



HAL
open science

Durabilité écologique des paysages agricoles et production de bois, bocage et néobocage

Ali Lotfi

► **To cite this version:**

Ali Lotfi. Durabilité écologique des paysages agricoles et production de bois, bocage et néobocage. Ecologie, Environnement. Université Rennes 1, 2008. Français. NNT: . tel-00588228

HAL Id: tel-00588228

<https://theses.hal.science/tel-00588228>

Submitted on 22 Apr 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

N° ordre de la thèse : 3782

THESE

Présentée

DEVANT L'UNIVERSITE DE RENNES 1

pour obtenir

le grade de : DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE RENNES 1

Mention: Biologie

PAR

Ali Lotfi

UMR 6553 ECOBIO

Université de Rennes 1

Ecole Doctorale Vie, Agro, Santé

UFR Sciences de la Vie et de l'Environnement

**"Durabilité écologique des paysages agricoles et
production de bois, bocage et néobocage"**

SOUTENUE LE : 18 novembre 2008 devant la commission d'Examen

Composition du jury:

Laurence HUBERT-MOY	Professeur, l'Université Rennes 2	Rapporteur
Sandrine PETIT	Directeur de recherche à l'INRA, Dijon	Rapporteur
Françoise BUREL	Directeur de recherche, CNRS, Rennes	Directrice de thèse
Didier LE COEUR	Maître de conférence, Agrocampus Ouest, Rennes	Codirecteur de thèse
Jacques BAUDRY	Directeur de recherche, INRA, Rennes	Examineur
Hervé DANIEL	Maître de conférence, Agrocampus Ouest, Angers	Examineur

A mes chers parents,

Akram

Et Parisa

Résumé

« Durabilité écologique des paysages agricoles et production de bois, bocage et néobocage »

Les paysages agricoles d'ouest de l'Europe sont caractérisés par la présence de haies qui entourent les parcelles. La multifonctionnalité de ces haies sur les plans économique, environnemental et social est depuis longtemps reconnue. Pendant les dernières décennies, les transformations de l'agriculture ont eu des impacts forts sur ce paysage, : agrandissement des parcelles cultivées, arasement des haies et modification de leur gestion. L'évolution du mode de vie des agriculteurs a également accéléré l'évolution des paysages agricoles.

Dans ce contexte, se pose la question de la durabilité écologique de ce paysage. Nous avons abordé cette question par l'analyse de la durabilité de la production de bois, qui est une fonction économique et écologique importante des haies. Trois aspects ont été développés :

1-Quelle est la variabilité de biomasse ligneuse ?

2-Comment peut-on évaluer cette biomasse ?

3-Quelles est l'importance socio-économique de cette biomasse dans les paysages agricoles ?

L'étude a été réalisée sur un bocage au nord de l'Ille-et-Vilaine, à la fois, par une approche pluri-échelles (brin, arbre, haie, paysage) pour estimer la biomasse ligneuse et une approche socio-économique pour comprendre comment les ménages agricoles utilisent la biomasse ligneuse .

Au niveau du brin une équation allométrique a été construite pour estimer la biomasse des branches à partir de leur circonférence. Au niveau de l'arbre, la biomasse des branches a été estimée en utilisant l'équation du niveau précédant. La variabilité de la biomasse des branches a été étudiée via des paramètres des arbres et des facteurs environnementaux. Au niveau de la haie la variabilité de la production du bois a été évaluée en fonction de la structure de la haie et des facteurs environnementaux. Au niveau du paysage, la dynamique spatiale et temporelle d'émondage et ses relations avec la structure du paysage et les caractéristiques socio-économiques des exploitations agricoles ont été étudiées en interprétant des photographies aériennes de la zone atelier de Pleine-Fougères.

Les résultats nous ont confirmé l'intérêt de la méthode pluri échelle pour aborder la question de biomasse. Au niveau du brin, la circonférence est un bon facteur pour estimer la biomasse d'une branche. La biomasse des branches des arbres est liée aux caractéristiques des arbres. La compétition et la présence de prairie sont des facteurs importants. La structure de la haie et le type du traitement de la haie sont des facteurs importants au niveau de la haie. Au niveau du paysage, la diminution du rythme d'émondage et l'arasement continu des haies apparaissent clairement de 1996 à 2006. A ce niveau on a constaté que la gestion des haies est liée à l'occupation des parcelles adjacentes aux haies.

L'enquête socio-économique auprès des exploitations agricoles nous a indiqué l'importance du bois dans la prévision énergétique des exploitations agricoles. La plantation des haies et leur entretien sont liés à la structure économique de ces exploitations.

Ces résultats nous ont permis de montrer le rôle de l'occupation du sol, et donc des systèmes de production agricole sur la ressource en bois. L'intégration de prairies dans les successions culturales est un atout pour la production de bois. Nous avons pu souligner aussi l'importance économique des haies dans l'économie rurale, surtout pour les exploitations de grande taille, à côté des autres fonctionnalités des haies.

Mots clés : paysages agricoles; durabilité écologique ; biomasse ; haie ; émondage ; production de bois ; exploitation agricole

Abstract

Ecological sustainability of agricultural landscapes and wood production, “bocage and Néobocage”

Typical agricultural landscapes of western Europe and France are called “bocage”. They are made of hedgerows delimiting pastures and crop fields, they provide fuel wood especially for farmers. In these landscapes hedgerows and trees have been used for a long time, they produce wood for timber and energy (firewood) and provide many services to farmers. The multifunctionality of these hedgerows has been identified from economic, environmental and social viewpoints.

In recent decades, the agricultural intensification and mechanization have led to enlargement of fields and removal of many hedgerows. The changes of farmers’ lifestyle have also accelerated this transformation. In this context, we have studied the effects of these changes on the ecological sustainability of bocage, addressing this issue by analysing the sustainability of firewood production. We studied the potentiality of these landscapes for wood production as an index of sustainability of this landscape.

Three aspects have been developed: study of the variability of woody biomass in bocage landscapes, evaluation of woody biomass in these landscapes and study of the socio-economic importance of woody biomass in agricultural landscapes. The study area is situated in northern Brittany, France, in the department of Ille-et-Vilaine. We have used a multi-scale approach to estimate the woody biomass from branch to landscape (branch, tree, hedgerow, landscape) and a socio-economic approach to identify the characteristics of farms which use firewood from hedgerows.

At the level of branch, an allometric equation has been built to estimate the biomass of branches from their circumference. At the second level (tree), the biomass of branches has been estimated using the equation of the lower level. The variability of the branches biomass has been studied using of tree characteristics and environmental data. At the hedgerow level, the variability of woody biomass has been evaluated according to structure of the hedgerow and environmental factors. At the landscape level, spatial distribution and temporal management of hedgerows has been related to the structure of the landscape and the socio-economic characteristics of farms.

The results confirmed that a multi-scale method is relevant to assess the woody biomass at the landscape level. The circumference of branches is a reliable factor for estimating the biomass of branches. The branch biomass of trees is related to the characteristics of trees. The competition between trees and the land use type of adjacent parcels are important factors in the tree biomass. The structure of the hedgerow and type of tree management (pruning, shredding) are the factors influencing in the hedgerow level.

At the landscape level, decreasing of the rate of hedgerow pruning has been observed from 1996 to 2006. During this period, the rate of hedgerow removal has increased. At the landscape level we have observed that hedgerows management and pruning is related to the land use type of adjacent parcels.

The socio-economic section has shown the importance of woody biomass as energy source. The planting of hedgerows and their management are related to the economic structure of farms. Integration of grasslands within crop succession is of interest for wood production. We underlined importance of hedgerows in rural economy, mainly for large farms.

Keywords : agricultural landscapes; ecological sustainability ; biomass ; hedgerow; pruning; wood production; farming system

Remerciements

Je tiens à remercier en tout premier lieu, Françoise Burel qui a assuré la direction de cette thèse au sein de l'équipe d'écologie du paysage. Tout au long de ces trois années, elle a su orienter mes recherches aux bons moments en me faisant découvrir les points inconnus de l'écologie du paysage. Sa disponibilité, son soutien, sa confiance et son sourire toujours accueillant m'ont été indispensables pour continuer ce chemin.

Je remercie également Didier Lecoeur, co-directeur de cette thèse, pour ces conseils précieux et le temps qui m'a accordé pendant ces années.

Je tiens à remercier le gouvernement Iranien qui m'a financé pendant mes études et ces quatre années de séjour en France.

Je remercie les rapporteurs de cette thèse Laurence Hubert-Moy et Sandrine Petit pour l'intérêt qu'elles ont porté à mon travail. J'exprime également mes remerciements à Jacques Baudry et à Hervé Daniel qui ont accepté de faire partie mon jury.

Je voudrais remercier toute l'équipe d'écologie du paysage: Yannick Delettre pour son aide à l'analyse des données, Alain Butet pour ces conseils précieux, Françoise Le Moal, pour la création de la base des données. Merci également à Yann Rantier qui m'a fourni les photos aériennes, à Thomas qui m'a aidé dans la correction de la thèse, à Aude et à Violette, à Jocelyne Beven, à Mme Denou et à Saïd pour leur soutien et leurs encouragements. Aussi, à Jean-Baptiste qui m'a offert une grande connaissance de la culture française.

Je remercie également les membres du Chambre d'Agricole, surtout Mme Isabelle Sénegas à l'Association Aile, et les agriculteurs qui m'ont permis de travailler sur leur terrain et qui ont participé à mon enquête.

Que soient vivement remercié mes parents qui ont contribué, malgré leur absence physique, à l'aboutissement de cette thèse. Sans leur soutien permanent dès mon enfance, je ne serais jamais arrivé à cette étape dans mes études et dans ma vie.

Enfin, j'adresse mes plus tendres remerciements à Akram qui m'a soutenu dans les moments de doute et m'a toujours poussé à me dépasser. Sans elle, rien n'aurait été possible. La présence de notre petite Parisa qui était un grand bonheur pendant cette dernière année m'a beaucoup aidé à terminer ce travail.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION

<u>INTRODUCTION GENERALE</u>	<u>6</u>
<u>CHAPITRE I : INTRODUCTION.....</u>	<u>7</u>
<u>1. BOCAGE ET SON EVOLUTION:</u>	<u>8</u>
1.1 QU'EST-CE QUE LE BOCAGE ?	8
1.2 LES DIFFERENTES FONCTIONS DU BOCAGE.....	8
1.3 EVOLUTION DES HAIES ET DU BOCAGE.....	9
<u>2. BOCAGE ET PRODUCTION DE BOIS</u>	<u>9</u>
2.1 HISTOIRE DES BOCAGES DE L' OUEST ET LA PRODUCTION DU BOIS	9
2.2 BOCAGE, UN SYSTEME TRADITIONNEL D' AGROFORESTERIE POUR LA PRODUCTION DE BOIS	9
2.3 LES MODALITES DE TRAITEMENT DES ARBRES DESTINES A LA PRODUCTION DE BOIS	10
2.3.1 Emondage, traitement traditionnel des arbres de chêne en Bretagne	10
2.3.2 Cépée, d' autre type de traitement courant en Bretagne	10
2.3.3 Haut jet ou coupelle, les arbres destinés à la production de bois d' œuvre	10
2.4 LES INTERETS RECENTS DE LA PRODUCTION DE BOIS DES HAIES :	11
<u>3. MATERIEL ET METHODE:.....</u>	<u>11</u>
3.1 PRESENTATION DES SITES:	11
3.1.1 La zone atelier de Pleine-Fougères :	11
3.1.2 Le département d' Ille-et-Vilaine:	12
3.2 LA METHODOLOGIE :	14

PARTIE 1

CHAPITRE I

<u>1. INTRODUCTION</u>	<u>19</u>
<u>2. MATERIEL ET METHODE.....</u>	<u>21</u>
2.1 ECHANTILLONNAGE	21
2.2 MESURES DENDROMETRIQUES :	22
2.2.1 La circonférence.....	22
2.2.2 La longueur	22
2.2.3 L' âge des branches.....	22
2.2.4 La biomasse des branches (poids)	22
2.2.5 Calcul des poids secs et détermination du taux de l' humidité :	22
2.3 MODELE ALLOMETRIQUE : LA METHODE DE PREDIRE LA BIOMASSE	23

2.4 METHODE D'ANALYSE.....	23
3. RESULTATS :	24
3.1 SECHAGE DES ECHANTILLONS :	24
3.2 LA CONSTRUCTION DE COURBE DE REGRESSION :	25
3.2.1 <i>Choix des variables explicatives</i> :	25
3.2.1.1 Chêne :	25
3.2.1.2 Châtaignier :	27
3.2.2 <i>Recherche d'une équation de régression</i>	29
3.3 LA CONSTRUCTION DU TARIF DE BIOMASSE:	31
3.4 LA QUESTION DE BIOMASSE DES BRANCHES A FAIBLE DIAMETRE :	31
4. DISCUSSION:.....	33
4.1 COMPARAISON DES DEUX REGRESSIONS DE CHENE ET DE CHATAIGNIER :	33
4.1.1 <i>Test de Parallélisme</i>	33
4.1.2 <i>Test de Coïncidence</i>	33
4.2 DOMAINE GEOGRAPHIQUE DE LA VALIDITE DES REGRESSIONS :	34
4.2.1 <i>Test de validité de l'équation établie pour les branches de chêne:</i>	35
4.2.2 <i>Test de validité de l'équation établie pour les branches de châtaignier :</i>	36
4.3 LA COMPARAISON AVEC D'AUTRES ETUDES :	37
5. CONCLUSION :	38

CHAPITRE II

1.INTRODUCTION :	40
2.MATERIEL ET METHODE:	43
2.1 SITE D'ETUDE :	43
2.2 STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE :	45
2.2.1 <i>Les critères relatifs aux échantillons des haies dans le paysage</i> :	45
2.2.2 <i>Les critères relatifs aux échantillons des arbres dans le paysage et les haies</i> :	47
2.3 COLLECTE DES DONNEES	48
2.3.1 <i>Collecte des données relatives à la haie:</i>	48
2.3.2 <i>Collecte des données relatives à l'arbre, et description des méthodes de mesure des paramètres des arbres</i> :	48
2.3.2.1 <i>Mesure du tronc</i> :	50
2.3.2.2 <i>Mesure des branches</i> :	51
2.4 METHODES DE CALCUL DE LA BIOMASSE DES DIFFERENTES PARTIES DE L'ARBRE (BRANCHE ET TRONC) :	53
2.4.1 <i>Estimation de la biomasse des branches</i> :	53
2.4.2 <i>Détermination du volume des troncs et construction du tarif du cubage</i> :	53
2.4.2.1 <i>Détermination des volumes de tronc des arbres:</i>	54
2.4.2.2 <i>Construction du tarif du cubage</i> :	54

2.5	DEFINITION DE DIFFERENTS INDEX DE BIOMASSE POUR ETUDIER LES HYPOTHESES :	55
2.5.1	Biomasse totale : La biomasse totale des branches produite entre deux dates d'émondage	56
2.5.2	Biomasse annuelle : La productivité : La production de biomasse annuelle	56
2.5.3	La productivité volumique: La production de biomasse annuelle par l'unité de volume de tronc d'arbre	56
2.5.4	Les biomasses des branches de chêne émondé en fonction de la durée moyenne d'émondage (12ans) :	56
2.6	DEFINITIONS DE QUELQUES MOTS CLES:	56
2.7	METHODES D'ANALYSE STATISTIQUE:	57
2.8	GESTION DES DONNEES.....	57

3. RESULTATS ET DISCUSSION :.....58

3.1	TARIF DE CUBAGE DES TRONCS ET ESTIMATION DU VOLUME DE TRONC.....	58
3.2	LA PRODUCTION DE LA BIOMASSE DES BRANCHES DES ARBRES :	60
3.3	CALCUL DE BIOMASSE DES BRANCHES A UN AGE IDENTIQUE (12 ANS)	62
3.3.1	<i>Partitionnement et distribution de la biomasse dans différentes parties de l'arbre:</i>	62
3.3.2	<i>Définition de la notion d'accroissement :</i>	64
3.3.3	<i>La transformation des données brutes pour les ramener à un âge identique.</i>	65
3.4	RELATION ENTRE LA PRODUCTION DE BIOMASSE ET LES CARACTERES DES ARBRES (HAUTEUR, DIAMETRE, VOLUME).....	67
3.5	L'EFFET DE LA COMPETITION SUR LA PRODUCTIVITE DES RAGOSSES:	69
3.5.1	<i>Effet de voisinage sur la taille du houppier (la largeur et la longueur)</i>	69
3.5.2	<i>Détermination du seuil de compétition des arbres.</i>	69
3.5.3	<i>Effets de l'isolement (ou compétition) sur la production de biomasse et d'autre caractéristiques des arbres ragosses:</i>	69
3.6	INFLUENCE DE L'OCCUPATION DU SOL DES PARCELLES ADJACENTES SUR LA PRODUCTIVITE DES ARBRES	71
3.7	LES LIENS ENTRE LA PRODUCTION DE BIOMASSE ET LES CARACTERISTIQUES DE L'ARBRE.	72
3.7.1	<i>Etudier la variabilité des paramètres liés aux arbres :</i>	72
3.7.2	<i>Résultats des axes 1 et 2 du bilan des variables :</i>	73
3.7.3	<i>Interprétation des valeurs des variables sur l'axe 1 de l'ACP:</i>	74
3.7.4	<i>Discussion :</i>	75
3.8	VARIABILITE DE LA BIOMASSE EN FONCTION DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX (LE ROLE DES DIFFERENTS FACTEURS ECOLOGIQUES SUR LA BIOMASSE DES ARBRES EMONDES):	76
3.8.1	<i>Choix du modèle d'analyse des données:</i>	77
3.8.2	<i>Test de significativité du modèle sélectionné:</i>	77
3.8.3	<i>Interprétation de la variabilité de la biomasse des arbres en relation avec les facteurs environnementaux, à l'aide d'une Analyse de Redondance (RDA).</i>	78
3.8.4	<i>Discussion :</i>	80
3.9	PREDIRE LA BIOMASSE DES BRANCHES DES EMONDES A PARTIR DE DONNEES RELATIVES AUX ARBRES ET AU MILIEU (CONSTRUIRE UN TARIF DE BIOMASSE) :	82
3.9.1	<i>Choix des variables du modèle :</i>	82
3.9.2	<i>Construction du modèle de biomasse :</i>	83
3.9.3	<i>Discussion:</i>	83

4 CONCLUSION85

CHAPITRE III

1-INTRODUCTION :	87
2- MATERIEL ET METHODE:	89
2.1 SITES D'ETUDES ET CRITERES DE CHOIX DES SITES :	90
2.2 COLLECTE DES DONNEES:	95
2.2.1 <i>Les mesures effectuées sur la haie :</i>	95
2.2.2 <i>Les mesures effectuées sur le sol:</i>	97
2.2.3 <i>Les mesures effectuées sur les chantiers de déchetage :</i>	99
2.3 LA COLLABORATION AVEC LA CHAMBRE AGRICULTURE D'ILLE-ET-VILAINE :.....	100
2.4 GESTION DES DONNEES.....	100
2.5 METHODES D'ANALYSES DES DONNEES :	105
2.5.1 <i>Préparation et codage des données :</i>	105
2.5.2 <i>Classification ascendante hiérarchique des haies en fonction des données structurales :</i>	105
2.5.3 <i>L'analyse de Co-inertie de l'ACP de la productivité des haies et de l'ACP de la structure et de l'ACM du milieu des haies.</i>	106
3. RESULTATS ET DISCUSSION	107
3.1 SECHAGE DES ECHANTILLONS :	107
3.2 LA VARIABILITE DE LA PRODUCTION INTER-HAIE DU BOIS :.....	107
3.3 CLASSIFICATION DES HAIES	111
3.3.1 <i>Typologie des haies selon leurs caractéristiques structurales.</i>	111
3.3.2 <i>Description statistique des résultats de la classification</i>	112
3.3.3 <i>Conclusions de la classification ascendante hiérarchique:</i>	115
3.4 ETUDE DES RELATIONS ENTRE LA STRUCTURE DES HAIES ET LA PRODUCTION DE PLAQUETTES : RESULTATS D'ANALYSE DE CO-INERTIE.....	116
3.4.1 <i>Relations entre les variables de productivité des haies : Résultats d'ACP sur les données de production de la haie.</i>	116
3.4.2 <i>Etude des relations entre les variables structurales des haies : Résultat d'ACM sur les caractéristiques de la haie.</i>	119
3.4.3 <i>Etude des relations entre la productivité des haies et leurs caractéristiques : Co-Inertie à partir des deux analyses précédentes.</i>	122
3.4.4 <i>Conclusion.</i>	125
3.5 ETUDE DES EFFETS DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX SUR LA PRODUCTIVITE DES HAIES	126
3.5.1 <i>Une analyse de l'ACP, sur les valeurs de productivité de 38 haies.</i>	126
3.5.2 <i>Une analyse de l'ACM, sur les variables d'environnement aux alentours des haies.</i>	126
3.5.3 <i>Analyse de co-inertie.</i>	126
3.5.4 <i>Conclusion :</i>	126
4. DISCUSSION :	127
5. CONCLUSION :	127

CHAPITRE IV

SECTION I

INTERDISCIPLINARY ANALYSIS OF HEDGEROW NETWORK LANDSCAPES SUSTAINABILITY 130

SECTION I

ESTIMATION DE LA PRODUCTION DE BOIS A PARTIR DES DONNEES DE PHOTOGRAPHIES AERIENNES ET LES DONNEES DE L'ARBRE (CHAPITRE 3).

..... **144**

1. ESTIMATION DE LA QUANTITE DES HAIES EMONDEES SUR LA ZONE ATELIER DE PLEINE-FOUGERES : 144
2. ESTIMATION DE LA PRODUCTION MOYENNE DU BOIS SUR UNE LONGUEUR DE 100 METRE DE HAIE DANS LA ZONE D'ETUDE 145
3. ESTIMATION DE LA PRODUCTION TOTALE DU BOIS SUR LA ZONE D'ETUDE..... 146

PARTIEII

CHAPITRE V

1. INTRODUCTION 150

2.MATERIEL ET METHODES..... 151

- 2.1 SITE D'ETUDE : 151
- 2.2 DEFINITION DES DONNEES RECOLTEES (VARIABLES INITIALES) DES EXPLOITATIONS AGRICOLES : 151
- 2.3 METHODE D'ANALYSE DES DONNEES: 153

3.RESULTATS 153

- 3.1 PRESENTATION GENERALE DES DONNEES ACQUISES 153
- 3.2 LA CARACTERISATION DES EXPLOITATIONS AGRICOLES EN TERME DE PRODUCTION ET DE CONSOMMATION DE PLAQUETTES (ENTRETIEN ET PLANTATION DES HAIES):..... 161
- 3.3 CARACTERISATION DES EXPLOITATIONS AGRICOLES SELON LEURS CARACTERISTIQUES STRUCTURALES, LA PRODUCTION ET LA MAIN D'ŒUVRE : 162
- 3.4 RELATION ENTRE LES CARACTERISTIQUES DES EXPLOITATIONS AGRICOLES ET LES CARACTERISTIQUES DES HAIES : 163
- 3.5 PLANTATION DE HAIES, ESPECES PLANTEES ET GESTION:..... 165

4.DISCUSSION 167

5. CONCLUSION..... 171

CONCLUSION.....173

Introduction Générale

Introduction générale

Les paysages agricoles européens sont caractérisés par la présence d'arbres, soit autour des parcelles, soit en plein champ. Dans l'ouest de la France, le « bocage », est constitué de haies vives qui entourent les parcelles, elles forment la trame verte du paysage. Pour les géographes, le bocage est un type de paysage agricole de telle façon que l'ensemble des champs est entouré de haies vives ou de talus boisés (Meynier 1970).

Pendant le siècle dernier, et surtout après la deuxième guerre mondiale, en lien avec l'intensification et la mécanisation agricoles et, il y a eu un déclin considérable de la quantité et la qualité de ces haies. En France, plus de 600 000 Km de haies ont été détruites entre la fin des années soixante et les années quatre-vingt, soit la moitié du linéaire total (Baudry and Jouin 2003) ; mais ce phénomène n'est pas particulier à la France, d'autres pays européens ont subi également cette dégradation. Bazin et Schmutz estiment que depuis 1960, 40 à 80 pourcents des bocages en Europe ont disparu ou dégénéré faute d'entretien (Bazin and Schmutz 1994) et Barr estime une perte de 80% des haies dans les campagnes de l'Est de l'Angleterre de 1950 à 1975 (Barr and Gillespie 2000).

Les haies, les éléments principaux du bocage, ont différents rôles et fonctions qui ont été adaptés aux sociétés rurales, et ont évolué au cours du temps (Antoine 2006). Certaines fonctions ont disparu ou ne sont plus très importantes dans le contexte actuel. C'est le cas du rôle de clôture des haies, remplacé par le fil barbelé ou électrique, ou celui d'approvisionnement en énergie remplacé par l'électricité ou les énergies fossile (Lefevre 1986; Baudry and Jouin 2003). Ceci explique, en partie, le désintérêt des agriculteurs pour l'entretien des haies. La production de bois reste tout de même importante dans certaines régions françaises, à côté des autres sources d'énergies (De Caix, 1994; De Corlieu, 1999; Meiffren et Ruscassie, 2004).

Cette étude aborde la production de bois des haies, afin de quantifier la biomasse ligneuse d'un bocage et d'en étudier la variabilité en fonction de paramètres, liés aux haies, au milieu et à la structure du paysage.

Nous allons donc aborder dans ce travail, les questions suivantes :

- Comment peut-on évaluer la biomasse ligneuse du bocage à différents niveaux: de la branche au paysage (branche, arbre, haie, paysage)?
- Quelles sont les variables influençant sur la productivité d'un arbre et d'une haie ?
- Au niveau du paysage, comment peut-on évaluer la productivité de la biomasse des haies bocagères ?
- Quelles sont les caractéristiques socio-économiques des agriculteurs qui utilisent le bois énergie ?

Les résultats de cette étude seront structurés en cinq chapitres :

Introduction

Chapitre I	Etude de la production en biomasse des branches des arbres émondés.
Chapitre II	Evaluation de la biomasse produite par les arbres d'émondés.
Chapitre III	La production en biomasse des haies du bocage et sa variabilité.
Chapitre IV	Etude de la biomasse ligneuse au niveau du paysage.
Chapitre V	Etude socio-économique de la production et de la consommation du bois.
Conclusion	

Introduction :

Dans le premier chapitre (Introduction), nous avons étudié les rôles et les fonctions des haies, l'aspect de la production du bois, la notion d'agroforesterie bocagère et enfin on a élaboré la problématique de notre recherche.

Nous présentons également le site d'étude, la méthodologie générale de la thèse et le matériel et les méthodes utilisées pour acquérir des données du terrain dans ce chapitre.

Evaluation de la biomasse ligneuse :

Dans les chapitres 2 à 5, nous étudions la biomasse ligneuse aux différents niveaux, du brin au paysage. Pour chaque niveau, la méthode, la stratégie d'échantillonnage et les résultats, seront présentés et chaque partie se terminera par une discussion et une conclusion.

Importance socio-économique de la production et la consommation de bois :

Dans le cinquième chapitre (Etude socio-économique de la production et consommation du bois) nous présentons la technique du bois déchiqueté et nous étudions les caractéristiques socio-économiques de la production des plaquettes des haies bocagères et sa consommation pour la chaudière.

L'objectif de ce chapitre est d'étudier l'importance socio-économique du bois énergie dans le bilan énergétique des ménages agricoles et d'étudier les liens entre la production et la consommation du bois et le système d'exploitation agricole.

Chapitre I : Introduction

L'arbre est toujours une source de bois, soit en forêt soit hors forêt, que ce soient des arbres isolés en plein champ ou des arbres en alignement dans une haie. La production de bois des haies, joue un rôle important dans les politiques de restauration et de reconstitution des haies.

Dans cette partie, on va d'abord, revoir l'origine des haies en vue de la production du bois. L'évolution et le changement du bocage au cours du temps jusqu'à notre époque, est aussi important pour visualiser cette réserve du bois. Le paysage bocager est un bel exemple d'agroforesterie traditionnelle, un équilibre parfait et une relation raisonnable et durable entre l'arbre, la culture et les animaux ; cela justifie notre effort de lancer un nouveau regard sur ce thème.

L'objectif de cette thèse est d'évaluer et quantifier de la biomasse ligneuse d'un bocage et d'étudier sa variabilité en fonction de quelques facteurs environnementaux afin de fournir des éléments permettant de calculer le gisement de bois du bocage.

Les arbres du bocage ont depuis longtemps été utilisés comme source d'énergie par les habitants. Dans le contexte d'une augmentation du coût de l'énergie on veut étudier l'importance du bocage actuel pour la production de bois. Un autre objectif est d'étudier la production de bois par les haies nouvelles. Depuis les années 1980 la réhabilitation des haies a été favorisée par la mise en place de politiques publiques de replantation des haies. L'intérêt de la production de bois à côté d'autres fonctionnalités de ces haies (intérêt floristique et faunistique, lutte contre l'érosion, intérêt pour le cycle d'eau, etc.) est mis en question.

1. Bocage et son évolution:

1.1 Qu'est-ce que le bocage ?

Bocage est le nom commun des régions agricoles de l'ouest de la France, où les parcelles et les champs sont enclos par des talus des haies ou des rangées d'arbres qui marquent les limites de parcelles de tailles inégales et de formes différentes (Meynier 1970).

Bien que le terme de « bocage » soit spécifique de cette région géographique, on peut trouver ce type de paysage dans différentes régions du monde. De l'Europe centrale et occidentale aux à l'Amérique du nord et du sud, l'Asie et l'Afrique (Baudry et Perichon, 2007).

1.2 Les différentes fonctions du bocage

A coté de l'aspect économique de la production du bois, les haies et le bocage jouent des rôles très importants au niveau du paysage. On peut étudier ces fonctions selon différents points de vue:

- **Ecologique:**

Les haies réunissent les conditions de vie nécessaires au développement d'une faune et d'une flore variées. En assurant des rôles vitaux pour les animaux, zone de refuge ou d'abri pour certains, zone d'alimentation et de nidification pour d'autres (Chamberlain et al., 2001), les haies favorisent le développement et le maintien de la biodiversité (Burel et Baudry, 1999 ; Marshall et al. 2001 ; McCollin, 2000).

De plus la fonction corridor écologique des haies, favorise la dispersion d'espèces comme les insectes (Burel, 1989 ; Pichancourt et al., 2006 ; Ouin et al., 2008), les micromammifères (Merriam et lanoue, 1990 ; Michel et al., 2007, Michel et al., 2006), les oiseaux (Domwski et Koziakiewicz, 1990 ; et les plantes (Corbit et al.,1999 ; de Blois et al., 2002 ; Herlin et Fry , 2000 ; Roy et al., 2008).

- **Agricole:**

L'effet brise vent des haies joue un rôle important dans la protection des cultures et du bétail. De plus les haies interviennent sur la régulation du cycle de l'eau.

Au niveau local ou micro-régional, les haies permettent une régulation de paramètres climatiques comme la température (Guyot et Seguin, 1976), l'hydrométrie (Guyot, 1983; Ghazavi, 2008), la pluviométrie (Mérot, 1976 ; De Parcevaux et Guyot, 1980) et le vent (Guyot, 1997).

