer s'il s'agit d'une faiblesse dans le protocole d'échantillonnage utilisé ou d'un phénomène lié au développement différent des houppiers.

La diversité végétale, mesurée par le nombre total d'espèces présentes, est également liée à la surface terrière du peuplement forestier. L'effet « station » est cependant visible dans la relation avec sur certains sites un nombre beaucoup plus important d'espèces présentes à surface terrière égale que sur d'autres sites. Le réseau expérimental utilisé pour l'étude ne permet pas d'aller très loin dans la modélisation de ces relations, mais il convient de retenir que l'éclaircie favorise le développement d'une diversité végétale.

Du point de vue qualitatif, la composition floristique est principalement fonction de la « station », l'éclaircie n'intervenant que pour favoriser le développement de la flore associée. Nous notons cependant que les traitements sans aucune éclaircie s'individualisent très nettement, quelles que soient les conditions stationnelles.

L'autre résultat intéressant est fourni par la comparaison qui a pu être faite entre les espèces présentes sous Douglas et sous peuplements feuillus adjacents, choisis en conditions de station comparables. Nos constatations montrent que la diversité végétale est au moins aussi importante sous Douglas éclaircis que sous ces peuplement feuillus.

Enfin, en ce qui concerne les impacts des éclaircies sur l'état physique et chimique du sol, ils sont apparus toujours positifs, mais s'expriment différemment et de façon plus ou moins accusée selon l'indicateur considéré. Ainsi, la densité apparente, indicatrice d'une incorporation plus intime de la matière organique humifiée (C et N) aux fractions minérales, augmente avec le renforcement des éclaircies. Ce sont les régimes intermédiaires d'éclaircie qui apportent le maximum de litière et conduisent aux stocks de matière organique les plus élevés. L'effet bénéfique de l'éclaircie sur l'humification se traduit aussi par une légère augmentation du pH des horizons de surface des sols, même lorsque ceux-ci se situent dans des gammes très acides (4-4.5). Le pH_{KCl}, qui inclut l'acidité d'échange, suit les mêmes tendances, même si la Capacité d'Echange Cationique, le plus souvent très n'augmente que très rarement avec l'éclaircie.

BIBLIOGRAPHIE

Bailly A., 1992.

Eclaircir les peuplements résineux : un impératif écologique !
Informations-Forêt, Afocel-ArmeF, 4 (Fasc 444), 341-348

Bailly A., Bigot M., Permingeat J., 1996.

Modélisation de la croissance et autres sylvicultures du Douglas
Rapport final Convention DERF AFOCEL n° 01.40.05/96. 88 pages.

Baize D., 1988

Guide des analyses courantes en pédologie
INRA, 1988, 172 pages

Bonhème I., 1999.

Diversité floristique dans cinq essais d'éclaircie de *Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco
Rapport stage AFOCEL 6 ENGREF, 54p.

Buchet V., 1996.

Influence of different thinning rates on earthworm populations in spruce and douglas fir litters.
Submitted in Pedobiologia.

Buchet V., 1996.

Global and microbial respiration under spruce and douglas fir stands submitted to different thinning intensities. *In preparation.*

Carlyle J.C., 1995.

Nutrient management in a *Pinus radiata* plantation after thinning: The effect of thinning and residues on nutrient distribution, mineral nitrogen fluxes, and extractable phosphorus.
Canadian Journal of Forest Research, 25 (8) AUG, 1278-1291

Charnet F., 1988.

Catalogue des types de stations forestières du Perche, Eure et Loir, Loir et Cher
Centre régional de la propriété forestière d'Ile de France et du Centre.

Cregg B.M., Hennessy T.C., Dougherty P.M. 1990.

Water relations of loblolly pine trees in Southeastern Oklahoma following precommercial thinning.
Canadian Journal of Forest Research, 20 (9), 1508-1513.

Deconchat M. 1997.

Facteurs de la diversité avienne forestière : L'effet de la surface est-il toujours lié à un effet de lisière ?
In preparation.

Guitton J.L., Ruchaud F. 1996.