De plus, elles ralentissent fortement l'érosion éolienne ou hydrique des sols. Elles limitent l'érosion hydrique (Monjuvent, 1978), d'autant plus que la haie est située sur un talus. Ces talus, lorsqu'ils sont parallèles aux courbes de niveaux, constituent des barrages successifs pour les matériaux transportés sur les pentes par les eaux de ruissellement. Ainsi, les talus interceptent jusqu'à 2/3 des particules arrachées par érosion (Pihan, 1976).

- **Economique et culturelle:**

Les haies produisent du bois de chauffage et du bois d'œuvre, mais aussi des fruits et des baies (noisettes, prunelles, mûres...), elles sont également source de plantes médicinales (Soltner, 1991).

La haie a aussi un potentiel esthétique non négligeable. En plantant des arbres à fleurs ou à baies, on peut apprécier, à chaque saison, une nouvelle palette de couleur (Soltner, 1991).

1.3 Evolution des haies et du bocage

Le linéaire de haies en France est passé de 1 244 110 km à 707 605 km entre les deux premiers cycles de l'inventaire IFN entre 1975 et 1987, soit une perte annuelle d'environ 45 000 km (Pointereau 2001).

Sur la période 1982-1990, les surfaces de haies ont diminué de 5% par an (et si on prend en compte aussi les arbres hors haies, on arrive à une diminution de 14%), mais par contre pendant la période de 1991-2000 il a eu une augmentation de 21% de la surface de haies (la surface des haies en 1991 est passée de 500,5 milliers d'hectares à 605,1 milliers d'hectares en 2000). Ces 605 000 ha de haies ha de haies représentant 1,1% du territoire national et 2% de la surface agricole utilisée (Pointereau 2004).

Le résultat de la dernière campagne d'inventaire (réalisée en 2005-2006), montre un linéaire de 1,2 million de km des haies sur l'ensemble du territoire métropolitain (IFN, 2007). Le changement de méthode utilisée pour cette campagne, nous ne permet pas à comparer ces résultats avec les résultats précédents.

2. Bocage et production de bois

2.1 Histoire des bocages de l'ouest et la production du bois

L'origine et la construction de bocage remontent à la préhistoire d'après Meynier (1970), mais la majeure partie des haies ont été édifiées plus récemment, au moyen âge et surtout au XIXème siècle. Les haies ont été soit plantées, soit sont des haies spontanées qui se sont développées au long d'un talus, d'un fossé ou d'une clôture, ou enfin correspondent à des limites de défrichement de forêt (Forman and Baudry 1984).

La production du bois était une fonction principale de la haie (White, 1980; (Lefevre 1986). En effet, les haies produisent classiquement des produits tels que du bois de chauffage en rondins exploité tous les 10 à 15 ans, du petit bois qui était utilisé en fagots et qui peut être maintenant déchiqueté (pour le chauffage), du bois pour les usages de la ferme (piquets de clôtures, perches, outils...) ou encore du bois pour l'industrie (panneaux de particules, pâte à papier, etc.) (Liagre, 2006 ; Baudry et Jouin, 2003, Bazin et al., 1995, Delelis, 1981).

A l'origine, la production de bois était une fonction secondaire après des fonctions comme la clôture des parcelles (Antoine 2001). Au cours du temps, cependant la production de bois est devenue de plus en plus importante, et est a été considérée comme principale au début du XX siècle (Lefevre 1986).

L'enquête de Solagro en 1997 montre l'importance actuelle de la production du bois des haies. Les haies fournissent 1,7 millions de mètre cube de bois de chauffage représentant de 39% du bois exploité par les agriculteurs et 44% du volume de bois exploité dans les exploitations agricoles (Pointereau 2001).

2.2 Bocage, un système traditionnel d'agroforesterie pour la production de bois

Le bocage est une forme d'agroforesterie très courante en Europe. Les agricultures européennes ont intégré de manière diversifiée l'arbre dans leur système de production. Dans le Nord, l'arbre est généralement confiné dans les haies de bordure, c'est le bocage atlantique à base de chêne pédonculé. Dans le Sud, l'arbre est dans la parcelle en complant, c'est la dehesa espagnole à base de chêne vert (Chiffot 2003).

D'une manière générale, le bocage est une forme d'agroforesterie. Nair (1990) définit l'agroforesterie comme « tous les systèmes d'utilisation du territoire qui associent des arbres ou d'autres végétaux ligneux pérennes et des productions animales et/ou végétales sur la même unité de surface »(Nair 1990).

Selon cette définition, tous les systèmes agricoles liés aux arbres sont pris en compte. Nair (Nair 1990) et Troquebiau (Torquebiau 2000) proposent une classification en trois grands types :

- L'agrosylviculture : pour les associations de cultures et d'arbres
- Le sylvopastoralisme : pour les arbres, pâturage et animaux,
- L'agrosylvopastoralisme : pour les arbres, cultures, pâturage et animaux

D'après cette classification, le bocage de Bretagne avec ses haies brise-vent et le système culture – pâturage associé, est une forme d'agrosylvopastoralisme qui permet de favoriser la production de bois à côté des cultures et des prairies.

2.3 Les modalités de traitement des arbres destinés à la production de bois

Les arbres et les haies en bordures des champs sont l'objet de traitement et entretien par les agriculteurs. Il existe différents types de gestion et d'entretien des haies et des arbres. Cette différence est liée aux coutumes et aux fonctions souhaitées par les agriculteurs (Bazin et al., 1995; Baudry et al., 2000) et aux valeurs culturelles et paysagères des haies (Baudry et Bunce, 2000). Les formes principales d'entretien des arbres sont l'émonde, la cépée et le haut jet.

2.3.1 Emondage, traitement traditionnel des arbres de chêne en Bretagne

L'émondage est un savoir-faire traditionnel des exploitants agricoles qui coupent les branches latérales des arbres sur toute la longueur du tronc, y compris la tête pour produire du bois de chauffage. Les arbres ainsi émondés sont appelés ragosses ou émondés en Ille et Vilaine.

Traditionnellement, la fréquence de coupe des branches pouvait être de 6 à 9 ans pour le chêne (Bazin et al., 1995), mais cette fréquence est très variable aujourd'hui de 6 à 20 ans (Baudry et Jouin, 2003). Cette fréquence est de 3 à 6 ans pour les bois à pousse rapide comme le châtaignier. Depuis les années cinquante, cette règle a perdu sa validité, car on trouve fréquemment des haies qui ne sont pas émondées depuis une trentaine d'années et inversement, des arbres dont les coupes ont été rapprochées, en particulier lorsqu'ils gênent des cultures (Javelle, 2007). L'émondage est souvent destiné à la production du bois de chauffage.

Dans cette étude nous abordons ce type de traitement.

2.3.2 Cépée, d'autre type de traitement courant en Bretagne

Quand l'arbre est taillé au ras du sol ou de souche, de sorte qu'il repousse en formant de nouveaux brins depuis la souche, ce traitement s'appelle « cépée ». En Bretagne, et surtout dans le site d'étude, le noisetier et le châtaignier sont principalement traités en cépée. La fréquence de ce type de traitement est environ 6 ans (Bazin et al., 1995). Les bois issus de ce type de traitement, sont utilisés comme bois de travail (par exemple piquet de clôture) et bois de chauffage.

2.3.3 Haut jet ou coupelle, les arbres destinés à la production de bois d'œuvre

L'autre type de traitement courant en Bretagne est le haut jet ou coupelle. Les branches latérales sont coupées au ras du tronc jusqu'au houppier de l'arbre. Ce type de traitement permet de produire du bois de qualité (bois d'œuvre). Les branches issues de l'élagage ne sont pas valorisées et souvent sont brûlées sur place.

Le rôle de ce type d'arbre dans la production de bois de chauffage est moins important que les précédents (Liagre F. 2006).

2.4 Les intérêts récents de la production de bois des haies :

Dans le passé, le bois était la principale matière première : bois d'œuvre, bois de chauffage, bois pour les outils, piquet... Actuellement on constate un regain d'intérêt pour la valorisation énergétique du bois des haies, et ceci pour plusieurs raisons :

- Intérêts économiques:
 - ✓ Le coût élevé des énergies fossiles et leurs hausses régulières est un gouffre financier qui incite à changer de combustible vers le bois.
 - ✓ L'énergie bois est stable dans le temps au niveau de son coût et reste la moins chère des énergies.
 - ✓ Chômage et main d'œuvre : la filière bois peut fournir certains emplois aux niveaux local et régional et de baisser le taux de chômage. La part de main d'œuvre dans le prix du kWh bois est beaucoup plus importante que dans celui des énergies fossiles.
 - ✓ Revenu pour les agriculteurs
 - ✓ Indépendance énergétique vis-à-vis des énergies fossiles pour les agriculteurs, et au niveau supérieur pour le pays.
- Intérêts environnementaux :
 - ✓ Le réchauffement climatique n'est plus une théorie mais un fait scientifique qui ne souffre aucune contestation sérieuse. Les rejets dans l'atmosphère de gaz comme le CO₂ contribuent à la modification du climat et à ses conséquences prévisibles sur notre vie. Le bois est une énergie renouvelable neutre en CO₂ qui contribue à la limitation des Gaz à Effet de Serre.
 - ✓ De plus c'est une incitation supplémentaire au maintien et à l'amélioration du bocage (haies indispensables à l'équilibre environnemental).
 - ✓ En valorisant les petits bois issus du traitement des haies, on évite le gaspillage et le brûlage des petites bois sur le terrain.
- Intérêts Techniques :
 - ✓ Les nouvelles techniques de régulation de la quantité d'air et de combustible qui arrivent dans le foyer de la chaudière permettent des rendements de combustion de 85 à 90% supprimant du même coup les phénomènes d'oxydation du foyer et du goudronnage du conduit de cheminée. La quantité de cendres produite est comprise entre 1 et 2% du tonnage de bois consommé et peut-être épandue sur les champs.

3. Matériel et méthode:

3.1 Présentation des sites:

Par rapport au notre problématique de recherche et les niveaux d'étude, on a considéré différents sites aux niveaux local et régional. Au niveau local, nous avons travaillé principalement sur la zone atelier de Pleine-Fougères. Au niveau régional, nous avons travaillé sur l'ensemble du département d'Ille et Vilaine.

3.1.1 La zone atelier de Pleine-Fougères :

La zone atelier se situe au nord-est de l'Ille-et-Vilaine et couvre 8,749 ha. Elle est formée de trois sites d'études, le site A situé au sud correspond schématiquement aux communes de Trans-la-Forêt et Broualan, le site B situé au milieu de la zone correspond à la commune de

Vieux-Viel, et le site C situé au nord correspond aux communes de Pleine-Fougères et Sains. La surface des sites varie de 659 ha (site A) à 1816 ha (site C), la surface de site B est 924 ha.

Les trois sites sont répartis sur un gradient d'ouverture du bocage. En effet, sur une dizaine de kilomètres, la densité moyenne des haies passe de 106 m/ha sur le site A (le bocage fermé) à 49 m/ha sur le site C (le bocage ouvert), en passant par la situation intermédiaire de 83 m/ha sur le site B (Figure 1).

La pluviométrie moyenne annuelle est de 745 mm par an. La température moyenne est de 6°C en janvier et de 18,2°C en août. Le relief est ondulé, le sol est principalement composé de schiste et de granit.

Dans cette zone atelier, nous avons effectué tous nos échantillonnages aux niveaux de branche (branche de chêne) « chapitre 2 » et de l'arbre (ragosse) « chapitre 3 » et aussi une partie de notre échantillonnage au niveau de la haie « chapitre 4 ». L'étude au niveau de paysage « chapitre 5 » a été complètement effectuée dans cette zone atelier.

3.1.2 Le département d'Ille-et-Vilaine:

Le département d'Ille-et-Vilaine est situé à l'est de la Bretagne avec une population de 930 000 habitants en 2005. C'est un département urbanisé puisque 84 % des habitants résident en zone urbaine.

Le climat est typiquement océanique. La pluviométrie varie de 700 à 900 mm par an selon les secteurs. Les températures varient de 8°C pour les minimales à 15°C pour les maximales en moyenne normale (Météo France). Les terres sont plutôt fertiles, surtout dans le nord du département, et le relief peu prononcé facilite la mise en culture.

L'Ille-et-Vilaine compte un peu plus de 11 600 exploitations agricoles d'après les résultats de l'enquête structure réalisée en 2005 contre 14 760 au recensement agricole de 2000. Environ 7 800 peuvent être qualifiées de professionnelles au sens où elles emploient au moins 0,75 UTA (unité de travail annuel) et atteignent une dimension économique d'au moins 8 UDE (unité de dimension européenne). La SAU moyenne est de 54 hectares, et les chefs d'exploitation optent de plus en plus pour une forme sociétaire de type GAEC ou EARL.

La dimension économique moyenne de ces structures atteint 71 UDE (49 UDE pour l'ensemble des exploitations du département).

Les cultures fourragères sont importantes. Le maïs fourrage approche chaque année les 100 000 ha, soit près du quart de la SAU. Les prairies temporaires occupent une part encore plus importante du territoire alors que la superficie toujours en herbe ne dépasse que légèrement le tiers des surfaces fourragères totales.

Le taux de boisement du département est de 8,3%, inférieur au taux moyen national (26,5%) et aussi à celui de la région Bretagne (11,9%) et la longueur des haies dans département est estimée à 19 820 km (IFN, 1999).

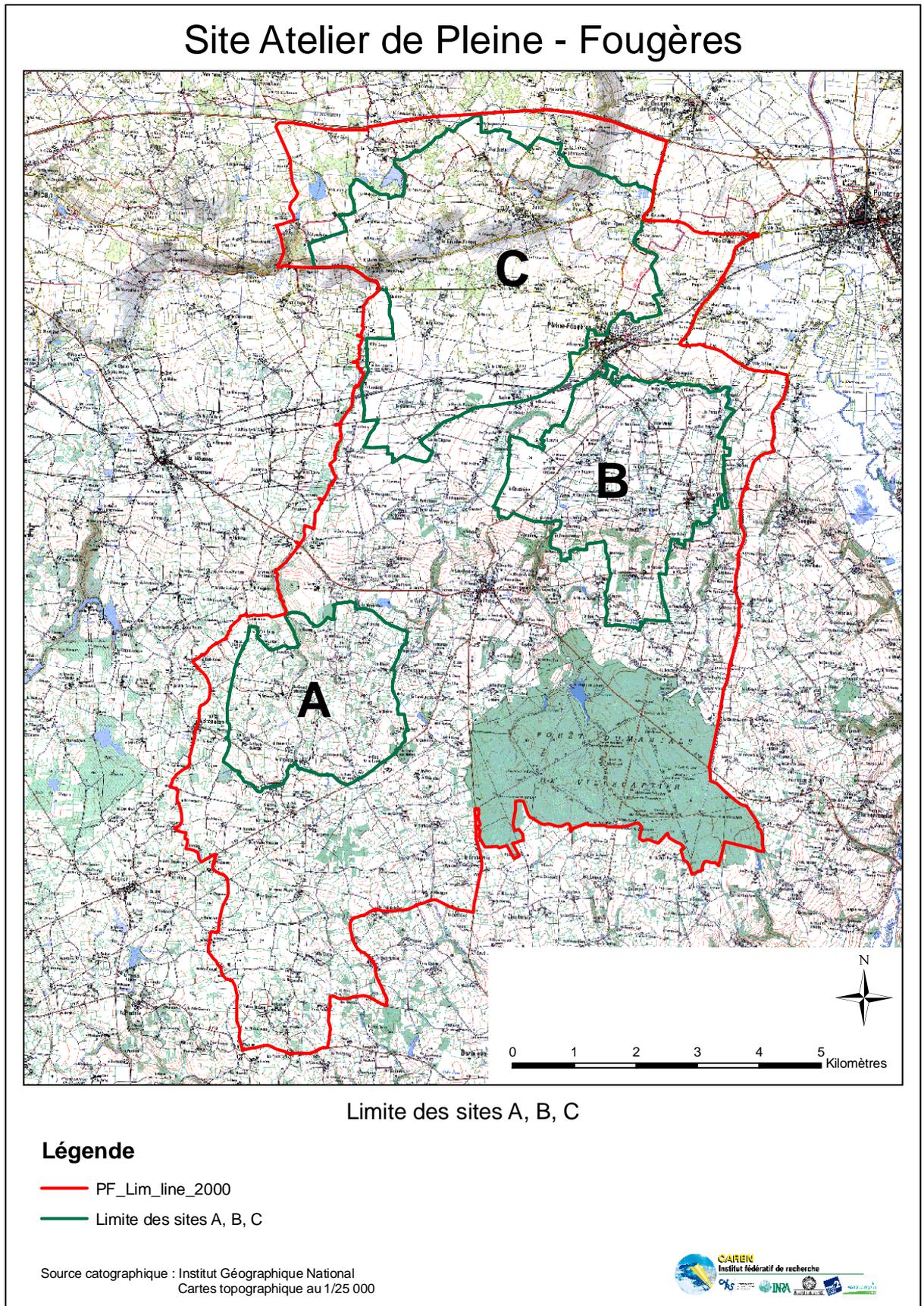


Figure 1: Carte de la zone atelier de Pleine-Fougères et des sites A, B et C.

3.2 La méthodologie :

La question majeure et globale de notre recherche est de savoir comment on peut évaluer la biomasse ligneuse d'un paysage bocager.

Le paysage bocager est un système complexe où les facteurs biotiques (arbre, haies, bois...) et les facteurs physiques ou abiotiques (texture et structure des sols, relief, érosion, hydrographie, topographie, etc.) forment l'écosystème (Baudry 1985). Ce paysage est caractérisé par son hétérogénéité autrement dit, les haies et les arbres, les éléments principaux de la biomasse ligneuse, ne sont pas distribués de manière homogène. (Burel and Baudry 1990).

Dans notre cas, cette hétérogénéité est bien visible à chaque niveau d'observation. Au niveau du paysage, la densité du maillage bocager varie (Burel and Baudry 1999).

Au niveau de la haie, la structure de la haie n'est pas homogène, les essences d'arbres sont variées et la distance entre eux n'est pas égale.

Au niveau de l'arbre, le nombre de brins sur chaque arbre est différent ; les branches ne poussent pas de manière homogène sur le tronc ; chaque arbre a une forme spécifique.

Au niveau du brin il y a une grande variabilité de la longueur et du diamètre des branches d'un arbre.

Notre objectif est d'intégrer cette hétérogénéité dans l'évaluation de la biomasse, de prendre en compte la complexité du système bocager.

Levin souligne qu'il n'existe pas une seule échelle naturelle à laquelle les phénomènes écologiques devraient être étudiés et généralement, les systèmes écologiques montrent la variabilité caractéristique sur une gamme d'échelles spatiales et temporelles (Levin 1992). La biomasse ligneuse du paysage varie selon l'échelle de temps et d'espace à laquelle on l'étudie (Coutel 1991; Luan, Muetzelfeldt et al. 1996). Pour nous, l'accumulation de la biomasse est un phénomène qui se déroule dans le système complexe du paysage aux différentes échelles. La théorie de la hiérarchie, peut nous aider à simplifier ce système. De nombreux auteurs ont souligné la pertinence de la théorie de la hiérarchie pour comprendre et étudier les systèmes complexes (Allen and Starr 1982; O'Neill, DeAngelis et al. 1986; Luan, Muetzelfeldt et al. 1996).

La théorie de la hiérarchie est largement utilisée dans le domaine de l'évaluation de la biomasse ligneuse en forêt afin de résoudre le problème de la complexité du système (Luan, Muetzelfeldt et al. 1996; Ung, Raulier et al. 2001; Bragg, Roberts et al. 2004).

Luan (1994) a étudié l'écosystème forestier en se basant sur la théorie de la hiérarchie. Il a défini quatre niveaux d'organisation, dans lesquels, les dynamiques des écosystèmes forestiers (ici la production de la biomasse forestière) sont représentées.

Les quatre niveaux d'observations sont les quatre niveaux d'organisation du système (forêt, arbre, feuille et stomate) qui fonctionnent aux quatre échelles de temps, de 1 seconde (niveau quatre) au cycle de la vie de l'arbre (i.e 200 ans).

Ung en 2001 a évalué la biomasse ligneuse d'un massif forestier. Il considère trois niveaux : l'arbre, le peuplement et la région forestière (Ung, Raulier et al. 2001). Pour chaque niveau, il évalue la biomasse en établissant des équations allométriques. Coutel a utilisé la même démarche pour évaluer la biomasse d'un paysage bocager à têtard de charme, en Avesnois. Il a utilisé la théorie d'allométrie pour établir l'équation de régression aux niveaux des branches. Au niveau de l'arbre, il a étudié l'organisation des branches sur l'arbre et la variation de la biomasse en fonction de facteurs écologiques. Au niveau de la haie, il a estimé la production de la biomasse sur un linéaire de 1000m en fonction de l'espacement entre les arbres. Il a estimé que la production maximale de biomasse serait atteinte avec un espacement compris entre 3 à 6 mètres. Dans le dernier niveau (bocage), il a montré qu'à cause de l'hétérogénéité du maillage bocager et de l'hétérogénéité de la composition des haies, l'évaluation de la biomasse des haies est difficile à faire.

Nous avons choisi de travailler aux niveaux du brin, de l'arbre, de la haie et du maillage bocager. Au niveau de l'arbre, la biomasse est accumulée dans les feuilles, les branches, le tronc et les parties souterraines (racines). Dans le cas de l'évaluation de la biomasse ligneuse pour la production de bois énergie, les feuilles et les racines, ne sont pas considérées.

L'écosystème change au cours du temps, et la biomasse se transforme également (Hopkins et Rambour 2003). Au niveau des branches d'un arbre d'émonde, la biomasse évolue au cours de la rotation (9-12 ans). Elle augmente très peu la première année après l'émondage et arrive au maximum, l'année de la coupe. Au niveau de l'arbre, la biomasse s'accumule aussi dans le tronc. L'accroissement annuel est réduit juste après l'émondage (Guibal and Bernard 2002).

Les niveaux considérés ont les caractéristiques suivantes:

- ✓ Des résultats d'un niveau inférieur peuvent être utilisés comme les données à un niveau supérieur (Luan, 1994).
- ✓ Les niveaux les plus élevés, ont les dynamiques plus lentes
- ✓ On peut considérer que les niveaux sont autonomes

Au niveau du brin, nous mesurons la biomasse. La théorie d'allométrie sera utilisée pour établir une équation de régression entre la biomasse des branches et un ou deux paramètres explicatifs (Niklas 1993; Rondeux 1999; Ung, Raulier et al. 2001; Niklas 2004). Au niveau de l'arbre nous étudions la biomasse du tronc et celle de l'ensemble des branches. A ce niveau le lien entre la production du bois (émonde) des arbres, les facteurs écologiques du milieu (le sol, effet du voisinage des arbres) et les facteurs liés aux arbres (la hauteur et le diamètre à 1m30) sont considérés. Le résultat du niveau brin peut nous aider pour estimer la biomasse totale des branches. Le volume des troncs sera déterminé sur pied par la méthode de cubage des billons successifs (Rondeux 1999).

Au niveau de la haie, on cumule la production totale des arbres (branches) et les volumes des troncs. A ce niveau la variabilité de la biomasse dépend de la compétition entre les arbres, de la structure des haies, du type de sol et de l'occupation des parcelles adjacentes.

Au niveau du paysage, l'évaluation de la biomasse prend en compte l'hétérogénéité du bocage et la durée de la période entre deux émondages.

Le tableau suivant présente ces niveaux avec les questions qui seront posées à chaque niveau.

Niveau d'étude	Objectif	Variable à expliquer	Variabes explicatives
Branches	Etablir un tarif de biomasse	Biomasse de branches	-Circonférence et longueur de branches -Age de branches
Arbre	Comprendre le rôle des facteurs écologiques et du milieu sur la biomasse d'un chêne	Biomasse d'un arbre	_Nombre e diamètre de branches - Hauteur de l'arbre -Diamètre de tronc -l'intervalle des arbres
Haie	Comprendre la variabilité de la biomasse des haies en fonction des facteurs environnementaux et la structure de haie	La biomasse d'une haie	Nombre de branches Intervalle Facteurs environ.
Bocage	Estimer la biomasse du paysage	La biomasse d'un bocage	Nb d'arbres par essence - la fréquence d'émondage

Partie 1

Aspect écologique : Evaluation de la biomasse ligneuse du paysage

Chapitre I

Etude de la production en biomasse des branches des arbres émondés

1. Introduction

Nous allons étudier les branches de chêne émonde et les brins de cépée de châtaignier. Considérant les deux fonctions des branches (elle portent l'ensemble des appareils foliaires et elle stockent une partie de la biomasse), nous abordons la biomasse de ces branches dans cette partie de l'étude.

Ici nous cherchons à répondre aux questions suivantes :

- Quelle est la biomasse d'une branche ?
- Quelles sont les variables explicatives de cette biomasse ?
- Comment peut-on estimer cette biomasse ?

Evaluation de la biomasse au niveau de brin :

La mesure des arbres est fondamentale pour les activités de foresterie et la science de la forêt dans le monde. Plusieurs travaux sont nécessaires pour évaluer la biomasse ligneuse aux différentes échelles, d'une échelle fine (l'arbre) à une échelle large (la forêt).

Traditionnellement la détermination de la quantité de bois se mesure en volume et les mesures de stock de bois des arbres et peuplements forestiers sont exprimées en volume, mais il y a parfois intérêt à mesurer la biomasse en poids (West 2004) :

1. Pour quelques débouchés, comme le bois énergie ou le bois pour la pâte à papier, la mise en vente est généralement en poids et non en volume.
2. Les plantations à rotation rapide ou TTRC (Taillis à Très Courtes Rotations) qui sont développées pour le bois énergie sont mise en vente en poids.
3. Dans la recherche, il y a beaucoup d'intérêt à mesurer le stock du bois et la biomasse en poids, par exemple dans le domaine des suivis de gaz à effet de serre par le dioxyde de carbone, ou la prédiction de la croissance forestière et de la photosynthèse.

D'autre part, la mesure de la biomasse demande un travail de terrain relativement important et un grand nombre de manipulations sur le terrain. Dans ce contexte, plusieurs méthodes de travail ont été expérimentées. De manière générale, les diverses opérations peuvent être envisagées selon la séquence suivante (Rondeux 1999) :

- Sélectionner l'arbre
- Prendre diverses mesures de l'arbre sur pied (diamètre à 1.3m, l'épaisseur de l'écorce, diamètre du houppier)
- Procéder à son abattage et débitage par catégorie de diamètre
- Séparer les diverses composantes (tronc, branches, ramilles, feuilles, etc)
- Récolter les données relatives aux dimensions (longueurs, diamètre, etc)
- Peser les composantes vertes (avant déshydratation à l'étuve)
- Prendre des échantillons (disques pour le bois de tige et de branches)
- Peser ces échantillons verts
- Sécher ces échantillons à l'étuve et les peser

Etude de la biomasse au niveau du brin :

La mesure de la biomasse de toutes les branches est un travail long et fastidieux, donc il faut mettre au point des méthodes assez simples pour réduire le travail.

Pour cela, il y a deux méthodes générales :

- a. Compter toutes les branches d'un arbre abattu, sélectionner des échantillons parmi elles, déterminer la biomasse sèche des branches échantillonnées et la généraliser pour tout l'arbre (Valentine et al., 1984, (Gregoire, Valentine et al. 1995).
- b. La deuxième solution est basée sur l'exigence structurelle de branches. Cette théorie dit que les branches doivent être suffisamment grandes pour supporter le poids des feuilles et des petites branches d'une certaine distance à partir de la tige et résister aux forces qui leur sont imposées par le vent. Pour cette raison, il y a généralement une relation étroite entre le poids des branches et le poids du feuillage, et des caractéristiques faciles à mesurer, telles que le diamètre à la base et la longueur.

En considérant cette théorie, il faudrait mesurer le diamètre à la base et la longueur de toutes les branches. Comme la méthode précédente, il faut échantillonner certaines branches pour établir une relation de régression entre la biomasse sèche des branches et le diamètre et la longueur des branches.

L'évaluation de la biomasse des arbres et des forêts est nécessaire pour estimer la quantité d'énergie première de la biomasse comme un successeur pour l'énergie fossile. D'autre part, des méthodes rapides et facile à utiliser est nécessaire. Pour cela, il faut utiliser des variables faciles à mesurer sur le terrain.

L'allométrie, l'étude de la taille et ses conséquences biologiques (Niklas 2004), est utilisée par les biologistes pour relier deux (ou plus) caractéristiques structurelles d'un organisme avec une autre. Dans les sciences de la forêt, les équations allométriques, sont un des outils les plus pratiques et les plus utilisés, développées sur les informations disponibles et les variables faciles à mesurer sont la hauteur de l'arbre, son diamètre ou le volume d'houpier (Pastor, Aber et al. 1984; Zianis and Radoglou 2006). L'objectif est de développer une équation basée sur l'échantillonnage destructif de plusieurs individus représentatifs de l'ensemble des arbres et ensuite de l'appliquer à aux autres arbres (Zianis and Radoglou 2006) afin d'estimer la biomasse d'une zone d'étude.

Dans cette étude on ne s'intéresse pas à toute la biomasse d'un arbre (feuillage, branches, tige et racines), mais seulement à la partie qui est utilisée comme bois – énergie à savoir principalement les branches et parfois les troncs.

Les arbres d'émondés ne ressemblent pas aux arbres des forêts, les troncs de ces arbres sont noueux « défigurés », suite aux émondages successifs ; donc les formules de foresterie pour la biomasse du tronc ne peuvent pas bien estimer leurs biomasses. D'autre part, les branches de ce type d'arbre, sont l'objet d'un traitement plus ou moins régulier, et constituent la plus grande partie de la biomasse utilisée en bois énergie.

2. Matériel et méthode

2.1 Echantillonnage

Nous avons utilisé la méthode classique de mesure de la biomasse ; on a mesuré le poids frais de 156 branches de chêne et 174 brins de châtaignier sur le terrain. Toutes les mesures ont été effectuées sur place de Décembre 2006 à Avril 2007.

Les brins/branches ont été choisis de manière à améliorer la qualité des régressions en distribuant les échantillonnages sur l'ensemble des classes de circonférence rencontrées.

Pour cela, après avoir compté et mesuré la circonférence des branches de 10 chênes, on a tracé l'histogramme et calculé la fréquence de leurs branches dans chaque classe de 5 cm (figure 1) de circonférence. A l'aide de l'histogramme et du calcul de la fréquence des branches dans les classes de circonférence, nous avons effectué notre échantillonnage sur le terrain.

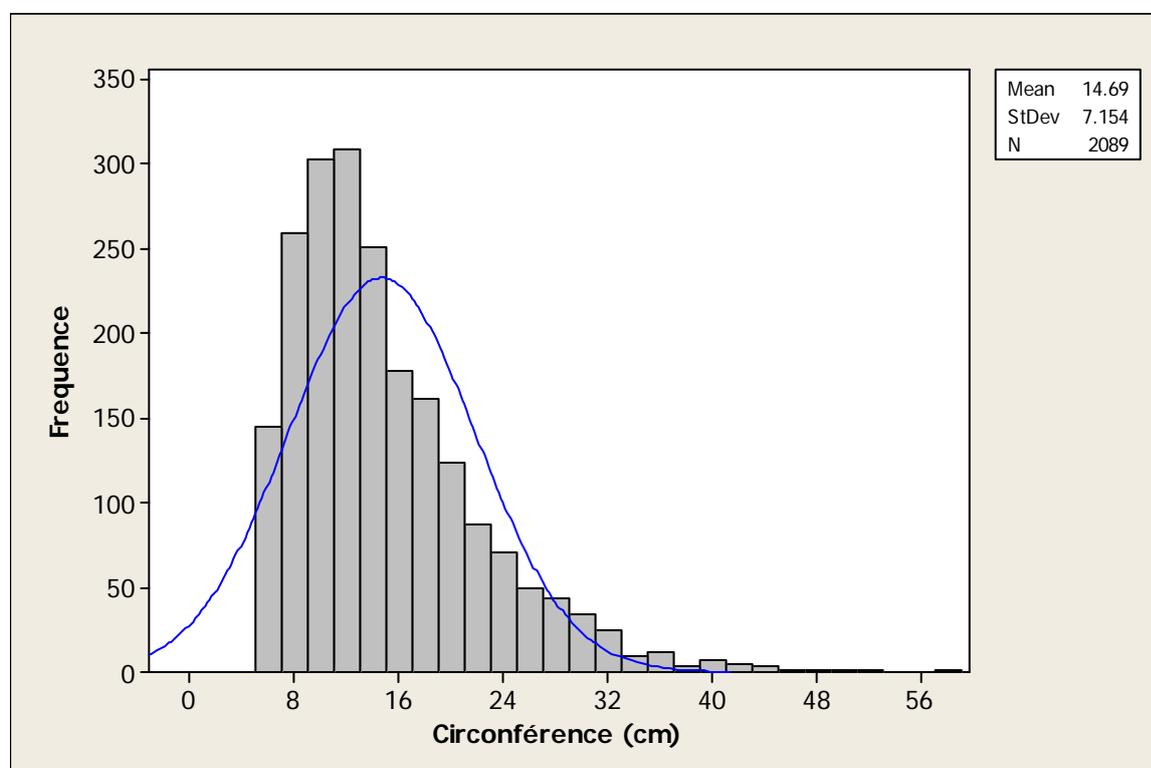


Figure 1: Histogramme des circonférences de branches de chêne

Ces branches sont prises dans chantiers d'émondages après découpe par les agriculteurs ; d'autre part, au moment de compter le nombre des branches sur chaque arbre et de mesurer toutes les circonférence de ces branches, nous avons choisi et coupé un brin sur chaque arbre, à fin de mieux adaptation les résultats de notre équation et tarif aux arbres étudiés.

2.2 Mesures dendrométriques :

2.2.1 La circonférence

La mesure de la circonférence des branches a été préférée à la mesure du diamètre en raison de la grande dissymétrie des branches, la section de coupe n'est pas un cercle parfait et il était difficile d'avoir une mesure de diamètre représentative.

Les mesures sont effectuées à l'aide d'un ruban à une précision de +/- 0.5 cm.

2.2.2 La longueur

Pour mesurer la longueur des branches, un décamètre avec la précision de +/- 1 cm est utilisé.

2.2.3 L'âge des branches

L'âge des branches est déterminé en comptant le nombre de cernes de croissance.

2.2.4 La biomasse des branches (poids)

Pour mesurer la biomasse (le poids), un peson mobile avec un degré de précision de +/- 50 gr a été utilisé

Pour obtenir le poids sec des branches, une rondelle de 2 cm d'épaisseur, prise à une hauteur de 1m30 a été étuvée à 105° C jusqu'à arriver à un poids constant. Cette méthode produit une erreur inférieure à 2% sur le poids sec déterminé en tenant compte des différences d'humidité tout au long du brin (Auclair and Metayer 1980).

2.2.5 Calcul des poids secs et détermination du taux de l'humidité :

Le taux d'humidité des branches/brins a été déterminé après le séchage des échantillons, par l'expression :

$$\text{Taux d'humidité (\%)} = ((P_f - P_s)/P_s) * 100$$

Où :

P_f : poids frais de l'échantillon ;

P_s : poids sec du même échantillon.

Le poids sec (la biomasse) de chaque branche/brin a été déterminé de la manière suivante :

$$PS = PF (1 - Th/100)$$

Où:

PS : Poids Sec de la branche

PF : Poids Frais de la branche

Th : le Taux d'humidité de l'échantillon de la branche

2.3 Modèle Allométrique : La méthode de prédire la biomasse

Dans la littérature, des équations allométriques sont utilisées pour relier la biomasse avec une ou deux (ou plus) variables indépendantes. La plupart des équations allométriques, utilisent le diamètre à hauteur de 1m30 (DBH), comme la seule variable indépendante, et développent une relation allométrique entre la DBH et la biomasse (Pastor, Aber et al. 1984; Zianis and Mencuccini 2004; Wang 2006). Ketterings propose d'inclure la hauteur des arbres (H) comme le deuxième facteur prédictif et de développer une équation combinant DBH et H pour améliorer la précision des estimations de la biomasse (Ketterings, Coe et al. 2001).

La formule mathématique la plus commune pour estimer la biomasse est de forme $M=aD^b$ (Zianis and Mencuccini 2004), où M est la biomasse aérienne totale en poids sec, D, la diamètre à hauteur de 1m30 (hauteur de poitrine) et a et b, les coefficients. La forme logarithmique de cette formule est $\ln(M)=c + b*\ln(D)$ et $a=e^c$ (Niklas 1993).

Dans notre cas, on a mesuré trois variables pour expliquer la biomasse des branches, la circonférence, la longueur et l'âge des branches. Donc nous allons tester la validité du choix des variables explicatives, puis chercher une courbe de régression afin de pouvoir généraliser le résultat de ces données à sur la population étudiée.

2.4 Méthode d'analyse

Pour étudier les relations entre différentes variables explicatives et la biomasse, on a utilisé l'analyse de corrélation de Pearson.

L'analyse de régression pas à pas a été utilisée pour sélectionner la variable qui explique le plus la biomasse dans notre modèle.

L'analyse de régression linéaire simple a été utilisée pour construire le tarif de biomasse.

Afin de pouvoir comparer deux régressions construites pour le chêne et le châtaignier, les tests du parallélisme et de la coïncidence (Décourt, 1971) ont été utilisés.

Toutes ces analyses ont été faites grâce au logiciel Minitab (Minitab 2007).

3. Résultats :

3.1 Séchage des échantillons :

Pour diminuer les erreurs, tous les échantillons ont été préservés dans les sacs plastiques et mesurés le soir même après leur prélèvement au laboratoire. Pendant le séchage à l'étuve à 105°C pour une semaine, leur poids a été mesuré régulièrement toutes les 24 heures jusqu'à ce que leur poids soit stable.

Les résultats de séchage de 156 rondelles de chêne montrent qu'en moyenne, ils perdent 97% de leur humidité dans les premières 24 heures et 99.8% jusqu'au deuxième jour et au troisième jour, tous les échantillons ont perdu 100% de leur humidité (tableau 1, figure 2).

Par contre, les 176 rondelles de châtaignier ont perdu en moyenne 93% de leur humidité dans les premières 24 heures et 99.6% jusqu'au deuxième jour, et au quatrième jour tous les échantillons ont perdu 100% de leur humidité (tableau 1, figure 3).

Essence	Nombre d'échantillon	La moyenne	Ecart type	Variance	Minimum	Maximum
Chêne	156	96.5 %	2.36	5.55	86.0%	99.9%
Châtaignier	176	93.4 %	6.01	36.1	63.6 %	98.2%

Tableau 1: Les résultats de séchage des échantillons de Chêne et Châtaignier dans l'étuve après les premières 24 heures.

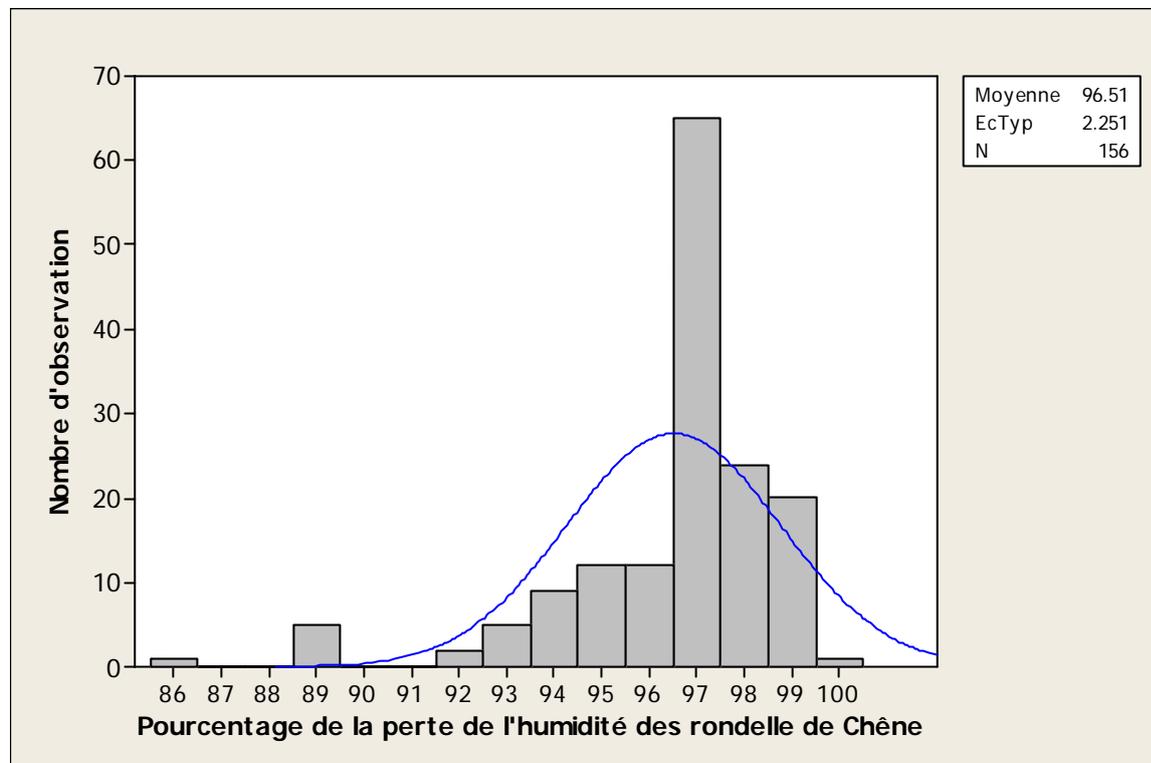


Figure 2: Pourcentage de la perte de l'humidité des rondelles de Chêne après 24 heures d'étuvage à 105° c.

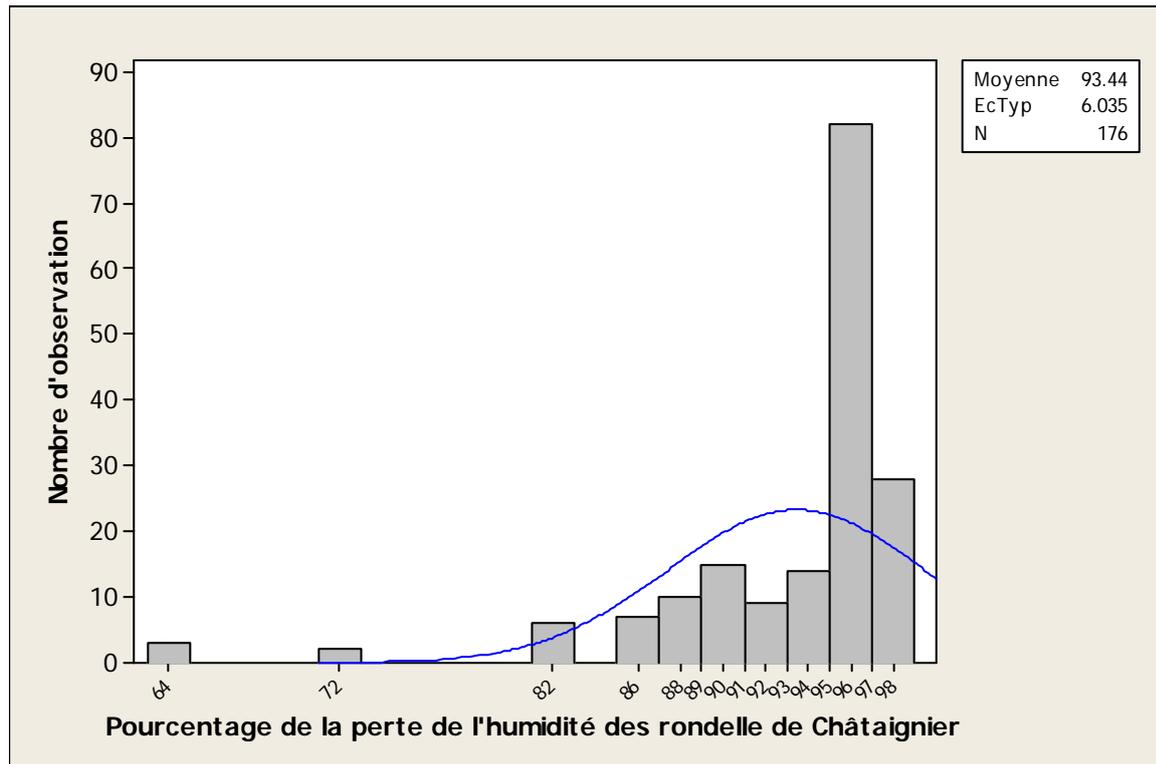


Figure 3: Histogramme de pourcentage de la perte de l'humidité des échantillons de châtaignier dans l'étuve, après les premières 24 heures.

3.2 La construction de courbe de régression :

Nous suivons deux étapes suivantes pour la construction d'une courbe de régression :

- Choisir des variables explicatives de la biomasse.
- Chercher une courbe de régression afin de pouvoir généraliser les données.

3.2.1 Choix des variables explicatives :

Avant tout, nous classerons les variables explicatives les plus corrélées à la biomasse exprimée en poids sec. Nous avons retenu 3 variables explicatives :

- La circonférence du brin à la base
- La longueur du brin
- L'âge de la branche

Pour classer ces variables, on étudie la corrélation entre chaque variable explicative et la biomasse en utilisant le coefficient de la corrélation de Pearson.

3.2.1.1 Chêne :

Les résultats de la corrélation de Pearson montrent que toutes les variables explicatives sont corrélées à la biomasse des branches (poids sec), mais la circonférence et la longueur sont fortement, corrélées à la variable à expliquer avec des coefficients de corrélation respectifs de 0,936 et de 0,884 (tableau 2). Donc, on peut constater que la circonférence peut bien expliquer la biomasse des branches.

	Poids	Circonférence	Longueur	Age
Poids	1			
Circonférence	0.936**	1		
Longueur	0.884**	0.917**	1	
Age	0.466**	0.521**	0.607**	1

** Correlation is significant at the 0.01 level 2-tailed).

Tableau 2 : Les coefficients de corrélation de Pearson des variables explicatives (Circonférence, longueur et age) de la biomasse (poids sec) de chêne.

Pour vérifier notre choix de la circonférence comme variable explicative nous avons fait une régression pas à pas de type ascendant en introduisant une variable dans notre modèle à chaque étape (tableau 3).

	Variable	Valeur de T test	Contribution à R ²	Valeur de P
Pas n° 1	Circonférence	10,97	0,8747	0,0000
Pas n° 2	Longueur	2,88	0,42	0,0222
Pas n° 3	Age	-1,90	0,28	0,0592 (n.s)

Tableau 3 : Régression pas à pas ascendante avec 3 variables explicatives (circonférence, longueur, age).

La circonférence en tant que variable la plus corrélée est la première à être traitée, puis la variable de longueur est ajoutée dans le pas N°2 de calcul et enfin la variable de l'âge des branches est entrée dans le modèle.

Les résultats présentés dans le tableau 3, issus de la régression pas à pas, nous permettent de dire que:

- La circonférence donne, à elle seule, une très forte contribution à la biomasse, en effet la contribution au R² (coefficient de corrélation multiple au carré) est de 0,87. l'équation testée est de forme $Y = aX + b$.
- La deuxième variable ajoutée (la longueur de branche), dont la contribution à R² est de 0,42, amène une contribution 2 fois moins importante que la première. L'équation $Y_2 = aX + cZ + b$, l'introduction de cZ dans l'équation n'apporte pas grande chose dans l'ajustement des valeurs.
- La troisième variable (l'âge de branche) rajoutée aux 2 variables précédentes ne modifie plus, significativement, la contribution à R² et elle est au seuil de la signification.

Les mathématiciens s'accordent à ne retenir dans ce cas que la première variable (Hodges, Krech et al. 1975; Dodge and Rousson 2004).

Analyse du test de student :

Ce test confirme notre décision de ne retenir qu'une variable, la circonférence. En effet quand nous ajoutons une deuxième variable (ici la longueur), nous obtenons une équation du type $Y_2 = aX + cZ + B$. Dans ce cas, la valeur du T de Student de la variable de longueur est de 2,88, celle de la variable de circonférence est de 10,97. Ce qui justifie une importance inférieure du coefficient c de l'équation mentionnée Y_2 . Nous pouvons rejeter l'équation Y_2 , et garder une équation du type

$$Y = aX + b$$

3.2.1.2 Châtaignier :

On a utilisé la même démarche pour étudier les relations entre les variables explicatives (la circonférence, la longueur et l'âge) et la biomasse des brins de châtaignier.

Les résultats des tests de corrélation de Pearson présentés dans le tableau ci-dessous, montrent clairement que la biomasse est plus corrélée avec la circonférence qu'avec les autres variables (tableau N° 4).

	Poids	Circonférence	Longueur	Age
Poids	1			
Circonférence	0.944**	1		
Longueur	0.375**	0.415**	1	
Age	0.490**	0.571**	0.302**	1

** Correlation is significant at the 0.01 level 2-tailed).

Tableau 4 : Les coefficients de corrélation de Pearson des variables explicatives (Circonférence, longueur et age) avec la variable à expliquer, la biomasse (poids sec) de châtaignier.

Ensuite, pour justifier notre choix de variable explicative, une analyse de régression pas à pas a été utilisée.

Les résultats de cette analyse sont présentés dans le tableau ci-dessous. Dans ce modèle, on a d'abord introduit la circonférence, puis l'âge et enfin la longueur selon leurs coefficients de corrélations (tableau N° 4).

Les résultats présentés dans le tableau 5, issus de la régression pas à pas, nous permettent de dire que:

- La circonférence donne, à elle seule, une forte contribution à la biomasse, en effet contribution à R^2 (coefficient de corrélation multiple au carré) est de 0,89.
- La deuxième variable ajoutée (l'âge de brin), dont la contribution à R^2 est de 0,0036, amène une contribution 2,5 fois moins importante que la première.
- La troisième variable (la longueur de brin) n'est pas significative pour ajouter aux 2 variables précédentes dans le modèle.

	Variable	Valeur de T test	Contribution à R^2	Valeur de P
Pas n° 1	Circonférence	31,13	0,8913	0,0000
Pas n° 2	Age	-2,35	0,3654	0,0199
Pas n° 3	Longueur	-0,52	0,4223	0,6015 (n.s)

Tableau 5 : Résultats de régression pas à pas ascendante avec 3 variables explicatives (circonférence, longueur, age) pour le châtaignier.

En appliquant le test de Student, nous pouvons confirmer notre décision de ne choisir qu'une variable. La prise en compte de la deuxième variable (l'âge) dans notre modèle, change notre équation de type $Y = aX + b$ à $Y_2 = aX + cZ + b$. Dans ce modèle, la valeur du T de Student de la variable l'âge est de 2,35, tandis que celle de la variable circonférence est de 31,13, ce qui justifie la nullité du coefficient b de l'équation Y_2 (Tableau N° 5). Donc, la deuxième équation est rejetée.

Les distributions de la biomasse des branches en fonction de la circonférence, de la longueur et de l'âge des brins qui sont présentées dans les graphes suivantes, montrent que la

relation biomasse-circonférence (figure 4) est plus forte que la relation biomasse-longueur (figure 5) ou celle de biomasse-âge (figure 6).

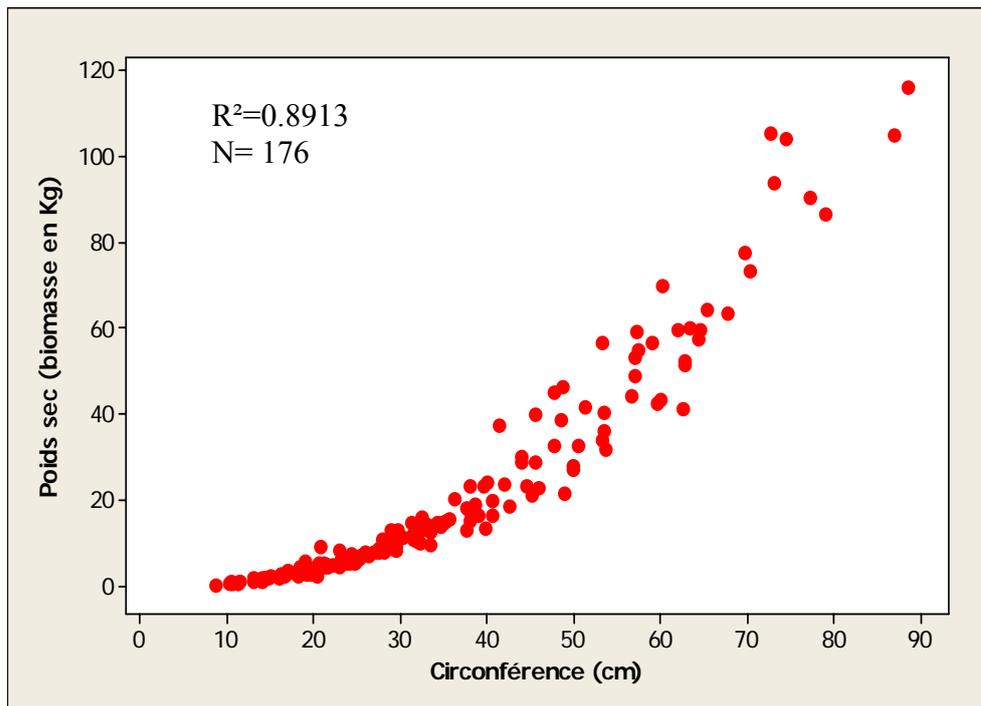


Figure 4 : Le nuage de points de la biomasse des brins de châtaignier en fonction de leur circonférence à la base.

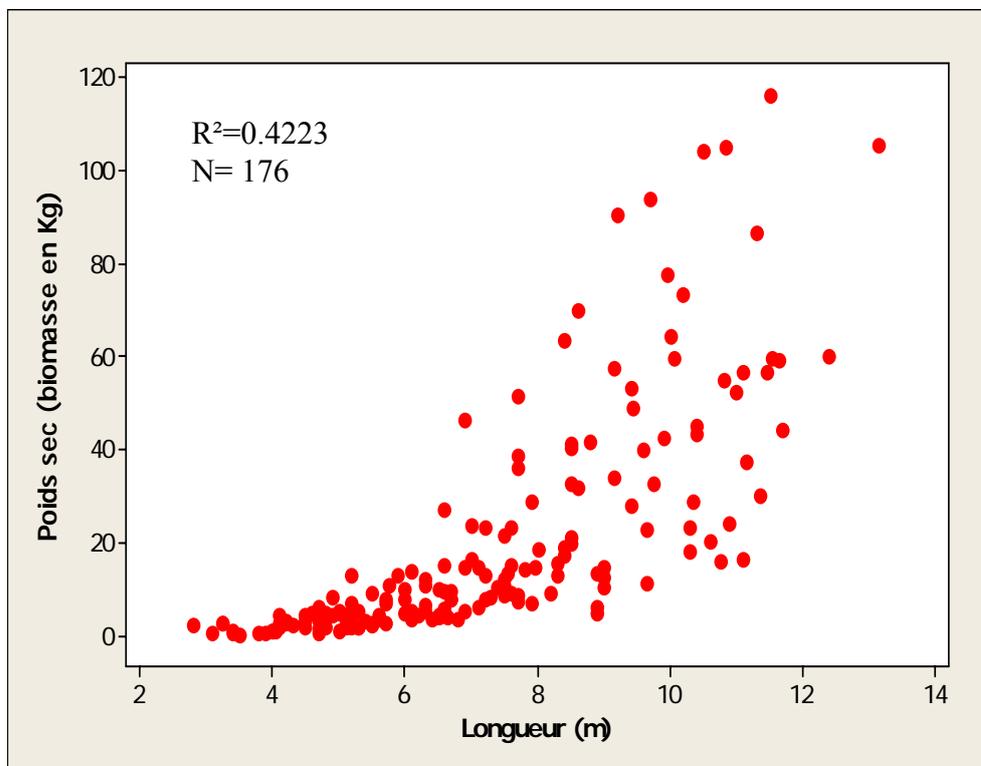


Figure 5 : Le nuage de points de la biomasse des brins de châtaignier en fonction de leur longueur.

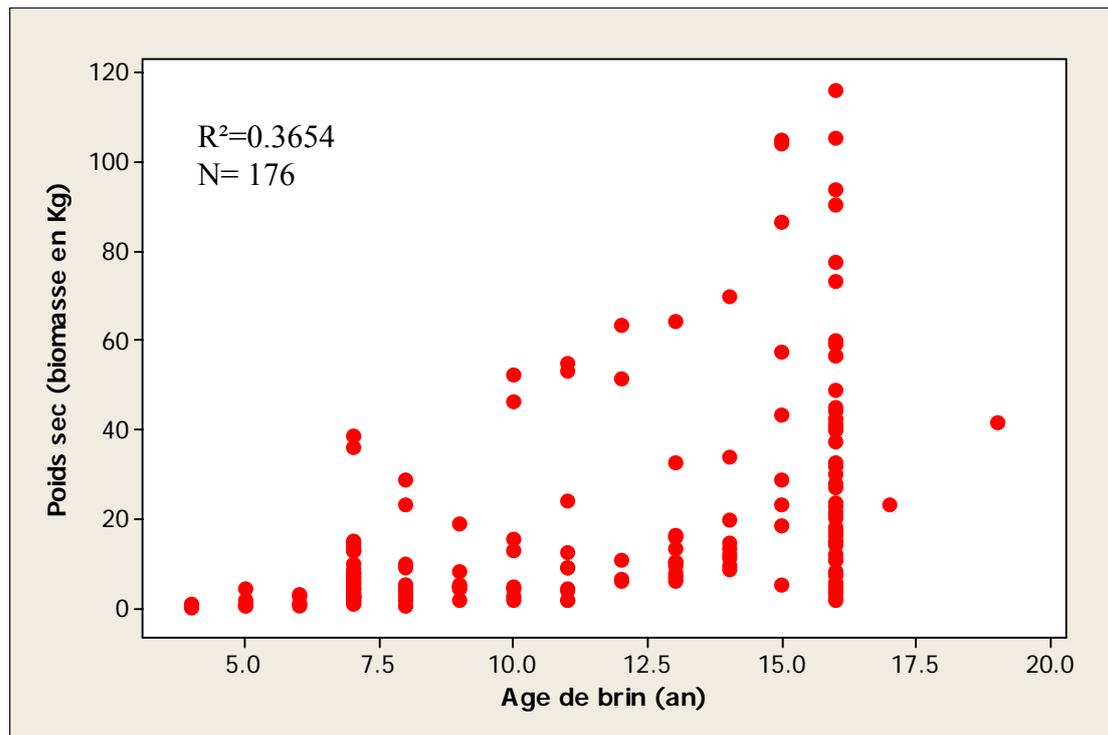


Figure 6 : Le nuage de points de la biomasse des brins de châtaignier en fonction de leur âge.

Cette partie nous permet de prendre la circonférence comme facteur explicatif pour déterminer la biomasse. Nous avons vu que la circonférence a une corrélation très forte avec la biomasse des branches, mais l'ajout d'un autre facteur n'augmente pas le degré de la précision de notre équation, même si ce facteur (la longueur ou l'âge) est également corrélé avec la biomasse des branches. Cela ne veut pas dire que la corrélation de la longueur d'une branche de chêne (ou de l'âge d'un brin de châtaignier) est mauvaise. Nous avons vu que la corrélation de la longueur et de la biomasse était bonne, mais que le fait de rajouter la variable de la longueur, quand nous avons déjà introduit la variable circonférence, n'ajoute pas une grande précision pour expliquer la biomasse.

D'autre part, nous voulons évaluer la biomasse des branches sur les arbres et non pas des branches à terre, il faut donc trouver une équation avec des variables faciles à mesurer sur les arbres.

3.2.2 Recherche d'une équation de régression

Nous allons chercher l'équation de régression la mieux adaptée aux valeurs obtenues. Pour ce faire nous testons les différents modèles d'équation de régression simple, en analysant les variances résiduelles obtenues pour chacun de ces modèles.

3 types d'équations sont testés :

- Equation linéaire $Y = aX + b$
- Equation logarithmique de formule de $M = aD^b$ $\log(Y) = b_0 + b_1 \ln(x_1)$
- Equation quadratique $Y = c_0 + C_1X + C_2X^2$

Après avoir analysé les données de chêne et de châtaignier avec les trois méthodes ci-dessus, nous avons obtenu 4 équations allométriques pour chacun de ces deux espèces.

En comparant des coefficients de détermination (values R^2), l'équation linéaire est plus faible pour deux essences et les équations logarithmiques sont les plus fiables.

Par contre, il n'y a pas de grande différence entre l'équation logarithmique et l'équation quadratique de type de $Y = a + bC^2$, donc, on choisi ce type d'équation pour les deux essences (tableau 5) :

Chêne : Poids Sec = $-1.71 + 0.0175 C^2$.

Châtaignier : Poids Sec = $-2.6 + 0.016 C^2$.

Espèce	Equation	constant	Coefficient 1	Coefficient 2	Equation	R^2	T var. 1	T var. 2
Chêne	1	-10.9	0.919	---	PS= - 10,9 + 0,919 C	0.87	32.9	-----
Chêne	2	-5.82	2.45	----	Log(PS)= -2.53+ 2,45 Log(C)	0.965	65.1	-----
Chêne	3	1.24	-2.27	0.022	PS=1,24 - 2,27 C + 0,022C ²	0.957	-4.1	18.6
Chêne	4	-1.71	0.018	-----	PS = - 1,71 + 0,0175 C ²	0.962	58.89	-----
Châtaignier	1	-23.6	1.293	-----	PS= -23,67 + 1,293 C	0.891	37.56	-----
Châtaignier	2	-5.81	2.39	-----	Log(PS)= -2.59+ 2,39 Log(C)	0.977	84.6	-----
Châtaignier	3	0.32	-1.17	0.017	PS= 0,32 -1,17C + 0,017C ²	0.955	-1.8	15.9
Châtaignier	4	-2.6	0.016	-----	PS = - 2,6 + 0,016 C ²	0.956	60.6	----

Tableau 6 : résultats des différents types d'équations allométriques pour les deux essences étudiées.

3.3 La construction du tarif de biomasse:

Le tarif de biomasse est un tableau de correspondance entre la biomasse (en volume ou poids) et un ou deux facteurs explicatifs, comme la circonférence ou la longueur. Dans la plupart des cas, le facteur associé est la circonférence.

Afin d'établir ce tarif pour chaque espèce, il faut d'abord, avoir son équation. A l'aide de nos deux équations, nous allons établir ces tarifs (tableau 7).