Conséquences écologiques de l'éclaircie des peuplements de résineux
AFOCEL Informations-Forêt 1-1996, fascicule 523



- Humphrey, J.W., Glimerveen, I. and Mason, W.L. 1995.**
The Effect of soil cultivation techniques on vegetation communities and tree growth in an upland pine forest. I. Vegetation responses.
Scottish Forestry **49** : 198-205.
- Jabiol B., Brêthes J.F., Toutain F., Brun J.J., 1995.**
L'humus sous toutes ses formes
- Jabiol B., 1996.**
Le relevé des paramètres du sol en vue d'une estimation de ses contraintes et de ses aptitudes pour les arbres
Document interne FIF-ENGREF.
- Juffard I. 1996.**
« Incidence des différentes pratiques sylvicoles sur le peuplement de douglas dans le morvan granitique »
Université de Bourgogne - Mémoire de Maîtrise
- Kopp M. 2001.**
Utilisation d'indicateurs chimiques de qualité des horizons humifères des sols pour l'étude de l'impact des pratiques sylvicoles sur quatre sites plantés en Douglas
Rapport D.S.E.R. Université de Bourgogne, 64p.
- Lebreton P., Pont B. 1987.**
Avifaune et altérations forestières : I) l'avifaune des boisements résineux du Haut Beaujolais : considérations générales
Acta Oecologica, 1987, vol. 8, n° 2, pp. 227-235
- Lebreton P., Broyer J., Pont B. 1987.**
Avifaune et altérations forestières : II): L'avifaune de boisements résineux du Haut-Beaujolais - Relations structurales végétation - avifaune
rev. Ecol. (Terre Vie), 1987, suppl. 4, p. 71-81
- Lebreton P., Choisy J.P. 1991.**
Avifaune et altérations forestières : III) : incidences avifaunistiques des aménagements forestiers : substitution Quercus/Pinus en milieu subméditerranéen
Bull. Ecol. 1991, E 22 (1), pp. 213-220
- Papanastasis V., Koukoura Z., Alifragis D., Makedos I., 1995.**
Effects of thinning, fertilisation and sheep grazing on the understory vegetation of Pinus pinaster plantations. *Forest Ecology and Management, 77 (1-3) SEP, 181-189*
- Pothier D., Margolis H.A., 1990.**
Changes in the water relations of balsam fir and white birch saplings after thinning.
Tree Physiology, 6 (4), 371-380



Rameau J.C., Mansion D., Dumé G., Timbal J., Lecointe A., Dupont P., Keller R., 1989.
Flore forestière française, guide écologique illustré, tome 1 : plaines et collines,
IDF, Ministère de l'Agriculture et de la Forêt.

Ranger J., Marques R., Colin-Belgrand Micheline, Flammang N., Gelhaye D. 1996
La dynamique d'incorporation d'éléments nutritifs dans un peuplement de douglas
(*pseudotsuga menziesii* Franco) conséquences pour la gestion sylvicole
R.F.F. XLVIII n° 3 -1996

Riegel G.M., Miller R.F., Krueger W.C., 1995.
The effects of aboveground and belowground competition on understory species composition
in a *Pinus ponderosa* forest.
Forest Science, 41(4), 864-889

Ruchaud F., Nicolaïdes O., Juvie R, 2000.
Modélisation de l'éclairage au sol dans les peuplements de résineux : proposition de
sylvicultures développant la richesse spécifique du sous-bois ou la production du tapis
herbacé.
CEMAGREF, 53p

Simard V. 1995.
Humus et sols sous peuplements de Douglas
Laboratoire GEOSOL - U.F.R Sciences de la Terre - Université de Bourgogne

Vesterdal L., Dalsgaard M., Felby C., Raulundrasmussen K., Jorgensen B.B., 1995.
Effects of thinning and soil properties on accumulation of carbon, nitrogen and phosphorus in
the forest floor of Norway spruce stands.
Forest Ecology and Management, 77 (1-3), 1-10

ANNEXE 1 :