Chêne			Châtaignier		
N°	Circonférence (cm)	Biomasse (kg)	N°	Circonférence (cm)	Biomasse (kg)
1	11	0,41	1	15	1,0
2	12	0,81	2	16	1,5
3	13	1,25	3	17	2,0
4	14	1,72	4	18	2,6
5	15	2,23	5	19	3,2
6	16	2,77	6	20	3,8
7	17	3,35	7	21	4,5
8	18	3,96	8	22	5,1
9	19	4,61	9	23	5,9
10	20	5,29	10	24	6,6
11	21	6,01	11	25	7,4
12	22	6,76	12	26	8,2
13	23	7,55	13	27	9,1
14	24	8,37	14	28	9,9
15	25	9,23	15	29	10,9
16	26	10,12	16	30	11,8
17	27	11,05	17	35	17,0
18	28	12,01	18	40	23,0
19	29	13,01	19	45	29,8
20	30	14,04	20	50	37,4
21	35	19,73	21	55	45,8
22	40	26,29	22	60	55,0

Tableau 7 : Le tarif de biomasse préparé pour Chêne (à gauche, circonférence considérée >10 cm) et Châtaignier (à droite, circonférence considérée >14 cm).

3.4 La question de biomasse des branches à faible diamètre :

Une question se pose pour l'estimation de biomasse des petites branches (avec un circonférence moins de 10 cm pour le chêne et 15 cm pour le châtaignier). En appliquant la courbe de régression pour ces branches, la biomasse estimée est dans les parties négatives de la courbe, ici pour le chêne à partir de circonférence de moins de 10 cm (Figure N° 7).

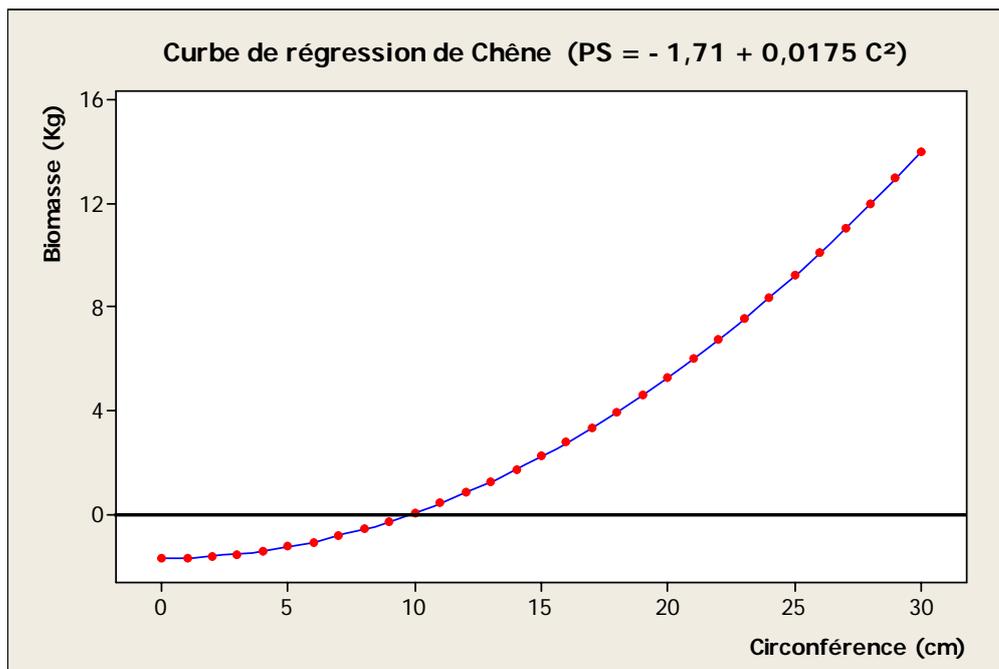


Figure N° 7 : Graphique représentant de biomasse en fonction de circonférence pour les petites branches.

Pour résoudre ce problème et calculer la biomasse de ces branches, on peut envisager trois solutions :

- Donner aux classes de faibles circonférences des poids mesurés (Burel et Baudry, 1984) ou connaître les valeurs de biomasse des petites branches en mesurant directement sur le terrain (Auclair et Maerten, 1986).
- Etablir une autre courbe de régression à forme parabolique (en C^4) pour les petites circonférence (Auclair et Maerten, 1986).
- La solution la plus simple est de négliger les poids (les biomasses) des petites branches (Auclair et Maerten, 1986, Burel et Baudry, 1984).

On a évalué l'importance des petites branches ayant une circonférence moins de 10cm. Sur l'ensemble des branches de 183 arbres de chêne mesuré, 13,8% des branches ont une circonférence moins de 10 cm. Ensuite pour connaître l'importance de la biomasse de ces branches, on a fait une estimation en classifiant ces branches dans trois classes de circonférences (4-6 cm, 6-8 cm et 8-10 cm) à partir de mesures de biomasse réalisées pour chaque classe.

Le résultat nous a montré que, en moyenne, la biomasse des branches ayant une circonférence inférieure à 10 cm représente 1,4 % de la biomasse des branches des chênes étudiés.

Auclair et Maerten (1986) ont estimé ce taux pour le taillis de chêne à 0,08% et Burel et Baudry (1984) ont calculé ce taux pour le taillis de chêne en Bas-Normandi (Marchesieux) 0,1%.

D'après ces résultats, il nous semble que la troisième solution est la plus simple.

4. Discussion:

Les résultats obtenus montrent qu'il est possible d'appliquer une régression entre la biomasse des branches de chêne et de châtaignier (en poids sec) et leur taille (circonférence et longueur).

Notre régression est établie pour les espèces des haies et dont la croissance diffère significativement de celle des arbres en peuplement forestier. Contrairement aux arbres en peuplement, les arbres des haies, n'ont pas une forme régulière, à cause de l'émondage et ils possèdent effectivement, plus de branches; la croissance des arbres dans les haies est influencée par un environnement modifié par les activités agricoles.

4.1 Comparaison des deux régressions de chêne et de châtaignier :

Les équations de régression ont été comparées en utilisant un test statistique mis au point par Kozak (Kozak 1970). Decourt a bien détaillé ce test (Decourt 1971). Il s'agit de comparer, en faisant une analyse de variance, la somme des carrés des écarts résiduels en considérant 2 courbes séparées pour deux espèces, puis en ne prenant qu'une courbe.

4.1.1 Test de Parallélisme

Dans un premier temps, on teste le parallélisme, c'est à dire l'égalité des coefficients de l'équation de la forme $ax + b$. Le test de la coïncidence cherche à confirmer l'égalité des coefficients b .

Origine de la variation	Dl	Somme de carrés	Carré moyen	F
Erreur résiduelle quand on ajuste 2 équations séparées	326	4470,70		
Erreur résiduelle quand on ajuste 2 équations « parallèles »	327	5872,47	17,06	
Différence	1	301,71	301,77	16,8

La valeur calculée de F (16,8) est supérieure à la valeur critique de F (3,8699), donc on peut dire que ces deux courbes de régression ne sont pas parallèles.

4.1.2 Test de Coïncidence

Dans la deuxième étape, on examine la coïncidence des deux courbes (figure 8).

Origine de la variation	Dl	Somme de carrés	Carré moyen	F
Erreur résiduelle quand on ajuste 2 équations parallèles	327	5872,47		
Erreur résiduelle quand on ajuste une seule équation	328	6186,69	17,96	
Différence	1	314,22	314,22	17,49

Les résultats nous ont montré que ces deux courbes ne sont pas confondues (la valeur estimée de F , 17,49, est supérieur à la valeur critique de F , ce qui est 3,869). Donc, on peut estimer que ces deux équations ne sont pas les mêmes, Pour estimer le poids sec de ces deux essences, il faut donc conserver les deux équations.

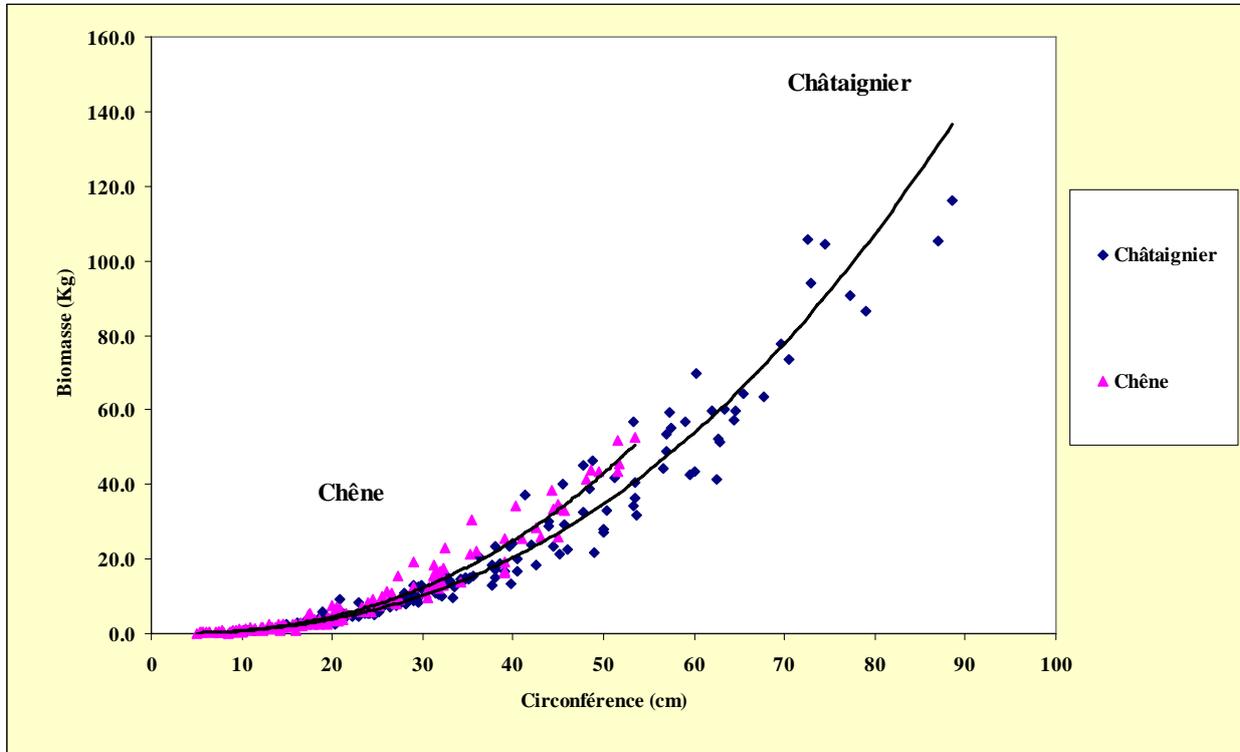


Figure 8 : Les courbes de régression de chêne et de châtaignier.

4.2 Domaine géographique de la validité des régressions :

Nous avons établi nos courbes de régression à partir des mesures effectuées sur quelques communes dans le département d'Ille-et-Vilaine. Les mesures sur les branches de chênes émondés ont été effectuées dans les communes de Vieux-viel et de Pleine-Fougères. Mais l'équation du châtaignier a été déterminée à partir des mesures effectuées sur quelques haies réparties dans une région plus vaste (les communes de Pleine-Fougères, St Germain en Coglès, Aubigné et Louvigné du désert). L'utilisation de ces équations dans une région plus vaste est mise en question. Est-ce qu'on peut les généraliser à l'ensemble du département ou de la région de Bretagne ?

Crow mentionne qu'il n'y a pas de différence significative entre les régressions établies pour l'érable rouge (*Acer rubrum*) quels que soient l'âge des arbres et leur localisation. Il propose un seul modèle d'équation pour estimer la biomasse d'une région (Crow 1983). Tritton and Hornbeck (1982) ont défini des équations développées à différents endroits dans le nord-est des Etats-Unis et ils ont constaté que dans la plupart des cas, des régressions pour une espèce donnent des estimations semblables (Tritton and Hornbeck 1982).

Van et al. ont montré que les équations de régression pour estimer la biomasse aérienne du niaouli (*Melaleuca quinquenervia*) ne diffèrent pas de manière significative entre les sites d'étude. Donc, ils proposent une régression combinée pour estimer la biomasse dans tous les sites (Van, Rayachhertry et al. 2000).

Decourt (1971) a montré que les coefficients de forme de l'épicéa commun (*Picea abies*) sont définis par la même régression dans cinq régions françaises différentes et il a infirmé qu'elles sont semblables à celles définies par les forestiers allemands.

Ces résultats de la littérature, bien qu'obtenus avec d'autres espèces et dans d'autres régions, soulignent la robustesse spatiale de ces équations et nous permettent de donner un caractère régional à nos résultats.

Validité des équations établies:

Pour examiner la validité des tarifs préparés pour les deux essences, il est nécessaire de faire des mesures répétées sur plusieurs arbres ou haies, ce qui n'est pas facile à faire à cause des contraintes techniques (la méthode de mesure, le poids des branches), du manque de temps et de main d'oeuvre. Nous avons cependant essayé de tester la validité du tarif établi pour le chêne sur des chantiers traditionnels d'émondage et celui du châtaignier sur des chantiers de broyage de bois déchiquetés.

4.2.1 Test de validité de l'équation établie pour les branches de chêne:

Afin d'examiner la validité du tarif de chêne, on a cherché des chantiers émondages traditionnels où les agriculteurs font des fagots, pour faciliter la mesure du poids des branches. On a trouvé trois chantiers, 32 arbres de chêne de ce type, dans la commune de Médréac.

Avant la mise en fagot des extrémités des branches, on a mesuré la circonférence de toutes les branches issues de l'émondage. Ensuite, on a mesuré le poids frais de tous les fagots, ainsi que des bûches. Pour mesurer le poids sec, des branches entières ont été prises et séchées à l'étuve jusqu'au point stable.

Les résultats de la biomasse estimée (issue de la mesure des circonférence en appliquant le tarif préparé) et de la biomasse mesurée (issue de la mesure du poids des fagots et des bûches) sont présentés pour les trois haies dans le tableau 8 et les détails des mesures sont présentés dans l'annexe 3:

N° de Haie	Nombre de l'arbre	Poids frais des branches	Poids sec mesuré	Poids sec estimé (tarif)	Poids estimé/poids mesuré
Haie 1	13	3706	2149,5	2390,1	1,11
Haie 2	7	1334,7	787,5	872,6	1,108
Haie 3	12	3719	2194	2423,3	1,105

Tableau N° 8 : Résultat du test de tarif de chêne sur 3 haies (dont 32 arbres d'émondés) dans la commune de Médréac.

La comparaison du poids estimé par l'application du tarif avec le poids mesuré sur le terrain nous a montré que le tarif surévalue la biomasse des branches de 10,8% par rapport à la mesure effectuée sur le terrain. Les points ci-dessous nous aident à comprendre cette différence:

- ❑ Le tarif a été testé sur la commune de Médréac, à 60 km du point d'échantillonnage (commune de Pleine-Fougères).
- ❑ La mesure de poids sec n'a pas été faite directement sur le terrain, d'abord on a mesuré le poids frais des branches, ensuite le taux de matière sèche a été calculé au laboratoire. Le poids sec a été calculé à partir de ces chiffres, donc une petite perte de précision des données est envisageable.

Malgré une estimation plus élevée de 10,8% de notre tarif, on peut dire que ce tarif est utilisable pour estimer la biomasse des branches de chêne d'émonde dans cette région avec le degré de précision de 11%.

4.2.2 Test de validité de l'équation établie pour les branches de châtaignier :

On n'a pas réussi de faire les mesures directes et précises pour les brins de châtaignier afin d'examiner la validité de son tarif (comme la méthode utilisée pour le chêne). Mais on a mesuré la production de la biomasse des haies de cépée de châtaignier en mesurant le poids des plaquettes issues de chantiers de déchetage (chapitre 4).

N° de Haie	Commune	Longueur de haies	Age de brins	Nombre de souche	Teneur en Mat. Seche	Poids frais des branches	Poids sec mesuré	Poids sec estimé (tarif)	Poids estimé/poids mesuré
Haie 1	St Germain	105	15	77	59	11797	6960.2	6120	0.88
Haie 2	Pleine-Fougères	221	13	98	54	12114	6541.6	6162	0.94
Haie 3	Montours	148	18	30	53	15461	8194.3	6840	0.83
Haie 4	Louvigné	293	16	129	59	25308	14931.7	11890	0.80
Haie 5	Monforte	97	15	30	59	5812	3400.0	2845	0.84
Haie 6	St Didier	75	16	63	59	7062	4166.6	3124	0.75
Haie 7	St Germain	60	12	50	58	2421	1380.0	1210	0.88
Moyenne									0.85

Tableau N°9 : Résultat de la mesure de la biomasse des brins de châtaignier sur 7 haies pour tester la validité du tarif de châtaignier dans différentes communes en Ille-et-Vilaine.

D'après les résultats présentés dans le tableau 9, la biomasse des brins de châtaignier, estimée par notre tarif est inférieure à la biomasse mesurée directement sur le terrain. Ce taux d'estimation (le taux de poids estimé à poids mesuré) varie entre 0,75 et 0,94, toujours inférieur de 1, c'est à dire que notre tarif estime la biomasse des brins à une valeur plus faible que la biomasse réelle.

En moyenne, sur 7 haies étudiées dans ce tableau, notre tarif a estimé la biomasse des haies avec une précision de – 15%.

En consultant ce tableau et les caractéristiques notées de ces haies, les points suivants peuvent expliquer ces différences :

1. Quand on a des souches de même âge ou des brins de même âge, sans beaucoup de variabilité d'âge entre les souches ou brins, la biomasse estimée par le tarif est proche de la biomasse mesurée. Les haies 2, 7, 1, 3 sont dans cette catégorie. Le taux d'estimation de la biomasse par le tarif pour cette haie est 0,94.
 - La haie numéro 2 est une haie nouvelle âgée de 13 ans, plantée en 1994. tous les brins ont le même âge, et il y a moins de variabilité entre les caractéristiques des brins.
 - La haie numéro 7 est une haie coupée en 1995. Le taux d'estimation de la biomasse par le tarif pour cette haie est 0,88.
 - La haie numéro 1 est une haie jeune, plantée en 1991. Cette coupe a été le premier traitement des jeunes arbres. Le taux d'estimation de la biomasse par le tarif pour cette haie est aussi 0,88.

- La haie numéro 3 est aussi une haie plantée en 1988, donc tous les brins ont 18 ans d'âge. Le taux d'estimation de la biomasse par le tarif pour cette haie est 0,83.
- 2. Dans la haie numéro 4, l'âge global des brins est de 16 ans, mais on a aussi une variabilité de 11 à 16 ans. Par contre, cette haie n'est pas une haie pure de châtaignier. Sur cette haie, on a eu aussi d'autres types de traitement des arbres (ragosse et haut jet).
- 3. La haie numéro 6 constitue des souches des autres essences comme le noisetier et le merisier. Donc, l'estimation de la biomasse par le tarif, inférieure à la mesure réelle (0,75) est acceptable.

4.3 La comparaison avec d'autres études :

Les études similaires sur les branches sont rares et elles ne sont pas comparables du point de vue des essences. Toutes les études effectuées sur le peuplement forestier ont pris la circonférence des brins à 1m30 et rarement à 10 cm du sol pour les taillis de châtaignier. Pour le chêne, cette situation est moins comparable, car ici, on a abordé la biomasse des branches et non pas du tronc. Cependant, quelques études similaires peuvent servir de base de comparaison :

- Burel et Baudry ont étudié la relation entre la biomasse et la circonférence de 7 espèces traitées en cépée (Epine noire, Aubépine, Merisier, Chêne, Frêne, Noisetier, Saule). Parmi elles, le chêne est la seule essence commune entre les deux études, mais ils ont étudié les brins de cépée de chêne. L'équation établie pour les brins de chêne dans cette étude est « $PS = 0,024 C^2 - 1,28$ » (Burel and Baudry 1984).
- Coutel a aussi étudié des arbres de haies issues d'un traitement. Il a essayé d'évaluer la biomasse des brins de charme de têtard. Il propose deux types d'équations, l'une pour les brins de charmes isolés ($Y = 0,019C^2 - 2,1$) et l'autre pour des brins des charmes soumis à une compétition ($Y = 0,019C^2 + 0,84$). Encore une fois, par rapport à notre étude, il n'y a pas de similarité concernant l'espèce ou le type de traitement.

5. Conclusion :

Nous avons bien cerné la biomasse des branches de chêne et des brins de châtaignier, en élaborant un tarif de biomasse. La bonne corrélation biomasse-circonférence des branches peut nous permettre d'estimer la biomasse à partir de la circonférence. Donc, on peut connaître la biomasse, exprimée en poids sec, d'une branche de chêne ou d'un brin de châtaignier à partir des tarifs établis.

Nous ne sommes pas en mesure de donner une réponse sur la biomasse d'un chêne émonde ou d'une cépée de châtaignier. Il nous manque une étude sur la répartition de ces branches et à cette fin, nous allons passer à un autre niveau d'organisation, celui du chêne émonde comprenant les branches portées par le tronc, nous pourrions comprendre la répartition des branches, leur nombre et la biomasse, selon les caractéristiques des arbres et du milieu.

D'autre part, il n'est pas envisageable d'estimer la biomasse des branches des chênes d'un site ou d'une commune, en mesurant le diamètre de toutes les branches. Donc, il faudrait des méthodes plus simples et rapides pour évaluer la production de la biomasse par des chênes émondés. Nous abordons aussi cet aspect dans la partie suivante.

Chapitre II

Evaluation de la biomasse produite par les arbres d'émondes

1. Introduction :

L'objectif de cette partie est de quantifier la biomasse des arbres émondés (quantifier la biomasse du bocage au niveau de l'arbre) et d'étudier les variations de cette biomasse en fonction de facteurs écologiques et environnementaux, afin de fournir des éléments permettant d'estimer la biomasse ligneuse du bocage. Dans la partie précédente, on a établi une courbe de régression entre la biomasse (le poids sec) des branches de chêne et leur circonférence, cependant il est illusoire de vouloir évaluer la biomasse présente sur une commune à partir de la mesure de la circonférence de tous les brins des haies étudiées. Il est donc pertinent de chercher à établir, au niveau supérieur, une relation simple entre la biomasse des chênes et quelques paramètres simples à mesurer.

Traditionnellement, les forestiers mesurent les arbres en volume à l'hectare, mais depuis quelques années des mesures de biomasse des arbres en unité de poids (c'est-à-dire la masse sèche de matière composant l'arbre) sont réalisées, pour plusieurs raisons:

- Le poids est l'unité d'échange pour le marché du bois fragmenté utilisé pour le bois énergie ou l'industrie du papier (West 2003).
- Il y a un intérêt grandissant pour les TCR (Taillis à Courte Rotation) et pour les biocarburants, et le bois produit est estimé et vendu au poids.
- La biomasse en poids sec permet de mieux comprendre le mode de fonctionnement des écosystèmes forestiers et de comparer leur productivité (Rondeaux 1999).

En recherche, les biomasses souterraines (racines, souches) et aériennes (tige, branches, feuilles) sont évaluées pour déterminer la productivité biologique des écosystèmes forestiers (Pardé J. et Bouchon J. 1982 ; Laar A. and Akça A. 2007). Ce type de travaux a été surtout développé depuis les années 60 aux Etats-Unis (Young 1971) en Belgique (Duvigneaud et Kestmont 1977) et au Japon (Pardé 1980).

La biomasse totale des jeunes arbres est mesurée par l'abattage d'arbres entiers et le pesage de l'ensemble de l'arbre. Cette méthode qui a été appliquée par Young (1976), supprime les erreurs d'échantillonnage dans la mesure poids frais de l'arbre entier. Pour les gros arbres, une méthode de mesure de biomasse par échantillonnage a été développée. Après un tri des différentes parties de l'arbre, tronc, branches, rameaux, feuillus et racines, la biomasse est évaluée pour chaque partie à partir de quelques échantillons. Cette méthode est largement utilisée dans les peuplements forestiers (Rondeaux 1999, Laar A. and Akça A. 2007).

Dans notre cas, nous nous sommes intéressés seulement à la biomasse qui est récoltée périodiquement à chaque émondage, c'est-à-dire les branches. D'autres parties comme les feuilles ou les racines ne sont pas considérées dans notre étude, car ils ne sont pas récoltables.

Il y a peu d'études sur l'évaluation de la biomasse ligneuse des arbres émondés. On peut trouver les premières évaluations de la biomasse des arbres des haies dans les études d'Auclair et Maerten (1986), où ils étudient l'extension des résultats de l'inventaire forestier national à une évaluation totale de la biomasse.

Bazin et Chevalier (1985) ont étudié la productivité des arbres émondés (tetârd) en Basse-Normandie. Ils ont utilisé les données du Vade-Mecum du forestier en comptant le nombre des branches d'arbres pour 3 catégories de diamètre (>7cm, <7 cm et < 4,5 cm), et ont ainsi estimé la production de biomasse des branches. La production moyenne est estimée à 0,32 tonnes de matière sèche pendant la période d'émondage (14 ans).

Une étude similaire a été réalisée sur les ragosses autour de Combourg en Bretagne (Hesse, 1997). A l'aide du vademecum forestier classant les branches en 3 catégories de diamètre (>7, 7-4 et <4cm), il a estimé la biomasse des branches des ragosses à 8 kg/an.

Une autre étude intéressante est celle de Coutel (1991). Il a estimé la biomasse des branches des charmes têtards en appliquant un tarif établi à partir de circonférence des branches. Il a construit deux tarifs, l'un pour les arbres isolés et l'autre pour les arbres non isolés.

Dans cette étude pour estimer la biomasse des branches, nous suivons cette même démarche (Laar et Akça, 2007 ; Coutel 1991).

Nous avons ensuite cherché à comprendre la variabilité de la production de biomasse en fonction de la structure de la haie et de la gestion des arbres.

La biomasse est la masse totale de tous les organismes vivants (producteurs, les consommateurs et les décomposeurs) ou d'une série d'organismes particuliers (par exemple les espèces), présente dans un écosystème ou à un niveau trophique donné, elle est généralement exprimée en poids sec (Allaby, 1998).

Pour les arbres la biomasse est déterminée par des successions annuelles d'accroissement en longueur et d'accroissement en diamètre (Gartner, 1995). On peut dire que la croissance d'un arbre (ou un végétal), c'est à dire la modification quantitative des dimensions, est conditionnée de façon simultanée par de nombreux facteurs écologiques. Les conséquences en sont des modifications dans les cycles de développement et dans l'intensité du métabolisme qui se traduisent par des variations de biomasse (Otto, 1998). La croissance d'un arbre et l'augmentation de la biomasse sont le résultat d'interactions entre l'arbre et son milieu.

Les végétaux se développent à l'interface sol-atmosphère, les échanges ne sont pas de même nature et sont réalisés par des organes adaptés (Callot, 1988).

Les échanges d'énergie (rayonnement, chaleur) et les échanges gazeux se font à l'interface feuille-atmosphère. A l'interface sol-racine, ont lieu les échanges en phase liquide (absorption d'eau et de solutés, exsorption de H^+ et d'ions minéraux) (Callot, 1988). Donc la biomasse végétale est la traduction du rendement conjugué de ces deux interfaces qui dépend de deux types de nutrition: la nutrition carbonée qui est liée à la photosynthèse et la nutrition minérale qui est liée aux caractéristiques de sol.

On peut donc diviser les facteurs de la croissance en deux phases, aérienne pour la photosynthèse (essentiellement la nutrition carbonée), et souterraine pour la nutrition minérale (Hopkins, W. G. and S. Rambour, 2003) :

La variabilité de la productivité des arbres forestiers en fonction des facteurs environnementaux est largement étudiée (Waring and Running, 2007, Otto, 1998).

Par exemple Laurance (Laurance et al, 1999) a étudié l'effet du type de sol sur la production de biomasse des forêts amazoniennes. Il montre que la biomasse est positivement associée à l'azote total, le montant total des ions échangeables (K^+ , Mg^{2+}) à d'argile et au carbone organique dans les sols.

King a étudié l'effet de la compétition par mesure de la densité des souches et l'interception de lumière par la canopée (King et al. 2005). Il a trouvé une corrélation linéaire entre la croissance des arbres et ces facteurs. Saxe et al (1998) et Rae et al. (2007) ont étudié l'effet du CO_2 .

Les études sur l'évaluation de la biomasse des arbres hors forêt sont rares. Coutel (1991, cependant, a montré que la variabilité de la biomasse des charmes têtards est liée à la compétition entre les arbres, l'altitude et l'hydromorphie du sol.

Les arbres d'émonde sont influencés par un environnement totalement différent d'un peuplement forestier (Auclair et Maerten, 1986, Lefeuvre, 1986). La concurrence latérale est au long de la haie et bien moindre qu'en peuplement, le sol est souvent modifié par un fossé ou un talus, les parcelles contiguës peuvent être fertilisées.

Dans la zone que nous avons échantillonnée les variations topographiques sont faibles et le climat et le sous sol sont homogènes. La variabilité est donc vraisemblablement liée aux caractéristiques locales au sein de la haie, et aux caractéristiques de taille des arbres. Nous avons donc posé les hypothèses suivantes :

1. Relations entre la production de biomasse et les caractéristiques des arbres :

- Les arbres au tronc le plus gros produisent le plus de biomasse
- Les arbres au tronc le plus haut produisent le plus de biomasse

2. Relation liée à la position de l'arbre dans la haie :

- La production de la biomasse est plus importante quand l'arbre est isolé.

3. Relations liées à la position de l'arbre dans le paysage :

- La production de la biomasse est plus importante en bordure des parcelles cultivées, fortement fertilisées, qu'en bordure des prairies permanentes.
- Les haies sur les sols hydromorphes produisent plus de biomasse.

2. Matériel et méthode:

2.1 Site d'étude :

Le site d'étude est la zone atelier de Pleine-fougères, une zone d'étude expérimentale en écologie, agronomie et biodiversité, sur laquelle les équipes scientifiques de l'INRA de Rennes, de l'université de Rennes 1 et de l'université de Rennes 2 travaillent depuis quinze années. Cette zone atelier, située au nord de département d'Ille-et-Vilaine, en Bretagne, représente un gradient de structure paysagère et agricole du sud vers le nord (figure 1).

Du sud vers le nord de la zone, la densité des haies diminue tandis que la taille des parcelles agricoles augmente. Ceci correspond à une intensification de l'usage des terres.

Le sous-sol est formé essentiellement de schiste (figure 2) avec toutefois la présence au sud d'un massif granitique (figure 2). Dans la suite de ce travail nous nous sommes limités aux zones sur schiste afin d'éliminer la variabilité de croissance des arbres liée à la qualité du sous sol. Nous avons donc choisi de travaillé sur deux sites, B et C, de même sous sol mais présentant une densité de bocage contrastée : bocage très ouvert en C au nord, et bocage moyennement dense en B au sud.

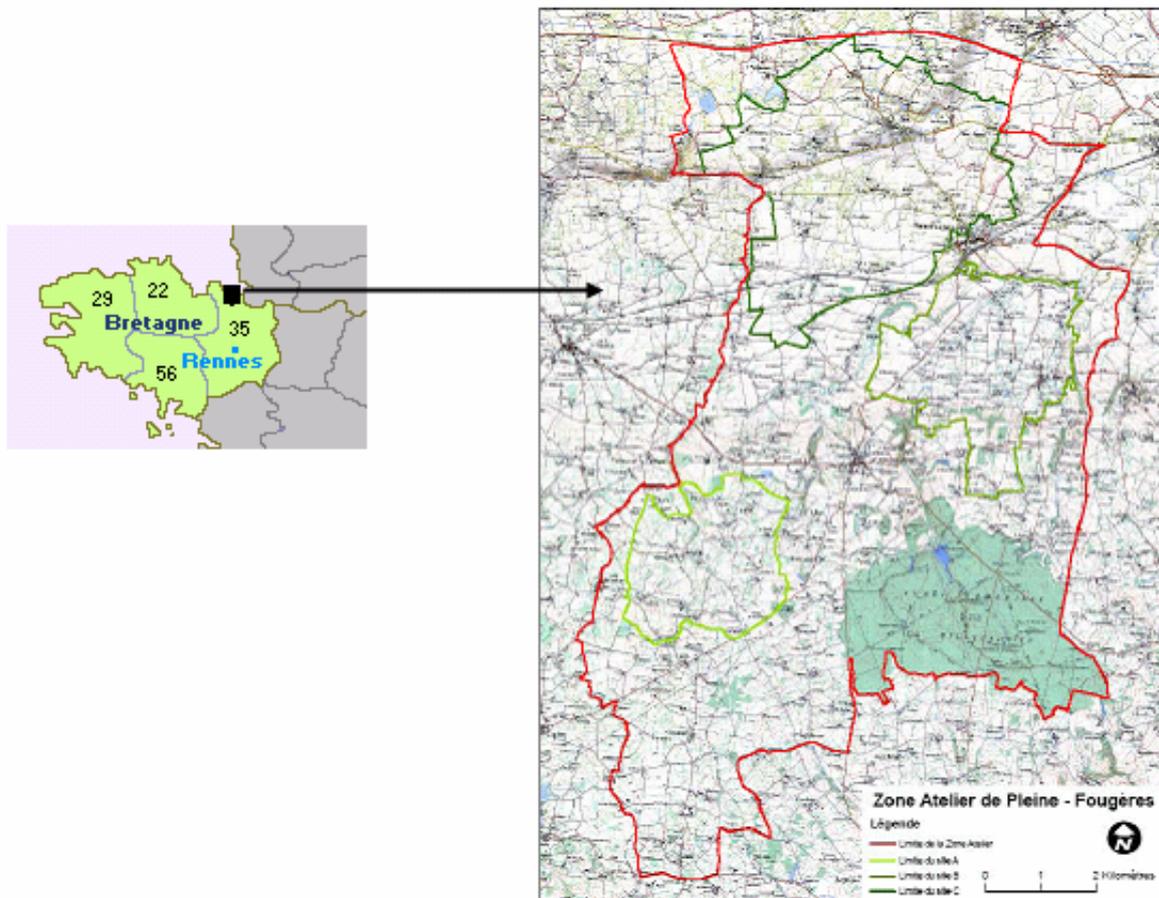


Figure 1 : Carte géographique de la zone atelier et les sites d'études B et C (Carte IGN, 1/25 000).

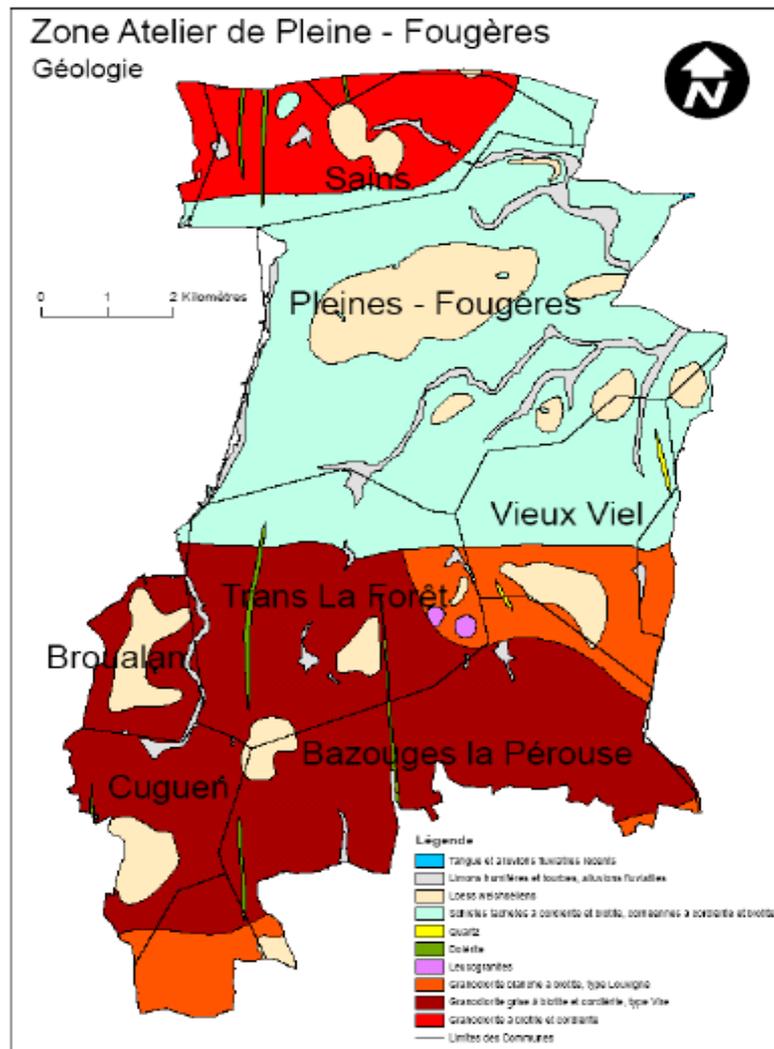


Figure 2 : Carte géologique de la zone atelier (Carte géologique BRGM de Dol-de-Bretagne, 1/50 000)

Le site B est situé sur la commune de Vieux-Viel, il a une superficie de 924 hectares, la densité moyenne des haies y est de 93 mètres par hectare. Le site C est principalement sur les communes de Pleine-Fougères et de Sains, avec une superficie de 1816 hectares et une densité de haies de 56,2 m/ha (tableau 1).

	Surface (ha)	Longueur totale de haies (Km)	Densité de haies (m/ha)
Site B	924	85,9	93
Site C	1 816	102,1	56,2

Tableau 1 : les caractéristiques générales des sites d'études.

En 2000, une cartographie par photo-interprétation des deux sites B et C a été réalisée par T.Houet et M.Reboux du laboratoire COSTEL à partir de photographies non mosaïquée d'un vol ULM. Pour notre travail, on a utilisé cette cartographie, après avoir fait une vérification sur le terrain en 2006.

2.2 Stratégie d'échantillonnage :

2.2.1 Les critères relatifs aux échantillons des haies dans le paysage :

Pour tester l'hypothèse 3 selon laquelle la productivité serait différente selon les types d'occupation du sol adjacents il faut réaliser un échantillonnage qui prenne en compte la diversité de ces usages. Nous avons réalisé un échantillonnage stratifié basé sur le type d'occupation du sol adjacent à la haie, puis les critères de structure de la haie. Pour cela nous avons utilisé la carte des haies arborescentes des sites B et C pour relever les haies arborescentes, et avons sélectionné parmi elles les haies formées majoritairement de chênes d'émonde grâce à une vérification sur le terrain. Pendant la vérification sur le terrain, nous avons noté, pour chacune de ces haies le type d'occupation du sol adjacent. Ceci a servi de base à notre échantillonnage et nous avons choisi les haies en sélectionnant dans cet ensemble celles qui répondaient aux critères de taille des arbres et d'éloignement entre les arbres nécessaires pour tester les hypothèses 1 et 2. Il faut signaler cependant que la diminution du réseau bocager et le déclin de l'entretien des haies ont rendu difficile la recherche des haies qui s'adaptent bien avec nos critères.

La figure 3 représente l'ensemble des haies étudiées dans la zone atelier de Pleine-Fougères.

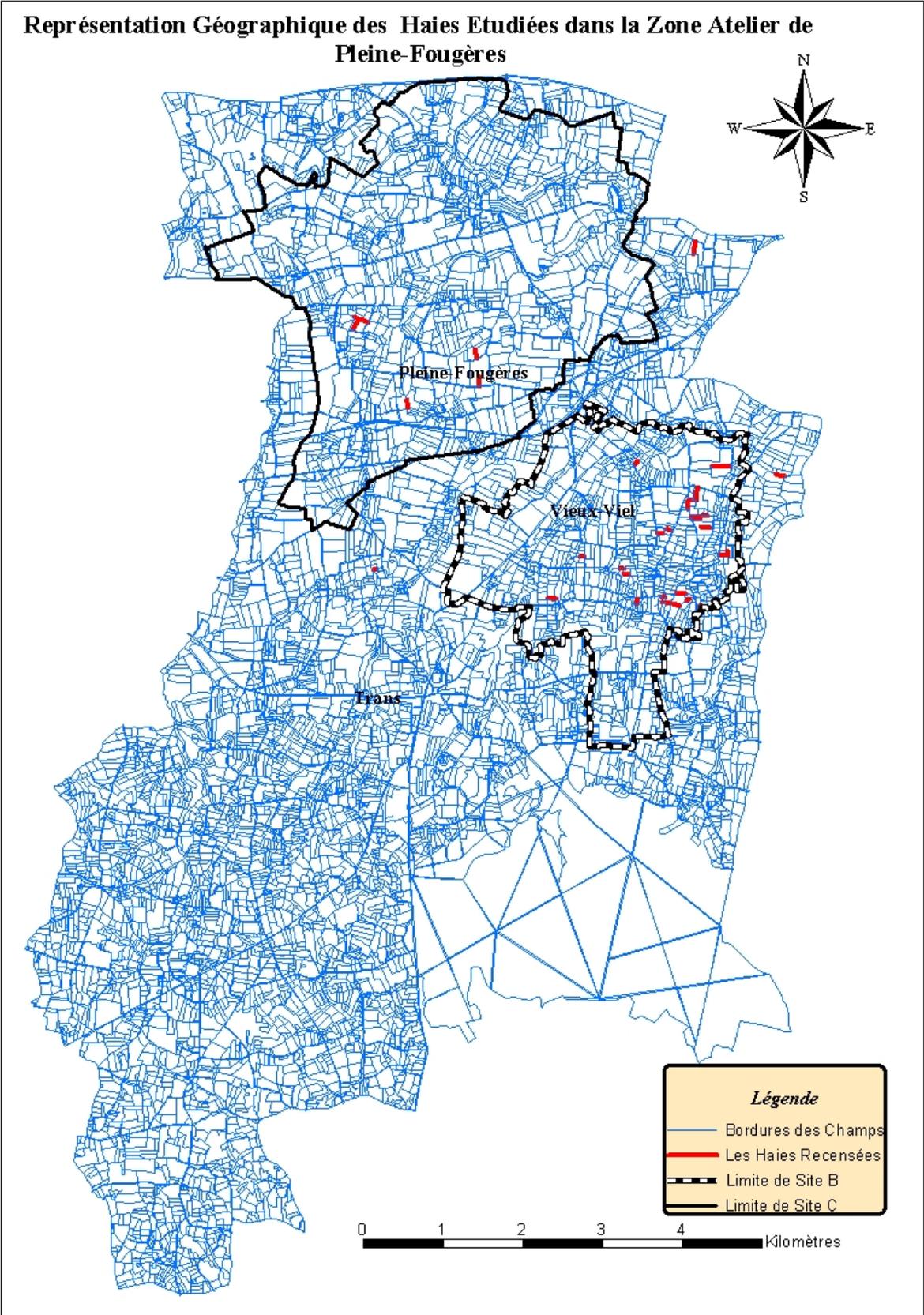


Figure 3 : Présentation cartographique de toutes les haies échantillonnées

2.2.2 Les critères relatifs aux échantillons des arbres dans le paysage et les haies :

Pour tester nos hypothèses, il fallait trouver des ragosses (émondés) représentatives des arbres et des haies représentatifs du paysage. Nous avons donc défini quelques paramètres afin de choisir nos échantillons :

- (a) la durée depuis le dernier émondage doit être représentatif de la moyenne du site. En considérant la moyenne traditionnelle de 10 ans (Baudry, Jouin 2003), on a sélectionné des arbres et des haies ayant été émondés depuis une dizaine d'années. Il faut noter que pour les arbres ayant été émondés plus récemment le comptage des branches n'est pas facile et parfois même dangereux, car les branches sont très petites et fragiles. D'autre part, la courbe de régression (chapitre I, Section 3.4) montre que la biomasse estimée est faible pour les petites branches (circonférence à la base de moins de 6-7 centimètres).
- (b) Sur une haie les arbres abîmés, ayant un tronc pourri ou une cavité importante ne sont pas considérés.
- (c) Sur le terrain, on a cherché des arbres complets, et c'est à dire ne présentant pas une coupe partielle des branches en bas ou d'un côté. Ce type d'entretien partiel des émondés est récent et tend à se développer surtout pour les arbres en bordure de parcelle (Javelle, 2007).
- (d) Nous n'avons pas considéré les arbres parasités de manière importante par du Lierre commun (*Hedera helix*) de façon importante autour de leur tronc, car la pénétration dans l'arbre et la mesure de la circonférence des branches était très difficile, de plus nous avons évité par là de prendre en compte l'effet éventuel de ces plantes sur les branches.
- (e) Les autres critères de sélection des arbres portaient sur la facilité à compter les branches et mesurer leurs circonférences, étant donné que toutes ces opérations se faisaient en montant dans l'arbre à l'aide d'une échelle. Dans ce but, les arbres dangereux, souvent ceux dont les branches sont loin les unes des autres ne sont pas pris en compte.

Le tableau 2, représente le nombre de haies et d'arbres sélectionnés par site, type d'occupation de sol et la distance moyenne entre les arbres :

	Site		Type d'occupation du sol			Distance Moyenne entre les arbres			
	B	C	Prairie/ Prairie	Prairie/ Culture	Culture/ Culture	<5m	5-8 m	8-12 m	>12 m
Nombre de Haies	10	28	10	12	16	2	5	25	6
Nombre d'arbres	43	140	45	67	71	43	50	49	41

Tableau N°2 : les caractéristiques générales des haies et des arbres étudiées dans la zone atelier de Pleien-Fougères.

2.3 Collecte des données

2.3.1 Collecte des données relatives à la haie:

Lors du travail sur le terrain, chaque haie était identifiée par le numéro de fiche où sont collectés ses paramètres descriptifs et ce numéro d'identification sur le terrain était ensuite relié au numéro de SIG des haies dans notre base de données.

La fiche de description de la haie (Annexe 1) a été mise au point en considérant la fiche de description de haie de l'équipe d'écologie du paysage et l'équipe de SAD Armorique de l'INRA de Rennes (publiée dans le livre de « De la haie aux bocages » par Baudry et Jouin en 2003).

Sur le fichier de terrain, les caractéristiques du milieu autour des haies et aussi leur structure sont enregistrées :

- Occupation du sol des parcelles adjacentes :
Nature de l'occupation du sol de chaque côté de la haie a été observée sur la terrain a confrontée les données de la base de SIG de la zone atelier.
A cause de quelques erreurs et non-conformité de ces données avec les données récoltées sur le terrain, on a fait une vérification complète de terrain avec un expert en écologie végétale, afin de distinguer clairement, les prairies temporaires des prairies permanentes.
- L'abondance relative des prairies dans le paysage (la fréquence de prairie):
Sur le terrain même, on a eu encore quelques ambiguïtés sur le type de prairie et aussi sur l'ancienneté des parcelles mises en culture ou en prairies. La fréquence de prairie se définit par le nombre d'année où une parcelle a été en prairie sur une période de 12ans (de 1993 jusqu'à 2006). Pour cela, nous avons consulté les photographies aériennes (de 1993 jusqu'à 2006) et compté, en proportion, le nombre d'années où une parcelle est en herbe. Les valeurs varient entre 1 pour des parcelles de prairies permanentes et 0 pour les parcelles de culture.
- La présence ou l'absence de talus et fossé sur chaque côté de haie et leurs caractéristiques (la hauteur et la largeur du talus, la profondeur et la largeur du fossé). Ces paramètres ont été mesurés et notés.
- Le degré hydromorphie du sol et la présence ou l'absence de l'eau dans le fossé de la haie :
Pour estimer l'effet éventuel de la présence de l'eau à côté de haie, le degré d'hydromorphie du sol a été ressorti d'après les cartes hydromorphiques préparées en 1993 par l'équipe de INRA SAD Armorique (Thenail, 1996). L'observation directe sur le terrain a confirmé, si c'était le cas, la présence de l'eau et surtout de l'eau courante dans le fossé.
- L'orientation de la haie :
L'orientation de la haie par rapport des points cardinaux (Nord-Sud et Est-Ouest) a été déterminée sur la carte SIG.

2.3.2 Collecte des données relatives à l'arbre, et description des méthodes de mesure des paramètres des arbres :

LES TRAVAUX DE LA RECOLTE DES DONNEES AU NIVEAU DE L'ARBRE ONT ETE FAITS SUR DEUX PARTIES DE L'ARBRE, LE TRONC ET LES BRANCHES.

- La distance avec les arbres voisins :
L'espace qui existe entre les arbres émondés a un effet indéniable sur la croissance des arbres. Donc pour s'approcher plus du résultat réel, la distance entre les arbres a été mesurée (la distance entre le milieu de deux troncs).
- La largeur et la longueur de houppier :

Le houppier d'un arbre représente l'ensemble des branches vivantes et des rameaux qui entourent la partie supérieure du tronc. Le diamètre du houppier d'un arbre (ici la largeur et la longueur dans les deux sens) constitue une caractéristique dendrométrique intéressante, surtout dans l'étude des effets de la compétition des arbres voisins sur l'arbre. La configuration du houppier est fortement liée à la compétition entre les arbres et à l'essence des arbres.

Pour mesurer le diamètre il faut mesurer la projection horizontale du houppier au décamètre. Puisque le houppier n'a pas une forme de cercle, il convient d'augmenter le nombre de diamètres à mesurer, pour avoir une bonne estimation du diamètre du houppier. Des études ont montré que l'estimation de la surface projetée des houppiers pouvait être effectuée avec une bonne précision en mesurant au moins 4 rayons, et de préférence 8 (Parde et Bouchon, 1988, Cailliez, 1980, Rouvinen et Kuuluvainen, 1997).

Dans cette étude, compte tenu de la compétition entre les arbres au long de la haie, on a mesuré le diamètre du houppier dans 4 rayons, deux rayons au long de la haie (r_1+r_2 =la largeur du houppier) et deux rayons perpendiculaires à la haie (r_3+r_4 =la longueur du houppier). Ces mesures permettront de déterminer le seuil de distance à partir duquel il y a compétition entre deux arbres (figure 4).

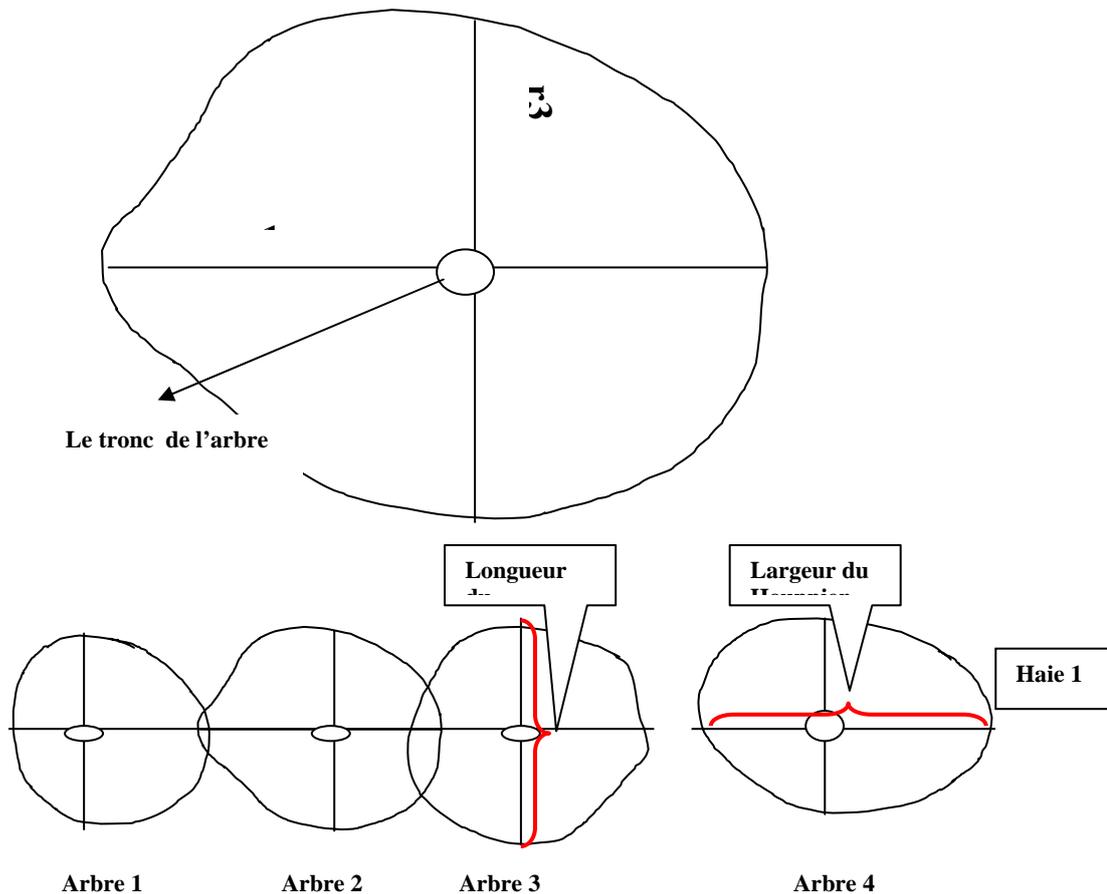


FIGURE 4 : LA PROJECTION HORIZONTALE DU HOUPPIER SUR LE SOL ET MESURE DE LA LARGEUR ET DE LA LONGUEUR DU HOUPPIER DE CHAQUE ARBRE.

2.3.2.1 Mesure du tronc :

Tout d'abord, nous avons mesuré les caractéristiques du tronc, et donc nous avons commencé par la hauteur totale du tronc du bas jusqu'au sommet de l'arbre. Sur les ragosses échantillonnées, on n'a trouvé aucun arbre avec une circonférence inférieure à 25 cm (la circonférence minimum pour mesurer le tronc en foresterie) ni à la hauteur de poitrine (1m30), ni au sommet de l'arbre. Pour mesurer la hauteur de l'arbre, on a utilisé un décamètre et en montant dans l'arbre, on a mesuré la hauteur de chaque arbre au pied jusqu'à son sommet et la mesure a été effectuée avec une précision de +/- 5cm.

Pour calculer le gisement du tronc (le volume) nous avons utilisé la méthode des billons successifs, le diamètre de l'arbre a été mesuré à différentes hauteurs : 0.5m, 1m, 1.3m, 1.5m, 2.5m jusqu'au sommet de l'arbre (après 1,5m, le diamètre est mesuré tous les mètres), en utilisant un compas forestier avec un degré de précision de +/-0.5 cm (figure N° 5).

Pour éviter toute erreur due à la forme du tronc, la mesure de diamètre a été faite deux fois sur chaque point de mesure et le diamètre moyenne de ces deux mesures, a été enregistré. Toutes les données concernant le tronc sont enregistrées sur un fichier de terrain (Annexe 2).

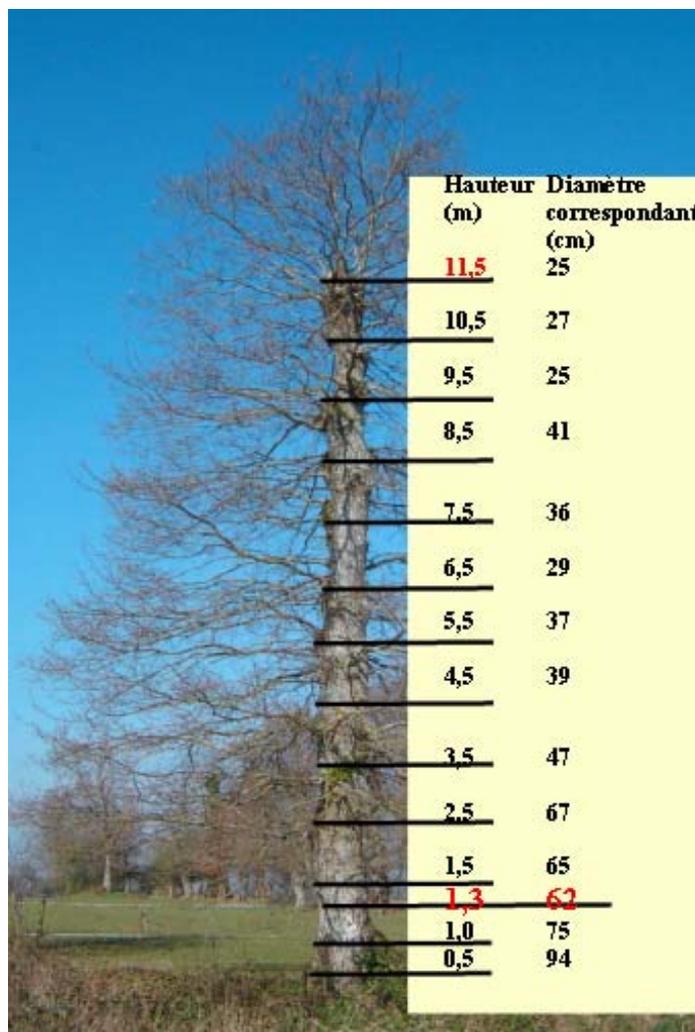


Figure N° 5 : Application de la méthode des billons successifs sur l'arbre émonde sur pied.

2.3.2.2 Mesure des branches :

La partie la plus longue et fastidieuse du travail était de compter le nombre de branches et leurs circonférences sur chaque arbre.

La circonférence de chaque branche a été mesurée à la base de la branche, à l'aide d'un ruban en plastique et en montant dans l'arbre. Le degré de précision de la lecture est de +/- 0.5 cm.

Pour savoir l'âge d'émondage (l'âge des branches) de chaque arbre, une ou deux branches parmi les plus grosses (représentant de l'âge réel des branches) a été sélectionnée et coupée à la scie. L'âge des branches a été relevé en comptant le nombre des cernes.

Toutes les variables qualitatives et quantitatives considérées aux différents niveaux d'observations sont présentées dans tableau 3.

Nom	Code	Echelle	Description	Mode d'acquisition	Expression	Nature
Biomasse de l'arbre	Bio	Arbre	Biomasse des branches pendant une coupe d'émonde	Estimation non destructive à l'aide du tarif de biomasse	En Kg	Quantitative
Hauteur de l'arbre	Hat	Arbre	Hauteur du tronc de l'arbre	Mesure sur l'arbre	En mètre	Quantitative
Diamètre à 1m30	Dia	Arbre	Diamètre de tronc au niveau de la poitrine	Mesure sur terrain	En Cm	Quantitative
Volume	Vol	Arbre	Volume réel de tronc	Pour 144 arbres mesure sur le terrain, pour les autres, estimation d'après le tarif préparé	En mètre cube	Quantitative
Largeur de Houppier	Can1	Arbre	Largeur de houppier au long de haie	Mesure de la projection du houppier sur terrain	En mètre	Quantitative
Longueur de Houppier	Can2	Arbre	Longueur de houppier perpendiculaire à la haie	Mesure de la projection du houppier sur le terrain	En mètre	Quantitative
Distance minimum	Dis1	Arbre	La distance à l'arbre voisin le plus proche	Mesure sur le terrain	En mètre	Quantitative
Distance maximum	Dis2	Arbre	La distance à l'arbre voisin le plus loin	Mesure sur le terrain	En mètre	Quantitative
Age des branches	Age	Arbre	Age des branches ou âge de la dernière émonde	Mesure des cernes des branches	En année	Quantitative
Mode de traitement des arbres	Tra	Arbre	Le mode d'entretien des arbres, on a considéré seulement Ragosse	Observation sur le terrain		Nominale
Occupation du sol	Ocs	Haie	Nature des occupations du sol des parcelles adjacentes des haies	Observation sur le terrain et vérification sur SIG	3 modalités (Culture/Culture, Culture/Prairie/Prairie/Prairie)	Nominale
Largeur du Talus	TalL	Haie	Largeur moyenne du talus sur l'ensemble de la haie	Estimation sur le terrain	En mètre	Quantitative
Hauteur du Talus	TalH	Haie	Hauteur moyenne du talus sur l'ensemble de la haie	Estimation sur le terrain	En mètre	Quantitative
Largeur de Fossé	FosL	Haie	Largeur moyenne du fossé sur l'ensemble de la haie	Estimation sur le terrain	En mètre	Quantitative
Profondeur du Fossé	FosP	Haie	Profondeur moyenne de fossé sur l'ensemble de la haie	Estimation sur le terrain	En mètre	Quantitative
Orientation de la haie	Ori	Haie	Orientation de la haie par rapport aux points cardinaux	Vérification sur la carte	2 modalités (Nord-Sud, Est-Ouest)	Nominale

Tableau 3 : Description des variables de l'arbre, la haie et du milieu, recueillies pour les points d'échantillonnages.

2.4 Méthodes de calcul de la biomasse des différentes parties de l'arbre (branche et tronc) :

2.4.1 Estimation de la biomasse des branches :

En raison des difficultés de mesure directe de biomasse des branches, on a essayé d'estimer cette biomasse à partir de mesures faciles à réaliser sur le terrain. Pour les branches, on a étudié des équations allométriques entre la biomasse des branches et leur longueur ou leur circonférence à la base.

Parmi les deux variables étudiées, la circonférence est plus corrélée à la biomasse que la longueur des branches et, d'autre part, la mesure de la circonférence des branches est plus facile que celle de leur longueur (le coefficient de corrélation de Pearson pour la circonférence est 0.94 et pour la longueur est 0.88), l'équation allométrique a donc été construite sur la circonférence.

Le meilleur type d'équation était $PS = - 1,71 + 0,0175 C^2$, où Ps est la biomasse sec de branche, et C est la circonférence à la base, avec une coefficient de corrélation de 0.96).

Cette équation a été appliquée sur les données enregistrées dans le fichier des branches (Annexe 3). La biomasse sèche de chaque branche a été calculée individuellement et la somme des biomasses des branches est considérée comme la biomasse totale des branches de chaque arbre émonde (la productivité pendant une période d'émonde).

Comme l'âge d'émondage des arbres étudiés varie entre 9 et 15 ans, la comparaison des biomasses totales des arbres n'est pas valable. Afin d'éliminer l'effet âge et de pouvoir comparer les individus entre eux, nous avons calculé la biomasse annuelle ou la production de biomasse annuelle de chaque arbre.

En divisant la biomasse totale des branches de chaque arbre à l'âge des branches ou l'âge d'émondage, la biomasse annuelle a été calculée.

2.4.2 Détermination du volume des troncs et construction du tarif du cubage :

Durant les deux hivers de travail de terrain pour cette thèse nous n'avons pas trouvé suffisamment de ragosses abattues, afin d'en mesurer le volume et de préparer un tarif de cubage pour les troncs des arbres à partir des arbres au sol. Il a donc fallu le réaliser à partir d'arbres sur pied.

Le cubage des arbres sur pied est beaucoup plus délicat à réaliser que celui des arbres abattus, car il suppose d'estimer certaines caractéristiques dendrométriques, et de mesurer ces caractéristiques avec des méthodes et des outils comme le relascope de Bitterlich, le pentaprisme de Wheeler ou le compas finlandais. Nous avons adapté une méthode de cubage par billons successifs en montant dans les arbres. Pour notre travail, on était obligé de monter sur les arbres pour mesurer les branches, donc l'application de la méthode de cubage par billons successifs était plus pratique.

Les différentes étapes du traitement concernent le calcul des volumes individuels des arbres à partir des données récoltées sur le terrain, la sélection des équations exprimant le volume ou d'autres variables dépendantes en fonction des variables explicatives les plus pertinentes, l'ajustement de ces équations aux données observées et la construction proprement dite des tables de cubage.