Premières pages des rapports de stage de I. BONHEME et M. KOPP





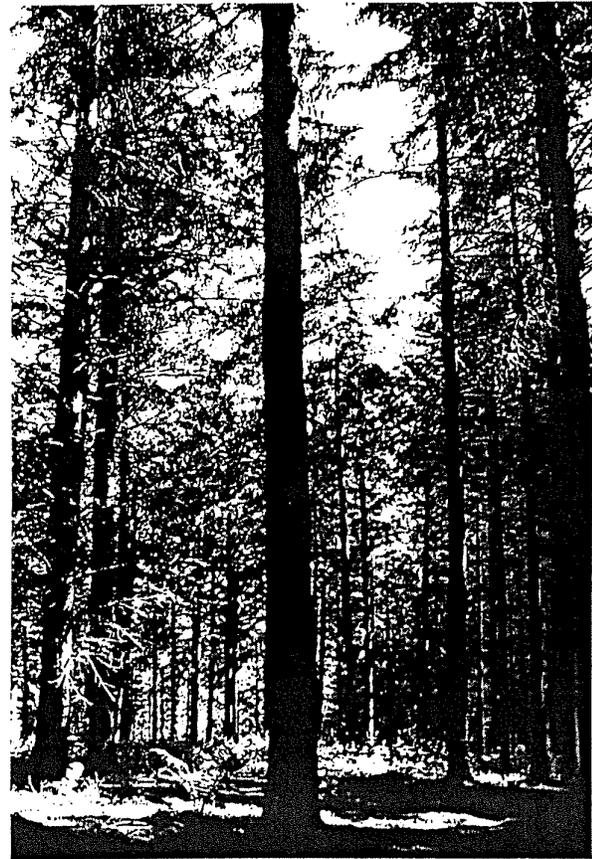
Station Centre-Ouest
Domaine Des Vaseix
87430 - VERNEUIL sur
VIENNE
Tél. 05.55.48.48.10
Fax. 05.55.48.48.19
mail : centraouest@afocel.fr



Centre de NANCY
14. rue Girardet
54042 - NANCY
Cedex
Tél. 03.83.39.68.00
Fax. 03.83.30.22.54
<http://www.engref.fr>

ENGREF

DIVERSITE
FLORISTIQUE DANS
CINQ ESSAIS
D'ECLAIRCIE DE
Pseudotsuga menziesii
Mirb. Franco



INGRID BONHEME

Mastère en Sciences Forestières

1999

Stage réalisé dans le cadre d'un projet financé par le Groupement d'Intérêt
Public-Ecosystèmes Forestiers (GIP ECOFOR).



D.S.E.R.

Diplôme supérieur d'étude et de recherche

Année universitaire
2000-2001

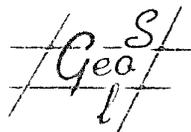
Utilisation d'indicateurs chimiques
de qualité des horizons humifères des
sols pour l'étude de l'impact des
pratiques sylvicoles sur quatre sites
plantés en Douglas
(*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco)



Matthias KOPP

Tuteurs: Francis ANDREUX
Alain BAILLY

Laboratoire d'accueil: UMR A111
INRA Université de Bourgogne
microbiologie des sols - Géosol



ANNEXE 2 :