2.4.2.1 Détermination des volumes de tronc des arbres:

Pour calculer les volumes des tronc selon la méthode des billons successifs, la formule de cubage du tronc de Smalian (West 2003) a été utilisée :

Formule

$$Volume = \pi * L(d_0^2 + d_f^2) / 8$$

Dans cette formule d_0^2 et d_f^2 représentent respectivement les diamètres de la base et de l'extrémité du billon (mesuré en mètre), et **L**, la longueur du billon (en mètre) et le Volume est exprimé en mètre cube.

EN APPLIQUANT CETTE FORMULE AUX DONNEES RECOLTEES SUR LE TERRAIN (ANNEXE3), NOUS AVONS MESURE LE VOLUME DE CHAQUE BILLON, LE VOLUME TOTAL DU TRONC EST LA SOMME DES VOLUMES DES BILLONS.

2.4.2.2 Construction du tarif du cubage :

Les tarifs de cubage sont des outils d'estimation indirecte du volume des arbres. Ils se présentent sous différentes formes. La forme la plus courante est un tableau chiffré (qu'on appelle aussi " table de cubage "). Les autres formes sont la représentation graphique d'une courbe de régression ou encore une équation qui montre la relation entre le volume de l'arbre et d'autres caractères de l'arbre comme le diamètre à hauteur de poitrine ou la hauteur totale de l'arbre. L'idée principale sur laquelle repose un tarif du cubage est que des arbres de même essence, de même diamètre et hauteur, ayant grandi dans des milieux similaires, ont un volume identique ou qui oscille peu autour d'un volume moyen.

Pour construire un tarif, Rondeux détermine trois phases (Rondeux 1999) :

a. La récolte des données de base

La partie de la récolte des données, a déjà été expliquée (2.3.2.1 Mesure du tronc). Pour construire un tarif de cubage le plus fiable possible, l'échantillonnage doit représenter la population d'arbres. D'après la littérature (Rondeux, 1999 ; Köhl et al., 2006 ; Laar et Akça, 2007) le choix du nombre d'échantillons à récolter est un problème relativement complexe lié aux objectifs poursuivis, à la précision souhaitée, la dimension et l'homogénéité du site d'étude. Si le tarif concerne une région assez homogène où les conditions de croissance des arbres sont relativement homogènes, un échantillonnage de 30 à 100 arbres est acceptable pour construire un tarif de cubage (Behre 1935; Loetsch, Zöhrer et al. 1973).

Il faut noter que cet argument a été développé pour les peuplements forestiers. Dans notre cas, les arbres sont façonnés par les agriculteurs qui déterminent la hauteur du tronc. L'échantillonnage a été réalisé sur les deux sites B et C de la zone atelier, qui constituent une petite région géographique (2700 hectares) homogène. Nous avons donc considéré que l'échantillonnage de 144 arbres est suffisant pour construire un tarif fiable.

Le tableau 4 représente les caractères généraux des 144 arbres considérés pour établir le tarif.

Moyenne et paramètres de dispersion des variables indépendantes et dépendantes.

Caractéristiques dendrométriques	Moyenne	Minimum.	Maximum	Ecart Type
----------------------------------	---------	----------	---------	------------

Diamètre (cm)	53.48	27.50	86.50	13.89
Hauteur de tronc (m)	6.34	2.40	11.50	1.76
Volume total (m³)	1.41	0.20	3.99	0.83

Tableau 4: Caractéristiques dendrométriques des arbres ayant servi à construire les tarifs de cubage.

b. La préparation des données, comportant leur réduction et le calcul des volumes.

Cette phase concerne la réorganisation des données: calcul des volumes des billons et volume total de l'arbre et préparation de toutes les variables et mesures effectuées afin de faciliter de faire divers calculs. La formule Smalian (Paragraphe 2.4.2.1) a été utilisée pour calculer le volume de tronc.

c. Le choix et l'application de la méthode de construction.

Cette phase concerne l'analyse des données c'est à dire le choix d'une équation mathématique la plus proche possible des données récoltées. Les équations proposées par les forestiers sont basées sur les relations entre le volume et une ou deux variables explicatives (diamètre, hauteur). Le nombre de variables explicatives, qu'on appelle « entrées de tarif », déterminera le type de tarif : tarif à une entrée (une variable explicative, souvent le diamètre) ou tarif à deux entrées (deux variables explicatives, souvent diamètre et hauteur).

Nous allons tester les équations les plus utilisées dans les études de foresterie en retenant deux entrées. Les équations considérées sont :

$$\text{Formule 2} \quad V = a_0 + a_1 D + a_2 H$$

$$\text{Formule 3} \quad V = a_0 + a_1 D^2 + a_2 H$$

$$\text{Formule 4} \quad V = a_0 + a_1 D^2 H$$

$$\text{Formule 5} \quad V = a_0 + a_1 D^2 + a_2 D^2 H$$

V= Volume en mètre cube

D= Diamètre du tronc à hauteur de 1m30 en centimètre

H= Hauteur de tronc en mètre

a_0 , a_1 et a_2 = coefficients

Les tests et la validation de chaque équation ont été faits par des régressions.

2.5 Définition de différents index de biomasse pour étudier les hypothèses :

Afin de mieux répondre aux questions de recherche, nous avons défini quatre indices de productivité ou de biomasse comme les suivantes :

2.5.1 Biomasse totale : La biomasse totale des branches produite entre deux dates d'émondage

La biomasse totale est la production totale de la biomasse entre deux dates d'émondage. Cet indice est calculé à partir de la mesure de la biomasse de toutes les branches et elle est notre variable principale, pour étudier les liens entre les arbres et le milieu.

Pour étudier la relation entre la durée d'émondage et la production totale de biomasse (hypothèse 1), on utilise cet indice.

2.5.2 Biomasse annuelle : La productivité : La production de biomasse annuelle

Notre analyse porte sur des arbres pour lesquels la durée depuis la dernière date d'émonde varie de 7 à 16 ans. Pour comparer les arbres et on utilise la production de la biomasse annuelle comme la variable principale.

2.5.3 La productivité volumique: La production de biomasse annuelle par l'unité de volume de tronc d'arbre

Pour tester l'effet de l'occupation du sol des parcelles adjacentes sur la production de biomasse des branches, nous avons utilisé la production volumique des arbres.

La productivité volumique est la production de biomasse des branches en unité de volume de tronc. Elle nous permet d'étudier l'effet d'occupation du sol sur la productivité des arbres et nous donne la possibilité de comparer la productivité des arbres en fonction de l'occupation du sol.

2.5.4 Les biomasses des branches de chêne émondé en fonction de la durée moyenne d'émondage (12ans) :

Les mesures des branches des chênes ont été effectuées sur des arbres dont la dernière date d'émonde varie entre 7 et 16 ans, car il n'a pas été possible de trouver des arbres ayant été émondés la même année en raison des autres contraintes d'échantillonnage. Afin de comparer les individus entre eux, nous avons ramené l'ensemble des branches à l'âge médian de 12 ans (paragraphe 3.3).

2.6 Définitions de quelques mots clés:

❖ Ragoisse ou émonde :

Ragoisse ou émonde sont des arbres traditionnellement plantés sur des talus et ils sont les éléments principaux des haies qui entourent les parcelles agricoles et constituent le paysage bocager. Dans notre site d'étude, ces arbres sont principalement des chênes.

❖ Arbre isolé :

Les arbres isolés sont ceux qui ne sont pas en compétition avec les arbres voisins. Il y en a souvent aux extrémités des haies, mais aussi à l'intérieur des haies qui présentent des trouées importantes.

❖ L'abondance relative des prairies dans le paysage (la fréquence de prairie)

La fréquence de prairie se définit par le nombre d'année où une parcelle était en prairie sur une période de 12 ans (de 1993 jusqu'à 2006). Cette variable est issue de l'interprétation des photographies aériennes.

2.7 Méthodes d'analyse statistique:

Pour ramener la biomasse de toutes les branches à un âge identique on a utilisé une analyse de régression simple (Coutel 1991, Rondeux 1999) sous le logiciel de Minitab® 14.0.

L'analyse de régression multiple a été utilisée pour construire le tarif de biomasse (Rondeux 1999), aussi nous avons utilisé cette méthode statistique pour prédire la biomasse des branches des chênes via les caractéristiques des arbres (construire le modèle de biomasse des branches) (Cornillon et É. Matzner-Løber, 2006). Le logiciel Statistica® 8.0 a été utilisé pour faire cette analyse.

L'effet de la compétition sur la largeur de canopée et sur la biomasse des arbres a été étudié par une analyse de variance (ANOVA) à l'aide du logiciel Minitab. Nous avons aussi étudié l'effet du type d'occupation de sol sur la production de biomasse avec l'analyse de variance.

L'analyse en composantes principales (ACP) a été utilisée pour étudier les relations entre les différentes caractéristiques des arbres (hauteur, diamètre et volume de tronc, surface de la canopée) et la biomasse des branches. Ce test a été réalisé avec le logiciel Canoco 4.5.

L'analyse de redondance (RDA) a été utilisée pour étudier les relations entre la biomasse et les caractéristiques des arbres, et les facteurs environnementaux (terBraak et Smilauer, 2002 et Lepš et Šmilauer, 2003).

La significativité de l'analyse de RDA a été testée par l'application du test de Monte-Carlo (terBraak et Smilauer, 2002).

2.8 Gestion des données

Etant donné le nombre important d'observations (des haies et des arbres étudiés) et le nombre de variables étudiées, une base de données réalisée au CAREN a été utilisée afin de stocker et exploiter les données.

L'ensemble des données des arbres émondes et de leurs haies associées (les annexes 1,2 et 3) ont été saisies dans cette base intitulée « Production Du Bois Dans Les Haies » sous le logiciel Microsoft Access.

Cette base de données est construite en deux grandes parties. Une partie considère toutes les données relatives aux haies (localisation, topographie, l'occupation du sol des parcelles adjacentes, caractéristiques de sol et de talus et fossé). Les données relatives aux arbres (hauteur, diamètre, volume, âge, biomasse, distance au voisin) sont stockées dans l'autre partie attribuée à l'arbre et aux branches.

Nous avons mis en relation directe, cette base de données avec la base de données de SIG de Pleine-Fougère.

3. Résultats et discussion :

3.1 Tarif de cubage des troncs et estimation du volume de tronc

Pour construire le tarif de cubage, 144 arbres sur pied ont été mesurés. Le tableau numéro 5 représente l'ensemble de ces arbres.

Circonférence (cm)	Hauteur (m)										Total
	2-2.9	3-3.9	4-4.9	5-5.9	6-6.9	7-7.9	8-8.9	9-9.9	10-10.9	11-11.9	
80 – 89.5	1		2								3
90 – 99.5	1	1	2	1	2						7
100 – 109.5		2	1	1							4
110 – 119.5		1	1	4	4						10
120 – 129.5		1	2		1	1					5
130 – 139.5		1		2	2	1					6
140 – 149.5			3	3	2	3	2	1			14
150 – 159.5		2	3	4		1	1				11
160 – 169.5		1	4	4	3	3	2	1			18
170 – 179.5			2	6		3	1				12
180 – 189.5				2	2	5	3				12
190 – 199.5				4	3	3		2			12
200 – 209.5					1	1		1	1		4
210 – 219.5					1	1	3	2			7
220 – 229.5					3	1					4
230 – 239.5				1		1	2		1		5
240 – 249.5		1				2	1		1		5
250 – 259.5						3					3
260 – 269.5								1			1
270 – 279.5										1	1
Total	2	10	20	32	24	29	15	8	3	1	144

Tableau N° 5 : Répartition des arbres en fonction de la circonférence à 1,3 m (c) et de la hauteur totale (h).

Pour construire le tarif, on a utilisé la méthode de régression (Thibaut, A., H. Claessens, et al. 1998) afin de trouver l'équation la plus juste pour estimer le volume. En appliquant cette méthode nous avons testé l'introduction des deux variables explicatives, la hauteur et le diamètre pour construit notre tarif à deux entrées, ce qui prédit le volume plus précisément (Rondeaux 1999).

Le tableau ci-dessous (tableau 6) montre les résultats de l'analyse de régression sur différents types d'équations mathématiques. En comparant des coefficients de détermination (values R^2) de ces équations (Cornillon and Matzner-Løber, 2006), la deuxième équation est plus fiable, bien qu'il n'y ait pas de grande différence entre toutes les équations.

Formule base	constante	Coefficient 1 a	Coefficient 2 a	Equation	R^2	T var.1	T var.2
$V = a_0 + a_1 D + a_2 H$	-1,90	0,04	0,17	V= -1,9+0,04D+0,17H	0.89	20,4	10,79
$V = a_0 + a_1 D^2 + a_2 H$	-0,84	0,0004	0,17	V= -0,837+ 0,00038D²+0,173H	0.90	21,87	11,5
$V = a_0 + a_1 D^2 H$	0,294	0,000054	-----	V= 0,294+ 0,00054D²H	0,89	34,42	-----
$V = a_0 + a_1 D^2 + a_2 D^2 H$	0,194	0,000096	0,000044	V=0.194 + 0.000096 D² + 0.000044 D²H	0,89	2,56	11,23

Tableau 6 : Résultats de différents types d'équation pour établir le tarif.

On a choisi l'équation 2 ($V= -0,837+ 0,00038D^2+0,173H$) et nous avons construit notre tarif à deux entrées (Rondeaux, 1999), le diamètre à 1m30 en cm en classes de 5 cm et la hauteur en classes de 0,5 mètres (tableau 7).

2.1.1.1.1.1 Diamètre du tronc à hauteur de sein (1mètre 30) en Cm																	
		25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Hauteur de Trocn (en mètre)	2	0,00	0,00	0,01	0,11	0,27	0,45	0,65	0,87	1,10	1,36	1,63	1,92	2,23	2,56	2,91	3,28
	2,5	0,00	0,00	0,06	0,20	0,36	0,54	0,74	0,95	1,19	1,44	1,72	2,01	2,32	2,65	3,00	3,37
	3	0,00	0,02	0,14	0,29	0,45	0,62	0,82	1,04	1,28	1,53	1,80	2,10	2,41	2,74	3,08	3,45
	3,5	0,00	0,11	0,23	0,37	0,53	0,71	0,91	1,13	1,36	1,62	1,89	2,18	2,49	2,82	3,17	3,54
	4	0,09	0,19	0,32	0,46	0,62	0,80	1,00	1,21	1,45	1,70	1,98	2,27	2,58	2,91	3,26	3,63
	4,5	0,18	0,28	0,40	0,55	0,71	0,88	1,08	1,30	1,54	1,79	2,06	2,36	2,67	3,00	3,34	3,71
	5	0,26	0,37	0,49	0,63	0,79	0,97	1,17	1,39	1,62	1,88	2,15	2,44	2,75	3,08	3,43	3,80
	5,5	0,35	0,45	0,58	0,72	0,88	1,06	1,26	1,47	1,71	1,96	2,24	2,53	2,84	3,17	3,52	3,89
	6	0,44	0,54	0,66	0,81	0,97	1,14	1,34	1,56	1,80	2,05	2,32	2,62	2,93	3,26	3,60	3,97
	6,5	0,52	0,63	0,75	0,89	1,05	1,23	1,43	1,65	1,88	2,14	2,41	2,70	3,01	3,34	3,69	4,06
	7	0,61	0,72	0,84	0,98	1,14	1,32	1,52	1,73	1,97	2,22	2,50	2,79	3,10	3,43	3,78	4,15
	7,5	0,70	0,80	0,92	1,07	1,23	1,40	1,60	1,82	2,06	2,31	2,58	2,88	3,19	3,52	3,86	4,23
	8	0,78	0,89	1,01	1,15	1,31	1,49	1,69	1,91	2,14	2,40	2,67	2,96	3,27	3,60	3,95	4,32
	8,5	0,87	0,98	1,10	1,24	1,40	1,58	1,78	1,99	2,23	2,48	2,76	3,05	3,36	3,69	4,04	4,41
	9	0,96	1,06	1,18	1,33	1,49	1,67	1,86	2,08	2,32	2,57	2,84	3,14	3,45	3,78	4,12	4,49
	9,5	1,04	1,15	1,27	1,41	1,57	1,75	1,95	2,17	2,40	2,66	2,93	3,22	3,53	3,86	4,21	4,58
	10	1,13	1,24	1,36	1,50	1,66	1,84	2,04	2,25	2,49	2,74	3,02	3,31	3,62	3,95	4,30	4,67
10,5	1,22	1,32	1,44	1,59	1,75	1,93	2,12	2,34	2,58	2,83	3,10	3,40	3,71	4,04	4,39	4,75	
11	1,30	1,41	1,53	1,67	1,83	2,01	2,21	2,43	2,66	2,92	3,19	3,48	3,79	4,12	4,47	4,84	
11,5	1,39	1,50	1,62	1,76	1,92	2,10	2,30	2,51	2,75	3,00	3,28	3,57	3,88	4,21	4,56	4,93	
12	1,48	1,58	1,70	1,85	2,01	2,19	2,38	2,60	2,84	3,09	3,36	3,66	3,97	4,30	4,65	5,01	

Tableau 7 : Le tarif de cubage pour les troncs de chêne (volume en m³).

Discussion :

Le tarif préparé nous permet de calculer le volume de tronc et en conséquence de considérer cette variable dans l'étude de la productivité des arbres. Une partie de la croissance des arbres est stockée annuellement dans le tronc, et c'est aussi une source de bois de feu, ce tarif permet donc de mesurer le gisement de biomasse stockée dans tronc.

Le seul tarif préparé sur les troncs de ragosse, est celui de la DDAF (Pivot et al. 1995), il a été établi en mesurant le diamètre des troncs à deux niveaux, à hauteur de 1 m 30 et à demi hauteur de l'arbre. En comparaison, notre tarif est plus robuste, du point de vue de la méthode et la taille de l'échantillonnage. Nous avons établi notre tarif en mesurant 144 ragosses de chêne avec la méthode de billons successifs (mesure de diamètre à billons de 1 mètre) tandis que le tarif de DDAF a été établi en mesurant 134 chênes et châtaigniers, et que seulement deux mesures de diamètre ont été effectuées.

3.2 La production de la biomasse des branches des arbres :

Dans les 39 haies recensées, la biomasse des branches de 183 arbres a été estimée à partir de la mesure de la circonférence de 15077 branches en appliquant le tarif établi pour les branches (paragraphe 2.4.1). La production totale des branches de ces 183 arbres a été estimée à 60 tonnes et la production annuelle à 5,2 tonnes (Tableau 8). Parmi ces 183 arbres étudiés, 37 arbres sont isolés.

La moyenne de la production de la biomasse annuelle par arbre est 28,4 Kg, pour les arbres isolés la biomasse annuelle est significativement supérieure à celle des arbres non isolés.

	Nombre d'Arbres	Nombre de Branches	Biomasse totale des branches (en Kg)	Biomasse annuelle (en Kg)	Moyenne de biomasse annuelle (en Kg)
Arbre Isolé	37	3157	13387	1134	30,6
Arbre non Isolé	146	11920	46720	4065	27,8
Total	183	15077	60107	5199	28,4

Caractère des haies étudiées	Totale	Moyenne	Maximum	Minimum
Longueur des Haies (en mètre)	3298	86	234	18
Nombre d'Arbre dans les haies	183	5	11	1

Tableau 8: les caractéristiques générales de 39 haies étudiées

Discussion :

Nous avons estimé la production de biomasse des branches de chênes émondés à 28,4 Kg/an par arbre en moyenne (avec une variance de +/- 9,3 kg). Ce chiffre a été comparé à des résultats obtenus précédemment, mais avec d'autres méthodes.

- Bazin et Chevallier (1985) en étudiant les trois espèces d'arbres (chêne, châtaignier et orme) conduites en têtard (émonde) en Basse-Normandie, ont trouvé une productivité de 23 kg/an par arbre, soit une production de 0,32 tonnes pour un arbre émondé au bout de 14 ans).
- Hesse (1997) en utilisant une méthode basée sur l'utilisation du vademecum du forestier sur la commune de Combourg en Bretagne, a estimé la production annuelle à 8 Kg par arbre et par an.
- L'Association Aile (2007) estime qu'une haie de 15 ragosses sur 100 mètres en Bretagne, produit 9 MAP (mètre cube apparent) en 10 ans soit 13 Kg par arbre et par an.
- Coutel (1991) en mesurant la circonférence de chaque brin de charme (têtard) en Avenois estime qu'un charme isolé produit 42 Kg par an et non isolé 25 Kg par an.

Parmi ces différentes études, en terme de méthode, notre étude est très semblable à celle de Coutel, mais les essences et le type de traitement de deux études sont différentes.

L'étude de Hesse a été faite près de notre site d'étude, sur le même mode de traitement de chêne (ragosse) mais en utilisant les données de Vade-Mecum forestier, c'est à dire une méthode indirecte. Le résultat qu'il a obtenu est loin de notre estimation et loin d'autres études comme celle d'Aile ou de Bazin et Chevallier.

Il semble que l'utilisation des données de VADE-MECUM forestier n'est pas adaptée aux arbres émondés. Ces différents résultats soulignent la forte incertitude des mesures réalisées au niveau de l'arbre. On peut penser qu'il y a une grande différence de croissance entre les branches d'arbres d'un peuplement forestier et celles d'arbres d'émonde. Notre méthode en établissant un tarif à partir de branches d'arbres du bocage serait donc plus proche de la réalité, et donne une meilleure estimation de la production, qui se rapproche des résultats trouvés par Coutel pour le charme.

3.3 Calcul de biomasse des branches à un âge identique (12 ans)

Le graphe ci-dessous représente les résultats bruts de la biomasse des branches des arbres de chêne en fonction de la durée depuis le précédent émondage. La variabilité des mesures de tout phénomène biologique est ici bien évidente.

Il y a une différence significative entre les individus en fonction de l'âge (test d'Anova entre différents groupes d'arbres selon l'âge d'émondage, $P=0,018$) et il y a même aussi des différences entre les individus ayant un âge identique (Figure 6).

Les données nous montrent que l'âge des échantillons qui s'échelonne de 7 à 16 ans, est un facteur de variabilité. Nous allons donc, supprimer cette cause de variabilité, en ramenant tous les individus au même âge selon la méthode décrite ci-dessous :

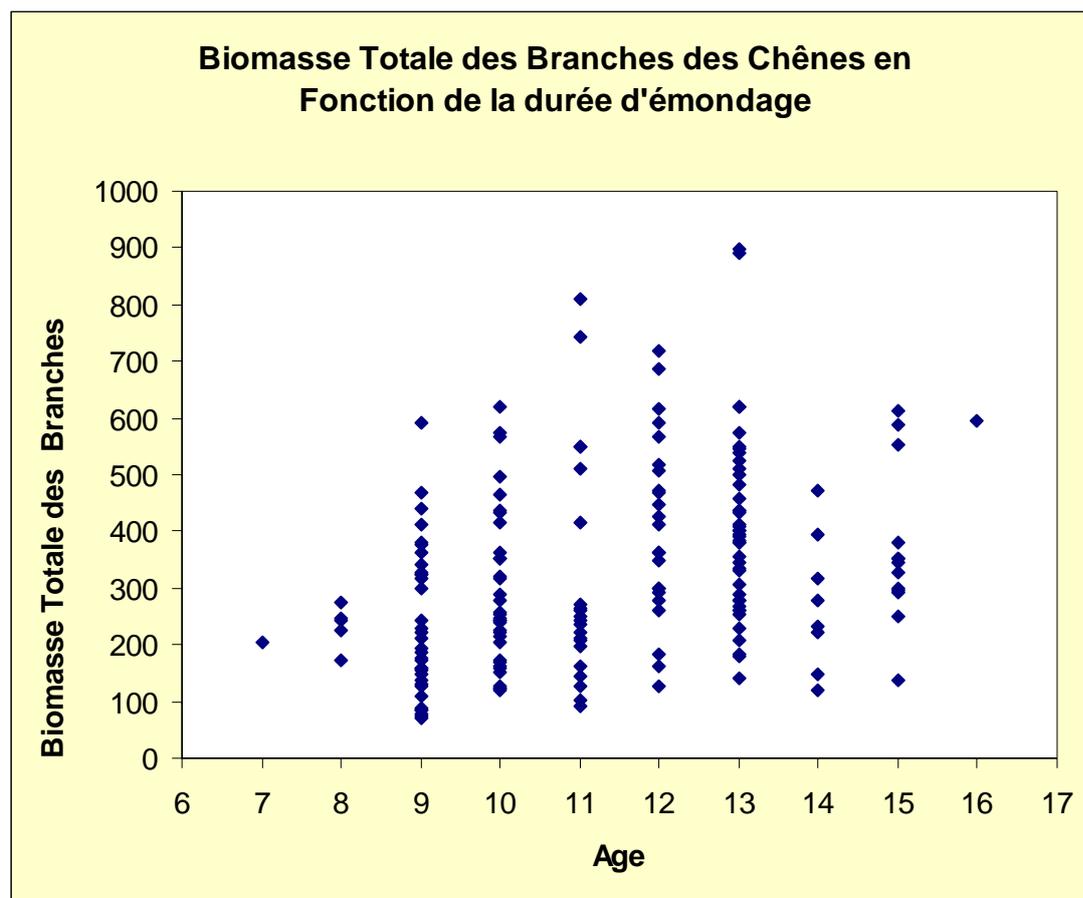


Figure 6: Biomasses des branches des arbres de chêne en fonction de la durée d'émondage

3.3.1 Partitionnement et distribution de la biomasse dans différentes parties de l'arbre:

La croissance et la productivité des arbres varient en fonction de l'âge de l'arbre (Kozlowski, Kramer et al. 1991; Bartelink 1998). Ce principe est également valable pour la distribution de la biomasse dans les différentes parties de l'arbre. Cette accumulation de la biomasse dans différentes parties de l'arbre (tronc, branche, racine, feuilles....) varie également au cours du temps.

Dans les vieux arbres, plus de biomasse est stockée dans le tronc et proportionnellement moins dans les branches et le système racinaire. Bartelink a montré ce principe pour le hêtre (Figure 7) et les sapins de Douglas et Ovington ainsi que pour le Pin sylvestre (Ovington 1957; Bartelink 1998).

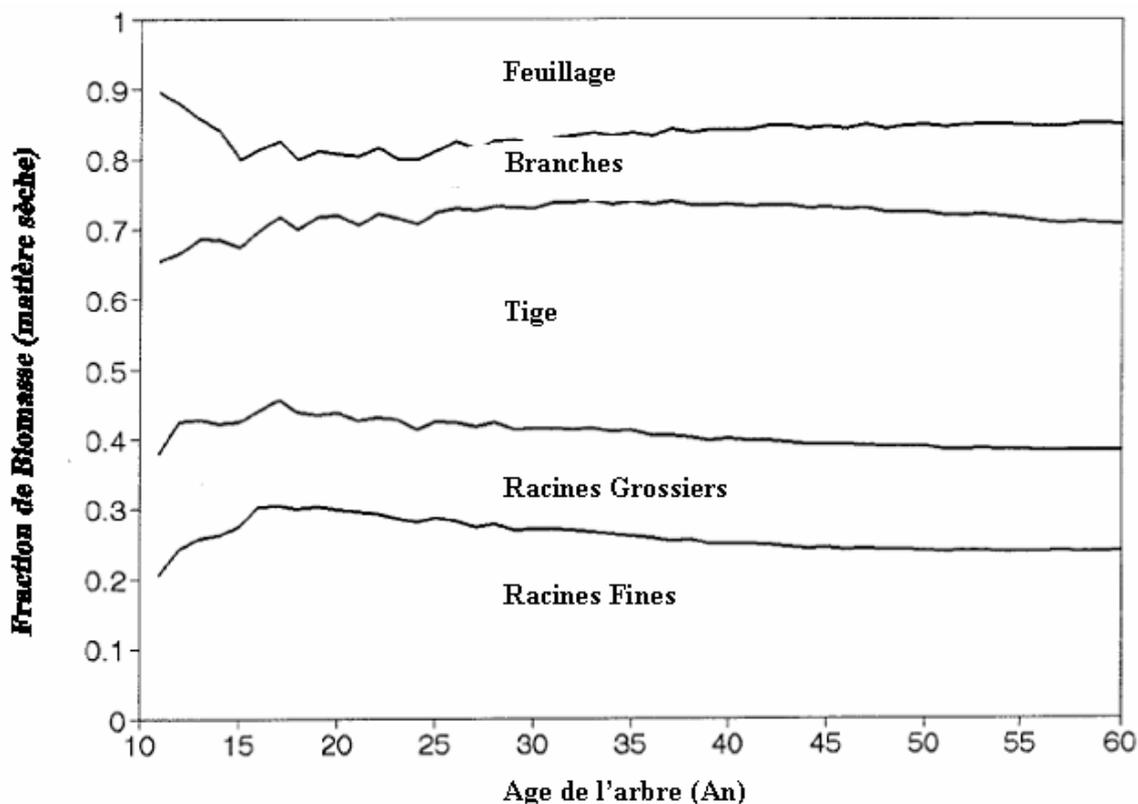


Figure 7: La distribution de la biomasse sec dans différents parties du Hêtre (Bartelink 1998)

Cette distribution a été l'objet de nombreuses études :

- ✓ Wang a étudié l'accumulation de biomasse dans les différentes parties du tremble (*Populus tremula*), et il a montré qu'elle augmente plus dans le tronc que dans les branches (Wang, Zhong et al. 1995).
- ✓ Dans un peuplement de *Pinus radiata*, l'accumulation de biomasse dans les branches est stable (23% d'accumulation totale) au cours du temps (la durée de 12 ans) et en fonction de l'éclaircie du peuplement, tandis que la biomasse accumulée dans le tronc augmente de 35% à 60% (Beets and Pollock 1987).
- ✓ Pour le Sapin de Douglas (*Pseudotsuga menziesii*) et le hêtre (*Fagus sylvestris*), Bartelink a noté que l'investissement de biomasse augmente dans les branches au cours du temps, tandis que l'accumulation de la biomasse dans les troncs (croissance de diamètre) est stable en fonction de l'âge (Bartelink 1998).

Dans notre problématique, l'effet de l'émondage sur la croissance du chêne et l'accumulation de la biomasse dans les branches sont décisifs. Sachant que l'émondage des

chênes élimine souvent, toutes les branches de l'arbre et donc l'appareil foliaire, son pouvoir de photosynthèse et sa croissance diminuent énormément.

Guibal a examiné l'effet de l'émondage sur la croissance des chênes en étudiant l'épaisseur des cernes de chêne. Il a constaté que l'épaisseur des cernes de troncs (qu'on peut considérer comme la croissance du tronc) est fortement diminué après l'émondage (Guibal and Bernard 2002).

- ✓ Chandrashekara (2007) a montré que l'effet de l'émondage sur la production en biomasse de dix espèces arborées feuillues en Inde (*Ailanthus triphysa*, *Albizia odoratissima*, *Artocarpus hirsutus*, *Bombax malabarica*, *Bridelia crenulata*, *Erythrina indica*, *Grewia tiliifolia*, *Macaranga peltata*, *Terminalia paniculata* and *Xylia xylocarpa*), varie d'une espèce à l'autre. Il a trouvé que l'émondage diminue la croissance annuelle de la tige pour toutes les espèces, mais le comportement de chaque espèce est lié à la sévérité de l'émondage. Par contre la production annuelle des feuilles et des branches de ces espèces est nettement plus importante pour les émondés que pour les arbres non émondés.
- ✓ Pink et Beadle ont étudié les effets de l'élagage partiel des branches vivantes sur la répartition de la biomasse aérienne d'une plantation d'*Eucalyptus nitens* (Deane and Maiden date) âgée de 3 ans. L'élagage a réduit la longueur et le diamètre des branches dans la partie supérieure de la cime (Pinkard and Beadle 1998).

En tenant compte de ces études, on peut affirmer que :

- ❖ La croissance d'un arbre varie au cours du temps.
- ❖ L'accumulation et la distribution de la biomasse dans différentes parties de l'arbre ne sont pas homogènes.
- ❖ Cette différence se crée en fonction de l'âge de l'arbre, essence, types de traitement (émondage, élagage).
- ❖ L'émondage et l'élagage ont aussi des effets importants sur cette distribution qui sont liés à la sévérité de traitement et de type d'espèce.

Nous n'avons pas trouvé sur le terrain suffisamment d'arbres ayant une durée d'émondage identique en respectant toutes les critères d'échantillonnage. Il a donc fallu échantillonner des arbres dont les branches ont des âges différents. Mais la variabilité de la biomasse des arbres (en fonction de l'âge de branches) ne nous permet pas de faire la comparaison entre les individus.

Afin de supprimer ce facteur non souhaité et de pouvoir comparer les individus entre eux, nous avons dû ramener l'ensemble des individus à l'âge médian de 12 ans. Pour ce faire, nous devons calculer une droite de régression qui traverse le nuage de points des données brutes. Mais quelle origine doit-on prendre? Quelques rappels nous ont aidé à trouver une solution.

3.3.2 Définition de la notion d'accroissement :

Si un individu a une biomasse de 180 kilogramme à 12 ans, l'accroissement moyen annuel est obtenu en divisant la biomasse par le nombre d'années des branches, soit $180 / 12 = 15$ Kg. Cet accroissement peut être exprimé en unité de diamètre, de surface terrière, de hauteur ou en unité de volume, cas fréquent chez les forestiers.

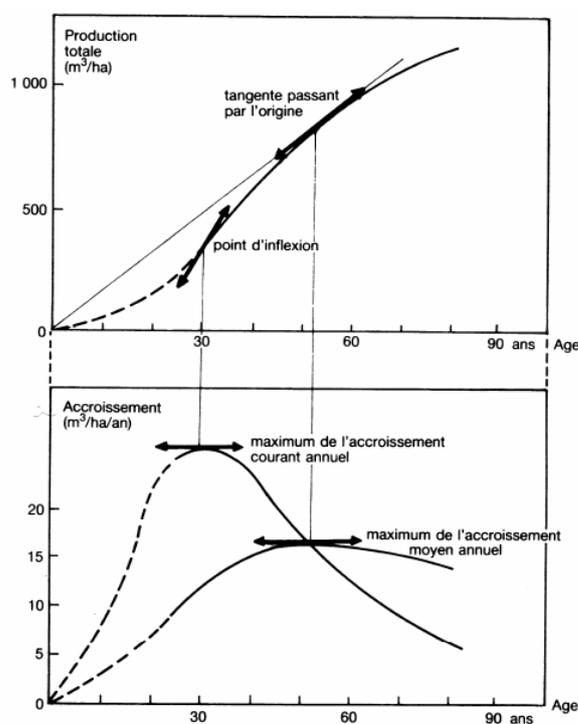
L'accroissement courant annuel est défini en étudiant le rapport de la dérivée de la production totale « d (PT) » sur la dérivée de l'âge « d (âge) » :

$$AC = \frac{dPT}{d(Age)}$$

Le plus souvent $d(Age)$ est 1 an, dans ce cas, on parle d'accroissement courant annuel ou la productivité de l'individu.

Les valeurs peuvent avoir des écarts importants ; Décourt a mesuré pour l'Epicéa, à 80 ans, un accroissement moyen annuel de 10 mètres cubes par hectare par an, tandis que l'accroissement courant annuel est de 14 mètres cubes par hectare par an pour la période de 60 à 65 ans (dans Pardé et Bouchon, 1982).

« Les courbes de production et d'accroissement sont analytiquement liées, nous noterons que le maximum de l'accroissement moyen annuel se place au moment où elle coupe la courbe de l'accroissement courant annuel, il y a égalité des deux accroissements à cet âge, qui correspond aussi à l'instant où l'on peut mener la tangente à la courbe de la production totale passant par l'origine des coordonnées. » (Pardé and Bouchon 1982). Nous sommes ici à l'âge de 52 ans (figure 8).



CA

Ces principes sont valables pour les essences arborescentes. Nous avons à faire dans ce travail à des individus (les branches) qui sont âgés de 12 ans plus ou moins 3 ans.

3.3.3 La transformation des données brutes pour les ramener à un âge identique.

Les équations utilisées pour la transformation des données :

Pour tenir compte de l'accroissement total des branches, nous avons cherché une méthode qui nous permette de ramener les valeurs de biomasse des 184 arbres d'âges différents à 12 ans. Les faibles écarts d'âge (6ans) sur lesquels nous travaillons, nous permettent de chercher une droite de régression.

Une courbe de régression a été établie entre la biomasse totale des branches des individus (arbres émondés de chêne) et la durée depuis le dernière émondage. L'équation calculée pour la biomasse totale est :

$$Y = -68,1 + 34,5 * X$$

Y= Biomasse totale des branches

X= La durée d'émondage

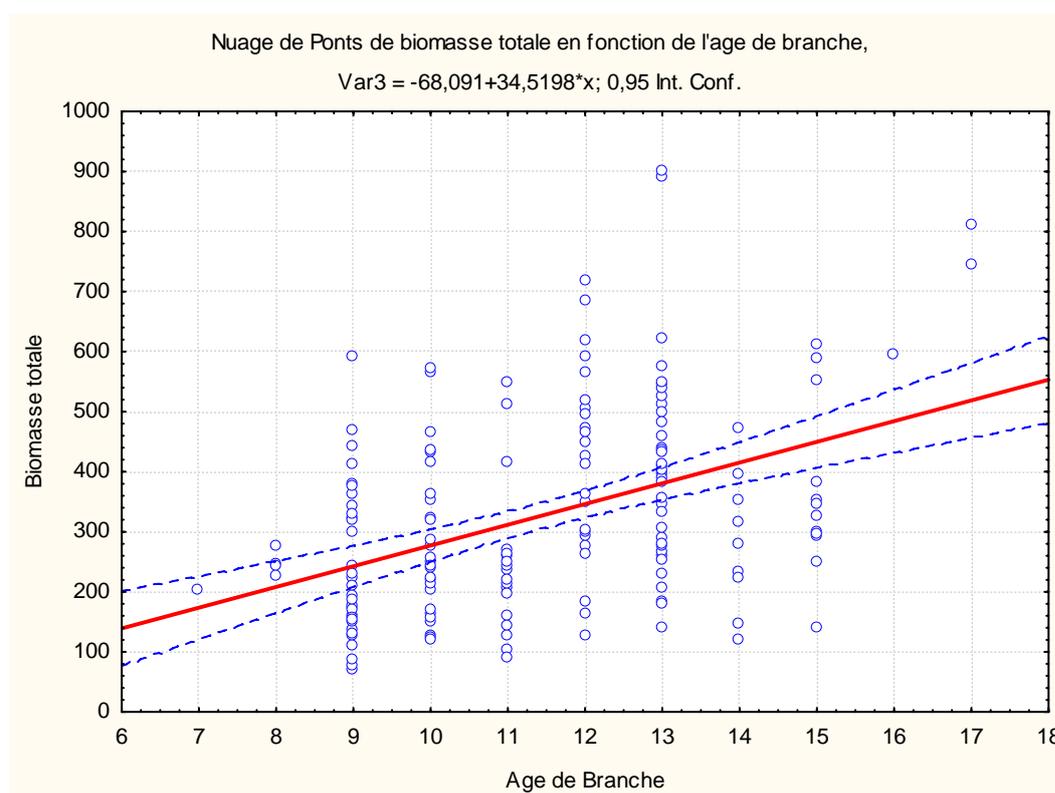
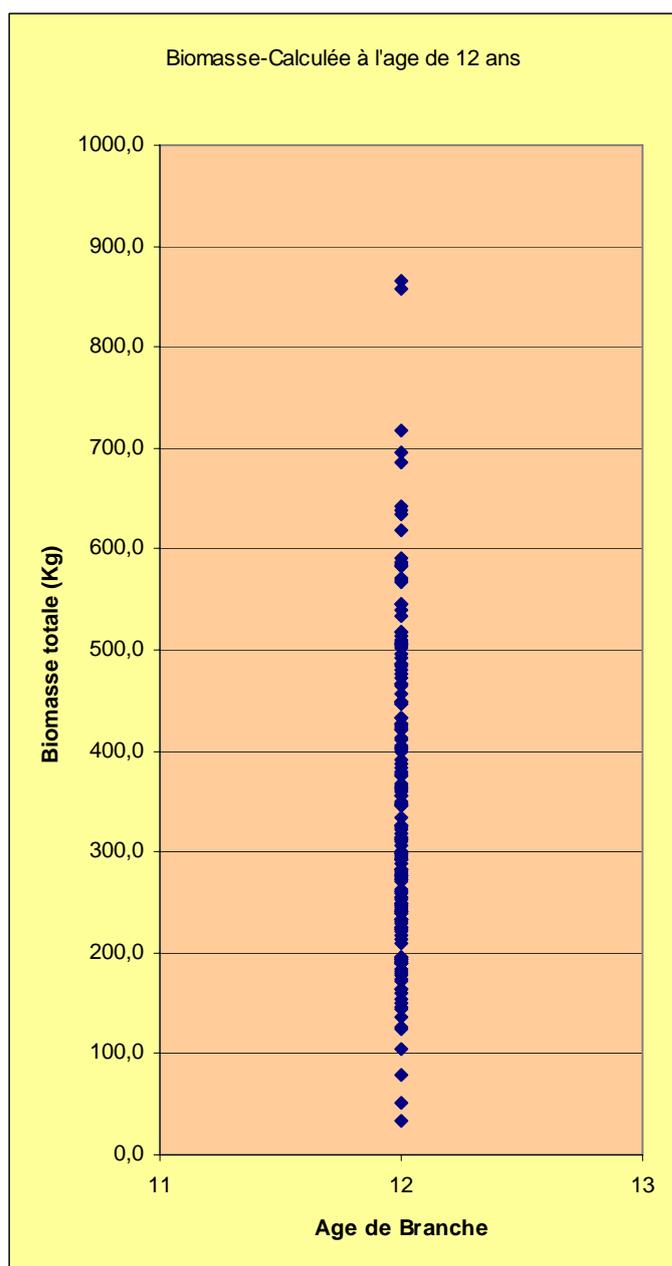


Figure 9 : La distribution des arbres (la biomasse des branches) en fonction de l'âge des branches

Pour transformer les valeurs des individus de 10 ans, nous leur ajouterons 2 fois 34,5 Kg et pour les individus de 14 ans par exemple, nous leur enlèverons deux fois 34,5 Kg.

Cette équation ne passe pas par l'origine (figure 9), elle traduit la pente de la courbe d'accroissement.

Nous pouvons maintenant réaliser un nouveau tableau en procédant de la façon *mutatis mutandis* de l'exemple cité par Pardé, où toutes les valeurs sont ramenées à l'âge de 12 ans et les effets de la variable âge sont éliminés. Nous obtenons ainsi des données comparables pour la biomasse totale des branches des 184 chênes.



Si on compare ce graphe avec celui des données brutes, les valeurs qui s'échelonnaient de 70 Kg à 900 Kg, sont maintenant comprises entre 53 et 864 Kg.

A partir de ces valeurs et en supprimant la variabilité liée à l'âge, nous pouvons comparer les individus et étudier le rôle des facteurs écologiques.

Figure 10 : Valeurs des biomasses des Chênes à 12 ans.

3.4 Relation entre la production de biomasse et les caractères des arbres (hauteur, diamètre, volume)

Dans une première étape, on a essayé de comprendre la relation qui existe entre la biomasse des arbres et leurs caractéristiques.

Le coefficient de corrélation de Pearson permet d'étudier l'existence d'une telle relation entre deux ou plus de variables.

Le tableau N° 9 montre le résultat de ce test sur les variables étudiées.

Toutes les corrélations sont significatives (valeur de $P < 0,00010$), mais la biomasse annuelle des branches est plus corrélée avec le volume des troncs (le coefficient de corrélation pour le volume = 0.63) qu'avec les autres variables (le diamètre et la hauteur), (tableau 9).

	Biomasse Annuelle	Hauteur	Diamètre à 1m30
Hauteur	0.378		
Diamètre	0.589	0.516	
Volume de Tronc	0.632	0.758	0.881

Tableau N° 9: Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des arbres et leur biomasse annuelle.

Dans une deuxième étape, par l'utilisation des analyses de régression linéaire sous le logiciel Minitab (Minitab, 2007), on a étudié les liens entre différents caractères des arbres et la production de biomasse des branches, (tableau 10).

	Biomasse annuelle en relation avec variable de :	R carré	Coefficient	Valeur de P
1	Hauteur	14,3%	2,9	0,00
2	Diamètre	34,7%	0,65	0,00
3	Volume	40,0%	11,3	0,00

Tableau 10: Relations entre la biomasse annuelle et des variables explicatives reliées aux arbres.

Quand on étudie les variables explicatives, il y a une relation forte entre la biomasse annuelle et chaque variable, autrement dit, les arbres plus hauts ou plus gros (volume ou diamètre) produisent plus de biomasse (ligne 1,2 et 3 de tableau au-dessus).

3.5 L'effet de la compétition sur la productivité des ragosses:

L'intervalle qui sépare les arbres a des effets sur la croissance et la forme de l'arbre et de son houppier, les arbres isolés ont un houppier largement plus développé que les arbres situés dans une haie dense. Ceci a un impact sur la croissance des arbres, car pour les arbres isolés, l'énergie lumineuse est distribuée sur une surface d'échange supérieure à celle d'un arbre en compétition.

Afin d'étudier l'effet de la distance sur la production de biomasse annuelle des arbres, on a mesuré la biomasse des branches de 37 arbres isolés. D'autre part, pour avoir une idée claire du seuil de compétition, on a mesuré la largeur et la longueur des canopées de tous les arbres.

3.5.1 Effet de voisinage sur la taille du houppier (la largeur et la longueur)

Afin de comprendre l'effet de la compétition sur les arbres, on a comparé la taille de la largeur des houppiers des arbres (au long de la haie) de deux groupes, les arbres isolés et les arbres en compétition à l'aide d'une analyse de variance.

Les résultats du test d'ANOVA, nous montrent que la largeur du houppier des arbres en compétition, est significativement plus faible que la largeur du houppier des arbres isolés (la valeur de P est 0,00). Par contre il n'y a pas de différence entre la largeur et la longueur du houppier des arbres isolés et la longueur des arbres en compétition (tableau 11).

On peut dire que le rayon dans lequel un chêne d'émonde peut croître sans aucun effet latéral des arbres voisins (compétition) est égal au maximum de la longueur du houppier, c'est à dire 8,1 mètres.

	Nombre	Moyenne	Ecart Type
Largeur du Houppier Isolé	32	7,666	1,588
Longueur du Houppier Isolé	32	8,113	1,64
Longueur du Houppier non Isolé	142	8,053	1,641
Largeur du Houppier non Isolé	142	6,401	1,314

Tableau 11: Caractéristiques des houppiers des arbres isolés et des arbres en compétition.

3.5.2 Détermination du seuil de compétition des arbres

Dans nos échantillons, il y a quelques arbres au début ou à la fin des haies qui peuvent ne pas être en compétition quand la haie n'est pas connectée à un autre élément boisé.

Pour bien distinguer les arbres totalement en compétition des autres, il faut identifier un seuil de distance entre deux arbres en deçà duquel la compétition apparaît.

Dans le paragraphe précédent (3.5.1) nous avons trouvé que dans un rayon de 8,1 mètres, les houppiers des chênes émondés sont librement développées, c'est à dire que la largeur ou la longueur maximum des houppiers est 8,1 mètres quand l'arbre est isolé et il n'y a pas d'effet de voisinage. Donc les arbres en compétition (non isolés) sont ceux ayant un intervalle moyen inférieur de 8,1 mètre de deux côtés.

3.5.3 Effets de l'isolement (ou compétition) sur la production de biomasse et d'autre caractéristiques des arbres ragosses:

Afin de comprendre l'effet de la compétition sur les caractéristiques des ragosses, nous avons classifié tous les arbres échantillonnés selon leur distance à l'arbre le plus proche des deux côtés.

Le résultat du test d'Anova entre les classes d'arbres (classe 1= arbres isolés «ayant une distance plus de 8,1 mètre de deux cotés » et classe 2= les arbres non isolés «les arbres en compétition, ayant une distance inférieure de 8,1 mètres de deux cotés») montre une différence significative ($P=0.016$, résultat de test en annexe 4) entre la production de biomasse des deux types d'arbres (figure 13).

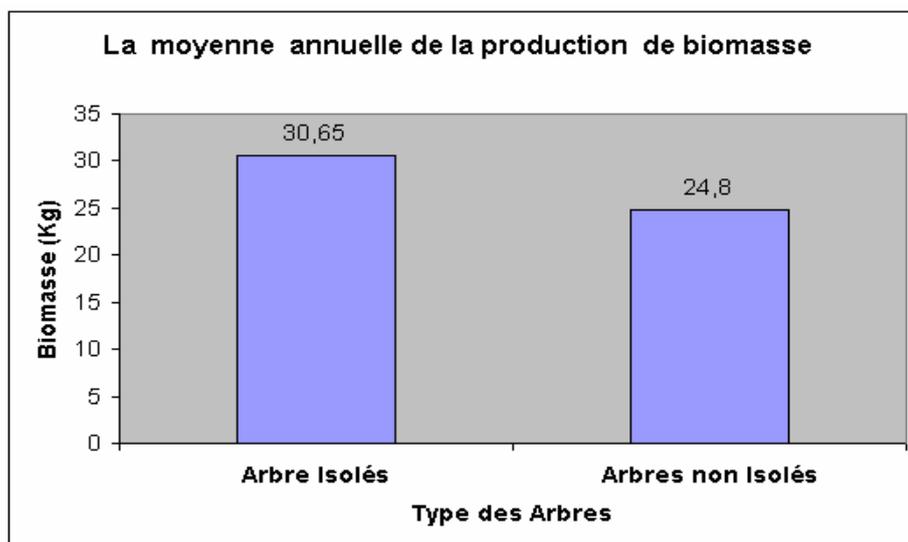


Figure 13: Moyenne annuelle de la production de biomasse des arbres isolés et des arbres non isolés.

Selon nos résultats, les arbres isolés produisent plus de biomasse (30,65 Kg, production de biomasse annuelle par arbre) que les arbres en compétition (24,8 Kg, la production de biomasse annuelle par arbre). Par contre il n'y a aucune différence entre les caractéristiques des arbres (la hauteur, le diamètre et le volume de tronc) dans les deux groupes isolés et non isolés (tableau N° 12).

Variable contrôlée		Arbres Isolés	Arbres non Isolés	Valeur de P
Diamètre	Moyenne	55,8	53,1	0,15
	EcarType	12,4	12,2	
Hauteur	Moyenne	6,4	6,4	0,97
	EcarType	1,7	1,9	
Volume	Moyenne	1,5	1,4	0,21
	EcarType	0,8	0,7	
Biomasse	Moyenne	30,65	24,8	0,001, Sig.
	EcarType	12,9	12,4	

Tableau N°12: Comparaison des caractéristiques des arbres isolés et non isolés (le diamètre, la hauteur et le volume des deux groupes d'arbres ne sont pas différents, en revanche la production de biomasse des arbres isolés est considérablement supérieure à celle des arbres en compétition.)

3.6 Influence de l'occupation du sol des parcelles adjacentes sur la productivité des arbres

Pour évaluer l'effet d'une culture ou d'une prairie dans les parcelles adjacentes à la haie et pour comprendre le rôle éventuel de la fertilisation du sol sur la production de biomasse des arbres, nous avons classifié les arbres échantillonnés dans trois groupes selon le type d'occupation de sol (1-Culture/Culture, 2-Prairie/Prairie et 3-Prairie/Culture). L'analyse de la variance (Anova) a été utilisée pour comparer la production de biomasse annuelle dans ces trois groupes d'arbres.

Le résultat du test d'ANOVA, nous a montré que la production de biomasse annuelle des haies en bordure de prairie est supérieure à celle des haies en bordure des cultures ($P=0,022$) ; il y a aussi une différence significative entre la biomasse des arbres en bordure des cultures et celle des arbres entre une parcelle de culture et une parcelle de prairie ($P<0,034$), la production des arbres en bordure des cultures est la plus faible.

Ce résultat est contraire à ce que nous attendions, en effet les parcelles de culture sont plus fertilisées que les parcelles de prairie, et nous avons posé l'hypothèse que les haies en bordure de cultures devaient produire plus de biomasse.

Pour comprendre ce résultat, nous avons comparé les caractéristiques des arbres en bordure des différents types d'occupation du sol. Nous avons comparé, pour les trois classes d'occupation du sol, le diamètre, la hauteur, le volume de tronc et la biomasse annuelle des arbres de chaque catégorie.

Les résultats nous montrent que les arbres en bordure des cultures sont moins hauts, plus fins et ont moins de gisement (volume), donc naturellement leur capacité de production de biomasse est plus faible ($P=0,022$).

Le tableau 13 représente les résultats de ce test.

		Variable à contrôler							
		Diamètre		Hauteur		Volume		Biomasse	
		Moyenne	Ecar.Typ	Moyenne	Ecar.Typ	Moyenne	Ecar.Typ	Moyenne	Ecar.Typ
Type d'occupation de sol	Culture/Culture	50,3	11,7	5,5	1,4	1,1	0,58	25,2	11,9
	Prairie/Prairie	54,1	12,5	6,7	1,7	1,5	0,82	30,3	13,7
	Culture/Prairie	56,8	12,6	6,4	1,8	1,6	0,76	30,6	13,1
Valeur de P		0,026		0,003		0,003		0,022	
		Sig.		Sig.		Sig.		Sig.	

Tableau 13: Résultats d'analyse d'ANOVA pour détecter les différences entre les caractéristiques des arbres en fonction de différents types d'occupation du sol.

Pour faire la part entre les caractéristiques de l'arbre et l'occupation du sol, nous avons calculé la biomasse produite par unité de volume de tronc, c'est à dire la productivité volumique. L'indice nommé BiAV est calculé en divisant la biomasse annuelle par le volume de tronc:

$$\text{BiAV} = \text{Productivité volumique} = \text{Biomasse Annuelle} / \text{Volume du tronc}$$

On a calculé cet indice pour chaque arbre, ce qui nous permet d'envisager le rôle du gisement du tronc dans la production de biomasse.

Le résultat montre que la production de biomasse par unité de volume du tronc (BiAV) des arbres en bordure de culture est significativement supérieure à celle des arbres en bordure de Prairie /Culture (significative, $P=0,024$), mais il n'y a pas de différence significative avec les arbres en bordure de Prairie/Prairie ($P=0,41$).

3.7 Les liens entre la production de biomasse et les caractéristiques de l'arbre.

L'étude que nous allons mener s'effectue sur un tableau à deux dimensions, où une ligne représente un individu (un chêne d'émonde) et les colonnes les variables. L'ACP permet d'étudier les relations qui existent dans un tableau croisant des individus et des variables caractérisant ces individus. La lecture d'un tableau de données en ACP est double, d'abord une lecture en ligne qui concerne les individus et une lecture en colonne qui concerne les variables.

Pour étudier les relations entre la production de biomasse et les caractéristiques de l'arbre, nous avons utilisé une régression pas à pas, pour trouver les meilleures variables et la méthode d'analyse en composantes principales (ACP) afin de traiter les interactions entre les différentes variables et la production de biomasse.

Les variables utilisées dans l'analyse comme les variables des arbres sont :

- La biomasse annuelle, nommée « BIOM_ANN ».
- La biomasse calculée à l'âge de 12 ans, nommée « BIOM_12a ».
- La hauteur du tronc, nommée « HAUT_TRO ».
- Le volume du tronc, nommé « VOL_TRON ».
- Le diamètre du tronc à hauteur de 1m30, nommé « DIAM_TRO ».
- La surface de la canopée, nommée « SURF_CAN ».

Les méthodes de mesures des variables des arbres et les modalités de chaque variable, sont détaillées au début de ce chapitre, partie « Méthodologie ».

3.7.1 Etudier la variabilité des paramètres liés aux arbres :

L'étude du coefficient de corrélation entre deux variables prises deux à deux permet d'établir les résultats suivants. Ceux-ci sont rassemblés au sein du tableau N° 14.

	Diamètre de Tronc	de Hauteur de Tronc	de Volume de Tronc	de Surface Canopée	de Biomasse annuelle
Hauteur de Tronc	0.5298741	1.0000000			
Volume de Tronc	0.8827424	0.7597903	1.0000000		
Surface de Canopée	0.5462344	0.1562365	0.4616863	1.0000000	
Biomasse annuelle	0.5950208	0.3676747	0.6177618	0.6142192	1.0000000
Biomasse à 12 ans	0.5616873	0.3208690	0.5876208	0.5711004	0.9796522

Tableau N°14 : Matrice des coefficients de corrélation calculés pour les variables dendrométriques prises deux à deux.

Dans un premier temps, il existe une corrélation très forte (0.98) entre les deux types de biomasse présentées, biomasse annuelle et biomasse calculée à l'âge de 12 ans. Rappelons que la deuxième a été calculée afin d'éliminer l'effet de l'âge sur les branches (paragraphe

3.3). Dans l'analyse suivante, nous avons pris en considération les deux variables de biomasse.

Parmi les variables les plus corrélées de l'arbre avec la biomasse, on remarque le volume des troncs (0,617). La surface de la canopée et le diamètre à 1m30 sont aussi très corrélés (0,614 et 0,595 respectivement), mais la hauteur de tronc n'est pas très corrélée ($R=0,367$).

3.7.2 Résultats des axes 1 et 2 du bilan des variables :

Tout d'abord, nous avons fait une ACP (Analyse en Composantes Principales) avec la variable de la biomasse annuelle et les variables des arbres afin d'analyser les relations entre ces variables (figure 14).

Axes	1	2	3	4	5	6
Valeurs propres (variance sur les axes principaux)	3,906	1,112	0,57	0,327	0,060	0,016
Contribution à la variation totale	0,6511	0,1854	0,0962	0,0545	0,0100	0,0028
Contribution cumulative	65,1%	83,6%	93,3%	98,7%	99,7%	100,0%

Tableau N° 15: Analyse des valeurs propres de la matrice de corrélation

Dans la lecture du tableau N° 15, on voit que 83,6% de la variance totale est portée par les deux premiers axes. L'axe 1 présente une contribution de 65,1% à la variation totale et l'axe 2, 18,54% à celle-ci.

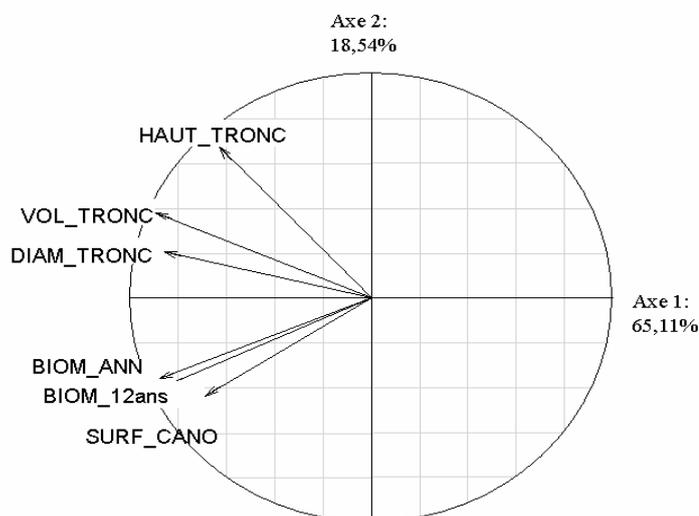


Figure N° 14 : Cercle des corrélations entre différents variables de l'arbre, issue de ACP

D'après les résultats de ce graphe, le diamètre et le volume du tronc, la biomasse annuelle, la biomasse à 12 ans et la surface de canopée sont mieux représentés sur l'axe F1 et la hauteur de tronc est représentée sur l'axe F2.

3.7.3 Interprétation des valeurs des variables sur l'axe 1 de l'ACP:

Dans les graphes suivants (figure 15), on voit la dispersion des valeurs des variables caractérisant les arbres sur l'axe ACP1. Parmi ces valeurs, il nous semble que les valeurs de volume se sont bien étroitement rassemblées autour de l'axe 1 (coefficient de corrélation= 0,62). Les valeurs de diamètre (coefficient de corrélation= 0,59) et de surface de canopée (coefficient de corrélation= 0,61) sont aussi mieux représentées que les valeurs de hauteur (coefficient de corrélation= 0,37).

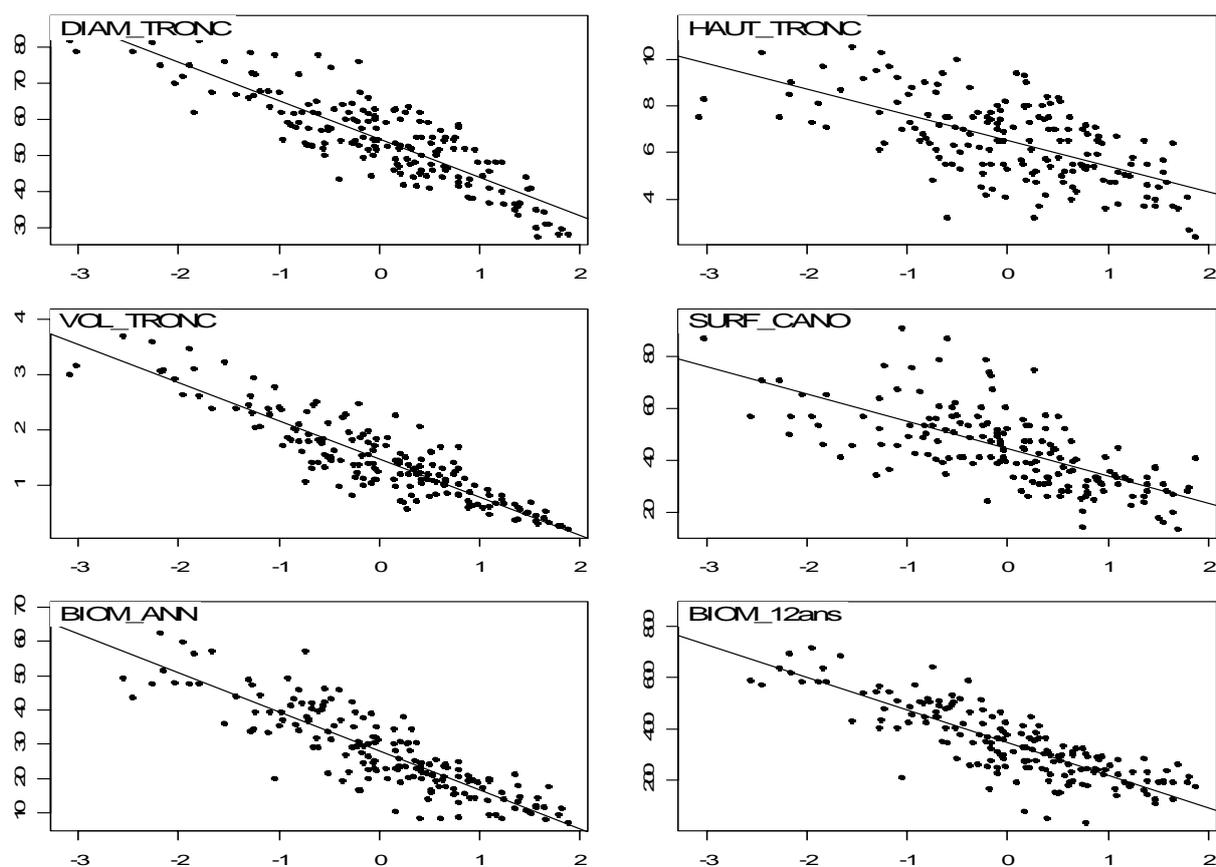


Figure N° 15 : Nuages de projection des valeurs de chacune des variables caractérisant les arbres (axe vertical, 6 variables) sur le premier axe factoriel (F1) de l'ACP (axe horizontal). Ajustement d'une droite de régression (méthode des moindres carrés) montrant le gradient de décroissance progressive de ces variables sur l'axe F1.