Tableaux des données brutes

Essai	Parcelle Unitaire	Traitement	Age	Nombre de tiges par ha en 1999	Diamètre en 1999 (cm)	Dg 1999 (cm)	Surface terrière en 1999 (m2/ha)	Volume en 1999 (m3/ha)	Hauteur moyenne en 1999 (m)	Hauteur Dominante (m)	Elancement (Hg/Dg)	HPVV (m)	Hauteur de houppier (m)	Durée depuis l'éclaircie	Nombre d'éclaircies	Irradiance relative	Nombre total d'espèces	Nombre d'espèces de Mousses	Nombre d'espèces de Etage Arbustif	Nombre d'espèces de Etage semi ligneux	Nombre d'espèces de Etage Herbacé
Le BREUIL	P1	T	29	1025	24.01	24.55	48.52	497.2	23.44	25.87	95.48	15.09	8.35	29	0	1.23	3	0	1	1	1
	P3	L3S2	29	232	33.65	36.54	27.37	255.4	24.89	25.83	68.12	10.45	14.44	4	2	12.76	54	5	11	3	35
	P2	L3S4	29	349	36.27	33.97	31.67	344.8	24.68	26.09	72.65	11.88	12.75	4	2	7.46	45	5	3	2	35
SI AMAND	P1	L3S3	37	227	38.76	39.11	27.24	300.4	26.59	27.16	67.99	11.06	15.53	4	3	7.21	28	4	7	5	12
	P2	L5S3	37	371	34.39	34.85	35.4	392.6	25.94	27.46	74.43	13.21	12.74	4	3	3.39	27	5	7	2	13
	P3	L3S3	37	224	37.14	37.42	24.62	258.9	25.13	26.87	67.16	10.94	14.21	4	3	7.51	28	5	7	3	13
	P4	L5S3	37	364	33.02	33.47	32.02	329.1	25.15	27.22	75.14	13.18	11.98	4	3	6.25	19	4	4	2	9
	P5	T	37	1069	23.45	24.28	49.51	536.9	24.66	27.03	101.57	15.36	9.3	37	0	1.04	5	0	3	1	1
	P6	T	37	935	24.47	25.45	47.57	450.9	23.4	27.28	91.94	13.74	9.66	37	0	1.20	4	0	3	1	0
	P7	L5S3	37	371	32.76	33.23	32.22	414.9	27.41	27.16	82.49	12.55	14.86	4	3	5.55	29	5	8	3	13
	P8	T	37	1152	23.45	24.25	53.19	656.1	24.95	26.98	102.89	16.17	8.78	37	0	1.17	5	0	4	1	0
	P9	L3S3	37	225	36.7	37.01	24.16	274.1	27.09	26.86	73.20	12.51	14.59	4	3	16.34	30	6	5	3	16
BOSSICAN	201	T	28	1034	26.11	26.74	58.06	597.4	23.32	25.56	87.21	15.3	8.02	28	0	0.46	5	1	2	1	1
	202	L3	28	486	31.94	32.24	39.67	440.6	23.86	25.7	74.01	12.05	11.81	7	2	2.23	29	3	2	4	20
	203	L3S4	28	309	35.09	35.29	30.19	295.5	23.37	24.93	66.22	10.86	12.48	7	2	6.47	59	5	6	4	44
	204	L3S2	28	363	36.49	36.81	38.59	392.3	24.46	25.66	66.45	12.39	12.07	7	2	2.17	33	4	4	4	21
	301	T	28	995	26.07	26.63	55.45	620.1	24.47	25.46	91.89	16.06	8.4	28	0	0.48	4	0	2	1	1
	302	L3	28	509	33.27	33.49	44.85	493.9	25.49	25.74	76.11	13.24	12.25	7	2	1.30	15	4	2	1	8
	303	L3S4	28	293	37.27	37.42	32.24	337.3	24.69	25.3	65.98	10.93	13.76	7	2	3.70	44	5	5	5	29
	304	L3S2	28	386	36.91	37.29	42.13	446.6	25.2	25.82	67.58	12.41	12.79	7	2	1.45	27	4	5	2	16
St BRISSON	III Témoin	T	29	1008	27.35	28.42	63.97	666.1	22.25	24.53	78.29	12.14	10.11	29	0	0.69	1	0	1	0	0
	III L3	L3	29	484	35.66	36.42	50.38	476.9	22.39	24.18	61.48	10.89	11.49	10	2	2.00	12	5	3	0	4
	III L3S4	L3S4	29	370	37.6	38.06	42.14	399.8	22.77	23.88	59.83	9.16	13.61	5	2	5.14	20	6	5	1	8
	III L3S2	L3S2	29	370	38.42	39.04	44.32	397.3	21.58	22.87	55.28	8.72	12.87	15	1	2.10	10	3	3	0	4
	IV Témoin	T	29	1016	27.96	28.77	66.06	688.1	22.75	24.7	79.08	12.86	9.89	29	0	0.57	2	0	2	0	0
	IV L3	L3	29	484	36.73	37.21	52.58	523.4	23.29	24.07	62.59	10.85	12.45	5	2	1.90	11	6	2	0	3
	IV L3S4	L3S4	29	370	37.77	38.19	42.42	404.3	22.95	23.81	60.09	9.85	13.09	10	2	4.02	22	7	3	1	11
IV L3S2	L3S2	29	370	39.21	39.51	45.42	410.3	21.65	22.71	54.80	8.76	12.93	15	1	2.46	12	6	2	1	3	
FRETEVAL	P1	T	30	1226	24.15	24.52	57.9	631.1	23.48	24.3	95.76	14.65	8.84	30	0	1.43	5	2	1	1	1
	P2	T loc	30	445	31.02	31.22	34.06	390	24.56	25.01	78.67	12.82	11.74	3	3	5.90	26	5	3	3	15
	P3	SD	30	300	34.64	34.75	28.42	300.5	24.72	25.13	71.14	11.71	13.02	3	3	8.75	28	5	3	2	18
	P4	SE	30	289	37.42	37.59	32.08	307.2	24.69	25.88	65.68	10.13	14.56	8	2	3.46	16	5	2	2	7

Données sol : horizon de surface

Essai	PU	Traitement	Graviers (%)	densité apparente (g/cm3)	épaisseur (m)	pH H2O	pH KCl	Acidité d'échange	CEC (cmol/kg)	C org (g/kg)	N Total (g/kg)	Stock C (T/ha)	Rapport C/N
Le BREUIL	P1	T	37.15	1.34	0.12	5.02	4.53	0.49	4.93	20.54	1.45	31.61	14.19
	P3	L3S2	47.17	1.4	0.15	4.89	4.02	0.87	2.58	15.63	1.04	32.46	14.99
	P2	L3S4	42.35	1.29	0.12	5.12	4.49	0.63	4.08	22.36	1.49	35.01	15.01
St AMAND	P1	L3S3		0.99	0.26	4.17	3.77	0.4	5.4	47	2.71	120.37	17.32
	P2	L5S3	19.49	0.74	0.2	4.18	3.86	0.32	4.55	41.3	2.46	61.12	16.82
	P3	L3S3	28.86	0.85	0.25	4.12	3.91	0.21	3	44.77	2.83	94.58	15.89
	P4	L5S3	13.78	0.81	0.23	4.02	3.71	0.32	3.32	46.8	2.63	87.01	17.79
	P5	T	20.75	0.88	0.2	3.94	4.37	-0.43	3.15	37.11	2.24	65.2	16.58
	P6	T	17.91	0.8	0.3	3.93	3.92	0.01	3.95	51.57	3.15	123.5	16.39
	P7	L5S3	16.89	0.83	0.22	3.94	3.94	0	3.15	50.67	3.09	92.33	16.41
	P8	T	16.32	0.8	0.21	3.89	3.85	0.04	5	59.81	3.84	100.06	15.57
	P9	L3S3	19.06	0.86	0.17	3.94	4.03	-0.1	3.6	48.81	3.26	71.21	14.97
BOSSICAN	201	T	0.46	1.28	0.16	4.96	4.56	0.4	6.7	19.62	1.46	40.18	13.42
	202	L3	1.12	1.15	0.16	6.03	5.53	0.5	17.25	32.88	2.52	60.24	13.04
	203	L3S4	1.24	1.18	0.14	6.09	5.82	0.27	18.5	32.04	2.43	52.93	13.16
	204	L3S2	0.22	1.3	0.15	4.71	4.2	0.51	6.3	13.93	1.23	27.16	11.3
	301	T	0.26	1.29	0.12	4.35	3.72	0.63	5.45	13.86	1.07	21.4	12.92
	302	L3	0.34	1.29	0.19	4.74	4.11	0.63	3.55	14.7	1.04	36.07	14.12
	303	L3S4	0.4	1.29	0.17	5.07	4.17	0.9	8.25	18.82	1.47	41.32	12.8
	304	L3S2	0.24	1.25	0.14	4.69	4	0.69	3.33	12.56	0.99	21.37	12.68
St BRISSON	III Témoin	T	24.04	0.83	0.19	4.25	3.93	0.32	2.64	58.93	3.57	92.37	16.51
	III L3	L3	24.55	0.87	0.25	4.29	3.74	0.55	3.54	52.85	2.98	114.95	17.75
	III L3S4	L3S4	19.38	0.9	0.2	4.1	3.81	0.29	2.52	58.85	3.41	104.6	17.1
	III L3S2	L3S2	15.9	0.73	0.22	4.07	3.52	0.55	4.1	77.76	4.7	125.45	16.57
	IV Témoin	T	21.12	0.94	0.25	4.17	3.84	0.33	3.06	57.83	3.39	135.91	17.08
	IV L3	L3	17.76	0.89	0.22	4.22	3.47	0.75	4.04	77.44	4.72	150.77	16.41
	IV L3S4	L3S4	22.51	0.85	0.21	4.37	3.88	0.49	2.9	62.83	3.8	111.93	16.54
IV L3S2	L3S2	18.4	0.9	0.21	4.41	3.87	0.54	3.26	65.03	3.71	122.23	17.54	



Données sol : horizon de sous surface

Essai	PU	Traitement	Graviers (%)	densité apparente (g/cm3)	épaisseur (m)	pH H2O	pH KCl	Acidité d'échange	CEC (cmol/kg)	C org (g/kg)	N Total (g/kg)	Stock C (t/ha)	Rapport C/N
Le BREUIL	P1	T	55.7	1.42	0.2	4.79	3.94	0.85	0.73	7.61	0.66	21.85	11.48
	P3	L3S2	39.96	1.46	0.23	4.62	3.93	0.7	1.82	6.28	0.53	20.83	11.94
	P2	L3S4	55.97	1.4	0.18	4.57	4.64	0.53	1.43	8.58	0.72	21.58	11.85
SI AMAND	P1	L3S3	13.38	0.97	0.07	4.37	4.13	0.24	1.65	19.24	0.89	13.06	21.65
	P2	L5S3	13.95	1	0.15	4.42	4.06	0.36	2	12.64	0.77	18.89	16.38
	P3	L3S3	26	1.05	0.15	4.2	4.12	0.08	2.45	18.47	1.1	29	16.78
	P4	L5S3	36.1	1.04	0.1	4.02	4.14	-0.12	0.9	27.12	1.35	28.29	20.14
	P5	T	19.54	1.12	0.13	4.19	3.97	0.22	1.1	12.13	0.81	17.59	14.91
	P6	T	9.16	1.05	0.14	4.03	4.04	-0.01	3.45	14.35	0.95	21.1	15.06
	P7	L5S3	17.37	0.96	0.12	4.27	4.29	-0.02	1.15	17.23	1.16	19.78	14.86
	P8	T	23.14	0.96	0.1	4.15	4.09	0.07	1.95	20.17	1.19	19.33	16.95
BOSSICAN	P9	L3S3	15.15	1.06	0.35	4.18	4.08	0.1	4.02	9.09	0.66	33.78	13.58
	201	T	0.14	1.46	0.22	4.69	4	0.69	7.95	8.6	0.79	27.67	10.85
	202	L3	1.54	1.27	0.23	6.66	6.27	0.39	20.74	16.28	1.48	47.69	11.01
	203	L3S4	4.54	1.37	0.16	6.69	6.23	0.46	15.78	16.63	1.39	36.54	11.96
	204	L3S2	0.24	1.41	0.37	4.68	4.11	0.57	5.8	6.27	0.67	32.57	9.35
	301	T	0.72	1.43	0.2	4.68	4.04	0.64	7	7.28	0.69	20.75	10.55
	302	L3	0.16	1.4	0.24	4.71	3.95	0.76	6.2	5.34	0.48	17.91	11.05
	303	L3S4	0.52	1.4	0.21	5.03	4.12	0.91	11.6	10.9	0.97	31.94	11.28
	304	L3S2	0.44	1.32	0.34	4.66	3.88	0.81	2.75	5.13	0.49	23.01	10.52
	SI BRISSON	III Témoin	T	22.72	1.1	0.2	4.4	4.23	0.17	1.22	16.86	1.14	37.03
III L3		L3	21.86	1.22	0.22	4.25	4.17	0.08	1.1	13.68	0.92	36.71	14.9
III L3S4		L3S4	28.36	1.37	0.24	4.21	4.28	-0.07	0.8	11	0.69	36.13	15.9
III L3S2		L3S2	17.92	1.12	0.28	4.67	4.24	0.43	1.42	19.31	1.21	60.55	15.98
IV Témoin		T	21.28	1.2	0.2	4.42	4.23	0.19	1.38	12.82	0.93	30.72	13.85
IV L3		L3	11.16	1.21	0.25	4.34	4.27	0.07	1	14.86	1.04	44.96	14.32
IV L3S4		L3S4	20.94	1.26	0.22	4.42	4.3	0.12	0.86	12.93	0.96	65.75	13.5
IV L3S2		L3S2	24.48	1.29	0.24	4.54	4.56	-0.02	0.74	13.71	0.96	42.49	14.27