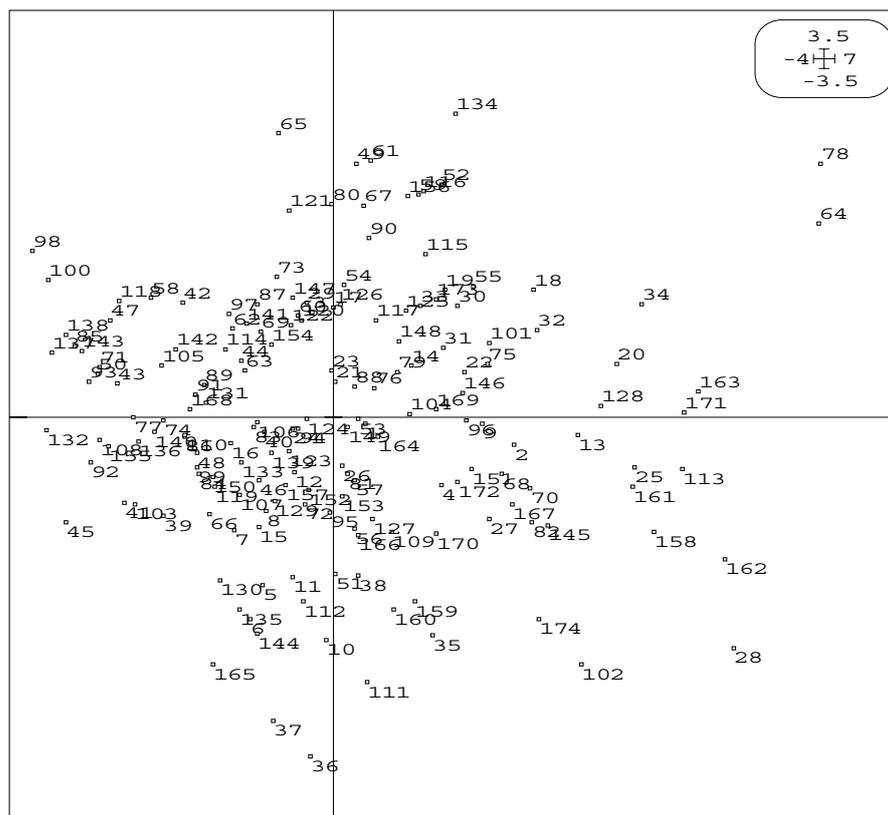


Figure N° 16: Représentation graphique des observations sur les plans factoriels F1&F2 de l'ACP.

3.7.4 Discussion :

La corrélation entre la biomasse et la hauteur des arbres est moins forte que le diamètre et le volume. En fait, la hauteur des arbres d'émonde est déterminée par les agriculteurs. Ces arbres sont des arbres âgés (plus de 80 ans) et qui ont été jusqu'à maintenant entretenus par un traitement traditionnel et régulier (coupe des branches latérales jusqu'au sommet de l'arbre) ; leur hauteur a été limitée par les agriculteurs de manière à faciliter l'émonde et à limiter les risques d'accident au moment de la coupe des branches à l'aide d'une échelle et d'une serpe, et récemment d'une nacelle et d'une tronçonneuse. En tenant compte des mesures effectuées sur 183 émondés, la hauteur de ces arbres varie entre 2,4 mètres jusqu'à 11,5 mètres. La moyenne de l'hauteur de ces arbres est de 6,4 m, avec un écarte-type de 1,77 m.

3.8 Variabilité de la biomasse en fonction des facteurs environnementaux (le rôle des différents facteurs écologiques sur la biomasse des arbres émondes):

Jusque ici nous avons étudié séparément l'effet de l'isolement et du type d'occupation du sol sur la production de biomasse (paragraphe 3.5 et 3.6) sans regarder leur effet conjoint sur la production des arbres. Après avoir défini les différents paramètres dendrométriques des arbres étudiés et les facteurs environnementaux, il est intéressant d'étudier la variabilité de la biomasse issue de ces facteurs et des relations entre eux.

Afin d'examiner l'effet de différents facteurs écologiques et celui du milieu sur la productivité des arbres, deux méthodes d'analyses multivariées (ACP et RDA) vont être utilisées.

Nous voudrions étudier les relations entre les caractéristiques des arbres et les facteurs environnementaux qui sont présentés, chacun de ces deux ensembles constituant un tableau de données distinct. Nous avons déjà étudié les relations entre les variables liées à l'arbre (les caractéristiques des arbres) à l'aide de l'ACP. Dans cette étape l'idée est donc d'examiner quantitativement la relation qui existe entre deux matrices de données, celle qui décrit les arbres et celle qui décrit les variables environnementales.

Parmi les différentes méthodes d'analyse multivariée proposées dans la littérature statistique, la RDA (analyse de redondance) est devenue l'une des méthodes les plus employées par les écologistes (Jongman et al. 1995).

Dans l'analyse de redondance, deux tableaux des données sont considérés. Le premier tableau (Y) contient les variables-réponse (par exemple les caractéristiques des arbres étudiées) alors que le second (X) contient les variables explicatives (par exemple les variables environnementales). La RDA est basée sur la régression multiple $Y = f(X)$ entre les variables à expliquer (tableau Y) et les variables explicatives (tableau X). Si nécessaire, l'utilisation de la régression pas à pas permet de hiérarchiser l'importance des variables environnementales dans l'explication des variables biologiques (« Conditional and marginal effects »). Des tests de permutation de Monte-Carlo permettent de mesurer la significativité de la RDA (Lepš et Šmilauer 2003).

Les variables considérées comme facteurs environnementaux sont :

- La distance minimale entre les arbres, nommée « CDIST_MI ».
- La fréquence de prairie (L'abondance relative des prairies dans le paysage), nommée « FREQ_PRA ».
- La présence de fossé, nommée « FOSSE ».
- L'orientation de la haie, nommée « ORIENT ».
- La présence de talus, nommée « TALUS ».
- La section de talus, nommée « SECT_TAL ».
- L'occupation du sol des parcelles adjacentes, nommée « OCSOL ».
- La profondeur de sol, nommée « PROFSOL ».
- Le type de matériau géologique, du sous sol, nommé « GEOL ».

Les méthodes de mesures des paramètres environnementaux et les modalités de chaque variable, sont détaillées au début de ce chapitre, dans la partie « Méthodologie ».

3.8.1 Choix du modèle d'analyse des données:

En deuxième étape, nous avons cherché à connaître la variabilité de la biomasse des arbres reliée (expliquée) par les facteurs environnementaux qui constituent ici les variables explicatives (les facteurs environnementaux, ont été décrits dans la partie méthodologie).

D'abord, on a fait un test de DCA (Detrended Correspondance Analysis) pour découvrir comment sont réparties les variables des arbres (les variables des arbres ont été nommées dans la partie méthodologie). Cette méthode nous permet de savoir quel modèle ou méthode d'analyse est le plus pertinent. Il s'agit ici de vérifier si les données des arbres seront expliquées par des modèles linéaires (auquel cas, on aura recours à une RDA) ou des modèles unimodaux (auquel cas, on emploiera une CCA) (Lepš et Smilaur, 2003).

Axes	1	2	3	4
Valeur Propre	0,023	0,005	0,001	0,00
Longueurs de gradients	0,924	0,327	0,108	0,186
Contribution cumulative à la variation	76,7%	92,0%	94,2%	95,7%

Tableau N° 16: le résultat de DCA test.

Si on calcule l'écart-type des longueurs de gradients, il est de 0,36977865. Tous les gradients ont une longueur inférieure à 3 fois l'écart-type ($3 \times 0,36977865 = 1,10933595$), donc, on peut utiliser une RDA pour relier les données environnementales et les données des arbres (Braak and Smilauer 2002).

3.8.2 Test de significativité du modèle sélectionné:

On utilise le test de Monte-Carlo pour vérifier la significativité de modèle RDA.

Les résultats du test nous ont confirmé que la RDA est significative pour les valeurs propres aussi bien que pour les axes (tableau N° 17).

	Valeur de P	F	Valeur(s) propre(s)
Premier axe	0,0020	43,511	0,212
Tous les axes	0,0020	4,418	0,214

Tableau N° 17: Les résultats de test de Monte-Carlo

D'autre part, ce test nous a montré qu'au total, 21,4% de la variance de la biomasse est expliquée par les variables environnementales (tableau N° 18).

Avec la méthode de RDA, 98,8% de la relation entre variables environnementales et celles des arbres est exprimée et présentée sur l'axe 1.

Axe	1	2	3	4
Valeur propre	0,212	0,002	0,000	0,000
Corrélations Arbres- Environnement	0,463	0,484	0,338	0,476
Cumul valeurs propres	21,2	21,4	21,4	21,4
Pourcentage de la relation Arbre- environnement	98,8	99,8	100,0	100,0

Tableau N° 18: Parts de la variabilité des données « Arbres » expliquées par les facteurs environnementaux.

3.8.3 Interprétation de la variabilité de la biomasse des arbres en relation avec les facteurs environnementaux, à l'aide d'une Analyse de Redondance (RDA).

Les résultats ci-dessous présentent les variables environnementales ayant des effets significatifs sur la biomasse des arbres (tableau N° 19).

La variable la plus importante est la distance minimale entre les arbres ($\lambda=0,06$) la seconde est la fréquence des prairies ($\lambda=0,05$), puis la présence ou l'absence de fossé.

La dernière variable ayant un effet significatif mais plus faible sur la biomasse est la section du talus. Les autres variables (le sous sol, l'orientation et la profondeur de sol) n'ont pas d'importance significative (tableau N° 19).

N°	Variable	Lambda	Valeur de P	F
1	Distance Minimale	0,06	0,001	10,89
2	Fréquence de Prairie	0,05	0,001	9,170
3	Présence de fossé	0,06	0,002	12,60
4	Section de Talus	0,02	0,030	4,270
5	Présence de Talus	0,01	0,107	2,390
6	Occupation de Sol	0,01	0,264	1,280
7	Sous sol	0,00	0,459	0,550
8	Orientation	0,00	0,576	0,330
9	Profondeur de Sol	0,00	0,566	0,340

Tableau N° 19: Variables environnementales ayant des effets sur la biomasse des arbres (= « conditional effects » de la RDA, c'est-à-dire influence de chaque variable connaissant celles des variables précédemment prises en compte).

Le graphe suivant (N° 19) illustre les résultats de la RDA contenant les relations entre les variables de l'environnement et les variables des arbres (les variables numériques sont des vecteurs et les variables nominales sont représentées par des triangles).

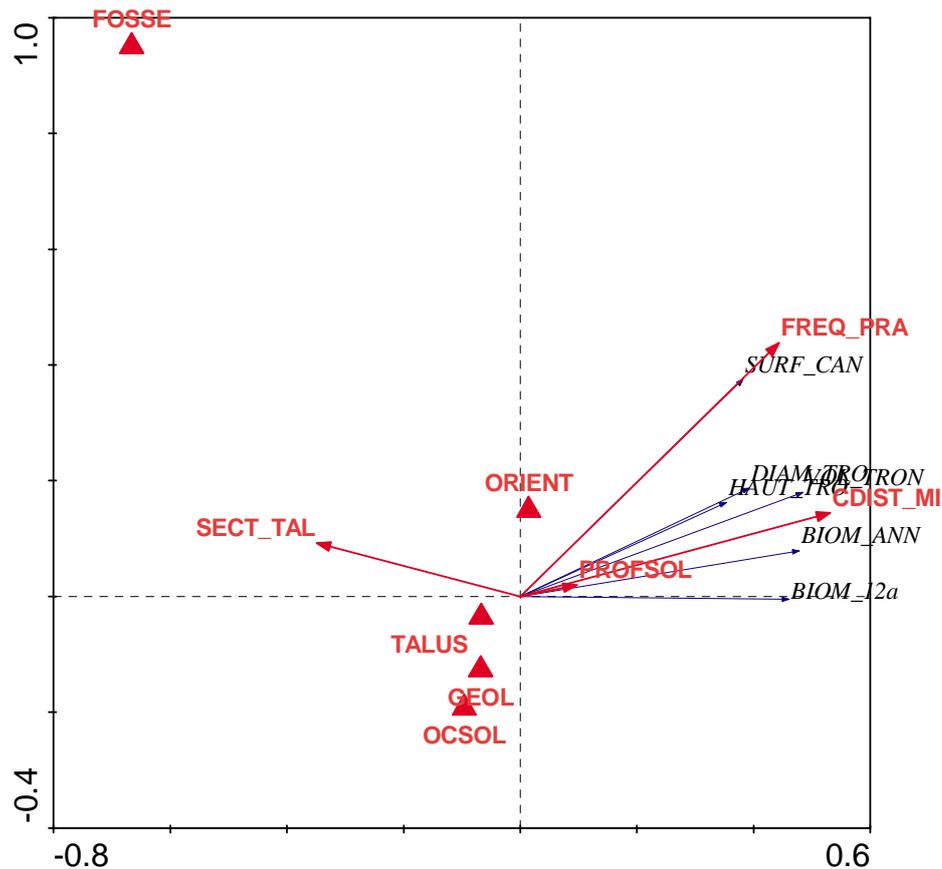


Figure 17: Représentation graphique du gradient des variables d'arbres dans le plan factoriel F1-F2 de l'RDA portant sur les variables de milieu (Variables environnementales: Fréquence prairie= *FREQ_PRA*, Distance minimale= *CDIST_MIN*, Profondeur de sol= *PROF_SOL*, Orientation de haie=*ORIENT*, Présence de Talus= *TALUS*, Présence de fossé= *FOSSE*, Sous sol= *GEOL*, Occupation du sol= *OCSOL*, Section de talus= *SECT_TAL* et les variables des arbres sont : Surface de canopée=*SURF_CAN*, Diamètre de tronc= *DIAM_TRON*, Hauteur de tronc= *HAUT_TRO*, Volume de tronc= *VOL_TRON*, Biomasse annuelle= *BIOM_ANN*, Biomasse à 12 ans= *BIOM_12a*).

Ce graphe montre que la biomasse des arbres est plus forte en bordure des parcelles utilisées le plus fréquemment en prairie, pour les arbres isolés, et lorsque les talus sont bas et bordés d'un fossé.

D'autre part, l'orientation, le type d'occupation du sol observé sur le terrain et le type de sous sol n'ont pas d'effet significatif sur la biomasse des arbres.

Le résultat important est donc lié à la densité des arbres dans les haies et à la proximité des prairies avec des talus de faible gisement ou sans talus (figure N° 18).

On voit bien que la surface de canopée est de plus grande taille en prairie.

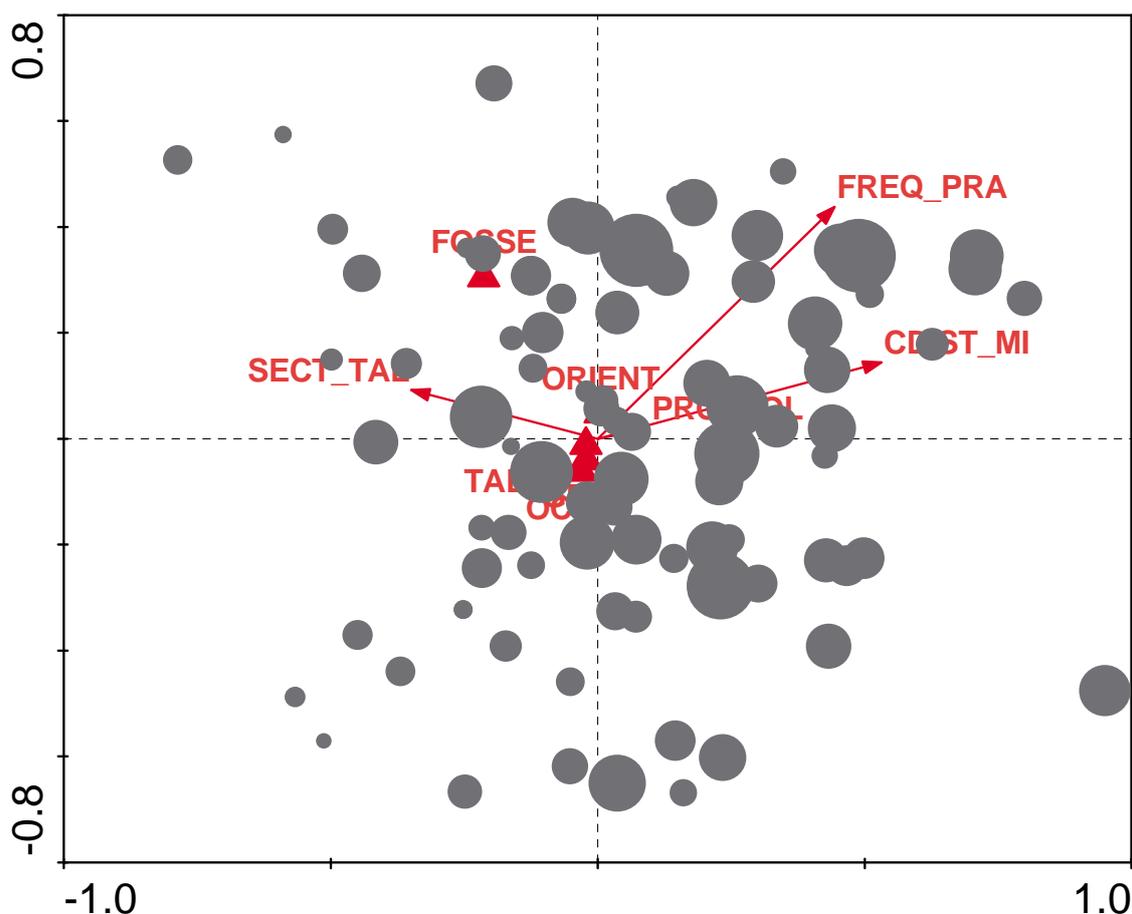


Figure 18: Représentation graphique de la biomasse annuelle des arbres dans le plan factoriel F1-F2 de la RDA.

3.8.4 Discussion :

❖ Occupation du sol et biomasse des arbre :

Cette analyse montre qu'il n'y a pas de relation significative entre l'occupation actuelle du sol de part et d'autre des haies et la production annuelle de biomasse des arbres d'émonde.

Ce résultat peut être dû à la difficulté rencontrée sur le terrain pour déterminer l'âge des prairies. En effet les prairies temporaires de courte durée, deux à trois ans, reçoivent une fertilisation importante et peuvent être assimilées à des cultures et non à des prairies permanentes. D'autre part la croissance des branches avant émondage se fait sur une période d'une dizaine d'années au minimum et l'état actuel de l'occupation du sol peut ne pas être représentatif des usages sur l'ensemble de la période. C'est le cas par exemple lorsqu'il y a eu retournement de prairies permanentes ou intensification forte des pratiques. Sur le terrain aussi, on a eu encore quelques ambiguïtés sur le type de prairie et aussi sur l'ancienneté des parcelles mises en culture ou prairies. Cela peut donc, expliquer

pourquoi ici, dans les graphes, le type d'occupation du sol ne donne pas de résultats (ses effets sur la biomasse ne sont pas visibles).

❖ **La fréquence de prairie et biomasse des arbres :**

En tenant compte du problème survenu avec les 3 types d'occupations de sol (Prairie/Prairie, Prairie/Culture et Culture/Culture), mentionné au-dessus, on a décidé d'intégrer la fréquence de prairie (ou culture) comme l'index d'occupation de sol dans l'analyse des données.

Dans les résultats, on a compris que les arbres à proximité des prairies (ou à proximité des parcelles ayant une fréquence élevée de prairie) ont une biomasse plus importante. D'autre part, les arbres en bordure des prairies sont plus hauts, plus gros et ils ont un volume plus élevé.

Le rôle de la durée d'émondage peut être un autre facteur explicatif de nos résultats. Dans les résultats d'interprétation des photographies aériennes on a trouvé que 50% des haies en bordure des cultures ont été émondées de 1996 au 2006, alors que ce taux pour les haies en bordure des prairies est 34% (ces résultats seront présentés dans le chapitre suivant, Chapitre 5).

Sur les données de biomasse, on repère également une bonne corrélation entre l'âge des branches et la fréquence de prairie ($R^2= 44,1\%$ et Significatif, valeur de $P= 0,000$). Donc, on peut considérer que les arbres en bordure des prairies sont moins traités. Sachant que le traitement des arbres et l'émondage régulier des branches ont des effets négatifs sur l'arbre et sur sa croissance (Guibale et Bernard, 2002 ; Chandrashekara, 2007 ; Pilcher, 1996). On peut envisager même que l'une des raisons pour laquelle les arbres en bordure des cultures produisent moins, c'est qu'ils sont plus souvent blessés par les pratiques d'émondage régulières.

❖ **La taille de la canopée**

Sur la figure 18, on s'aperçoit bien que la taille de la canopée augmente avec l'augmentation de la fréquence de prairie, c'est à dire que les arbres à côté des prairies permanentes (fréquence = 1) ont une canopée plus développée que les arbres à côté des cultures ou des prairies temporaires. Ce résultat est conforme à l'observation sur le terrain, car dans les parcelles de culture, les arbres et leurs branches sont gênants pour les machines agricoles et pour la croissance des plantes cultivées (en jetant leur ombre sur les cultures), donc les agriculteurs tendent à tailler les arbres en bordure des cultures et à diminuer par là, leurs effets embarrassants (Javelle, 2007). Par contre, dans les prairies, ces arbres ne sont pas gênants, puisqu'il n'y a pas de passage des grandes machines agricoles. Les ombres des arbres sont favorables pour les vaches en été et ces arbres protègent les animaux contre la pluie et le froid (Baudry et Juoin, 2003).

Sur les données on trouve une corrélation positive entre l'âge des branches (ça veut dire la durée depuis le dernier émondage) et la taille de la canopée ($R^2= 46,6$ et $P=0,000$) et comme on a dit en haut, entre l'âge des branches et la fréquence de prairie. Ces données confirment donc qu'en bordure de prairie, les arbres sont moins souvent émondés.

3.9 Prédire la biomasse des branches des émondés à partir de données relatives aux arbres et au milieu (construire un tarif de biomasse) :

Jusqu'à cette partie on a étudié les relations entre la production de la biomasse et les caractéristiques des arbres, des haies et du milieu. Mais notre objectif final est d'avoir une méthode pour estimer la production de biomasse en mesurant quelques facteurs dendrométriques ou environnementaux.

3.9.1 Choix des variables du modèle :

Dans les parties précédentes de ce chapitre on a mis en évidence différents facteurs qui ont un effet sur la productivité des émondés. Certains caractérisent le tronc des arbres (le volume, le diamètre, la hauteur) et d'autres le milieu et l'environnement de la haie (fréquence de prairie, présence de talus/fossé, sol, géologie, hydromorphie, orientation et occupation du sol).

- **Variables caractérisant l'arbre :**

Parmi les variables relatives aux caractéristiques des arbres, le volume du tronc, le diamètre et la hauteur sont corrélés avec la production de la biomasse des branches (avec un coefficient de corrélation de 0,62 pour le volume, 0,60 pour le diamètre et 0,38 pour la hauteur). Parmi ces trois variables, le volume est le plus corrélé mais par contre la mesure du diamètre est plus simple que la hauteur ou le volume. On choisit donc ici le diamètre qui est simple à mesurer et a une bonne corrélation avec la biomasse.

- **Variables du milieu :**

Les résultats de la deuxième partie de ce chapitre (test de RDA), nous ont montré que parmi différents facteurs étudiés, la fréquence de prairie et la distance minimale entre les arbres ont beaucoup d'influence sur la productivité des arbres (Lambda 0,09 pour la fréquence de prairie et 0,07 pour la distance minimale). Donc on choisit ces deux variables parmi les facteurs du milieu.

3.9.2 Construction du modèle de biomasse :

L'objectif de ce modèle est d'établir une courbe de régression entre la biomasse et les trois variables explicatives sélectionnées ci dessus. Ici on propose 3 modèles selon la disponibilité des données ou la quantité de travail de mesures, la simplicité et la précision de la méthode. Pour construire les modèles, nous avons utilisé la méthode d'analyse de régressions simple et multiple selon les critères disponible (Laar A. and Akça A. 2007, Cornillon P.-A. and Matzner-Løber. É. 2006).

Type de tarif	Estimation des paramètres				Analyse de variance		
	Coefficient	Estimation	Ecart type	t de Student	Nombre d'individus	Coefficient de corrélation	Pourcentage de variance expliqué
BS=A + B*D _{1.3}	a	11,6	1,94	5,99	183	33,2 %	32,8%
	b	0,0054	0,0006	9,48			
BS=A + B*D _{1.3} + C*Dis	a	-6,34	3,56	-1,77	183	35,3 %	34,6%
	b	0,59	0,06	9,26			
	c	0,48	0,23	2,13			
BS=a + b*D _{1.3} + c*Dis + d*Fr.Pr	a	-8,77	3,6	-2,43	183	38,2 %	37,2%
	b	0,55	0,06	8,50			
	c	0,62	0,023	2,74			
	d	7,02	2,42	2,90			

Ici Bs est Biomasse de branches en Kg,

D_{1.3} est le diamètre de l'arbre à l'hauteur de 1m30 en cm

Dis est la distance minimale entre les arbres en mètre

Fr.Pr est la fréquence de prairie

Les trois modèles/tarifs établis sont :

$$\text{I) Biomasse} = 11,6 + 0,0054 * D_{1.3}$$

$$\text{II) Biomasse} = -6,34 + 0,59 * D_{1.3} + 0,48 * \text{Dis}$$

$$\text{II) Biomasse} = -8,77 + 0,55 * D_{1.3} + 0,62 * \text{Dis} + 7,02 * \text{Fr.Pr}$$

3.9.3 Discussion:

Nous avons réussi à prédire la production de biomasse d'un arbre ragosse par son diamètre et son milieu.

Parmi ces trois modèles, le troisième donne le meilleur résultat pour prédire la biomasse des branches d'un arbre émondé, car elle peut expliquer 37,2 pourcents de la biomasse avec trois variables. Mais recueillir toutes les données est difficile et parfois impossible comme par exemple la fréquence de prairie, car il faut calculer la fréquence de la présence de prairie sur les deux parcelles adjacentes de l'arbre dans la durée d'émondage (12 ans). Pour cela, soit il

faut compter sur la mémoire de l'agriculteur soit consulter les photos aériennes (comme dans cette étude).

Pour résoudre ce problème, on propose le deuxième modèle, qui explique 34,6 % de la biomasse des arbres (moins que le troisième), mais avec des mesures plus simples sur le terrain, mesure du diamètre de l'arbre et mesure la distance minimale entre deux arbres.

Le premier modèle explique 32,8% de biomasse de l'arbre en mesurant seulement un facteur, c'est à dire le diamètre de tronc.

Comme l'indique Page (1986), la simplicité des modèles et leur degré de précision sont les éléments de choix des modèles.

Un modèle complexe avec beaucoup de variables peut nous donner de meilleurs résultats sur la prédiction de la biomasse, mais le travail de mesure de ces variables est plus long et coûteux.

Par contre les méthodes simples (par exemple ici le premier modèle) sont faciles à appliquer et nous aident à gagner du temps et de l'argent sur la période d'inventaire, mais la précision est mise en question.

4 Conclusion

L'objectif de ce chapitre a consisté à étudier la biomasse du bocage au niveau de l'arbre. Il s'agit d'examiner la variabilité de cette biomasse en tenant compte des caractéristiques des arbres et des facteurs environnementaux.

Compte tenu de l'objectif général de l'étude, « étude des relations entre la productivité des émondes de chêne pédonculé et les facteurs du milieu » il s'agissait dans ce chapitre de synthétiser un ensemble d'observations dendrométriques dans le but de définir un indice de productivité permettant de prédire la production de biomasse par les chênes émondes.

Ainsi à partir des résultats qui viennent d'être exposés il est possible de tirer des conclusions d'ordre méthodologique d'une part, et d'autre part d'ordre général. D'un point de vue méthodologique d'abord il faut dire que la méthode d'échantillonnage utilisée n'est ni systématique ni aléatoire, semi stratifié par rapport à l'occupation du sol des parcelles adjacentes.

Un travail important de terrain a été fait afin de répondre aux questions de recherche. La circonférence de toutes les branches de 183 arbres d'émonde a été mesurée ainsi que le volume du tronc de 144 arbres.

A l'aide du tarif préparé au niveau de la branche, la biomasse des branches de tous les arbres a été estimée. Pour le volume un tarif de volume a été établi.

D'abord les relations qui existent entre différentes variables dendrométriques des arbres sont bien montrées ici. L'utilisation de l'analyse en composante principale, a permis de vérifier les liens entre la biomasse et les caractéristiques des arbres. Ces résultats nous ont montré que la biomasse des arbres est fortement corrélée avec le diamètre et le volume du tronc.

Le volume des arbres est corrélé avec leur diamètre ainsi qu'avec leur hauteur. On voit bien aussi cette relation entre la productivité des arbres et leurs caractéristiques « volume, diamètre et hauteur », la hauteur ayant un effet moindre.

Pour étudier les facteurs environnementaux une Analyse de Redondance (RDA) a été utilisée. D'après ces résultats, la distance minimale entre les arbres et la fréquence de prairie a beaucoup d'influence sur la productivité des arbres.

Tous les facteurs du milieu étudiés n'ont pas un effet significatif sur la productivité des arbres. Parmi eux, la fréquence de prairie et l'effet de voisinage sont les plus importants, tandis que la présence de fossé, l'hydromorphie ou la profondeur du sol n'ont pas d'effet.

Pour modéliser la production de la biomasse des arbres, on a pris en compte les résultats obtenus grâce à ces analyses. Des tarifs établis à l'aide d'analyse de régression, nous ont permis de prédire la production de biomasse. Le choix des modèles proposés, est basé sur la disponibilité des données et la simplicité et la précision du travail de mesures.

Chapitre III

La production en biomasse des haies du bocage et sa variabilité

1-Introduction :

En Bretagne, la ressource forestière en bois est faible ; seulement 12% de la superficie de cette région est boisée, contre 29% en moyenne en France (IFN, 2007). En revanche, si on regarde la présence des haies sur le territoire breton, on s'aperçoit que la densité des haies est de 45 m/ha (123 600 Km), avec toutefois une grande disparité régionale supérieure à la moyenne de la France, qui est de 21,8 m/ha (1 200 000 Km) (IFN, 2007). Cette différence est bien représentée sur les figures 1 & 2.

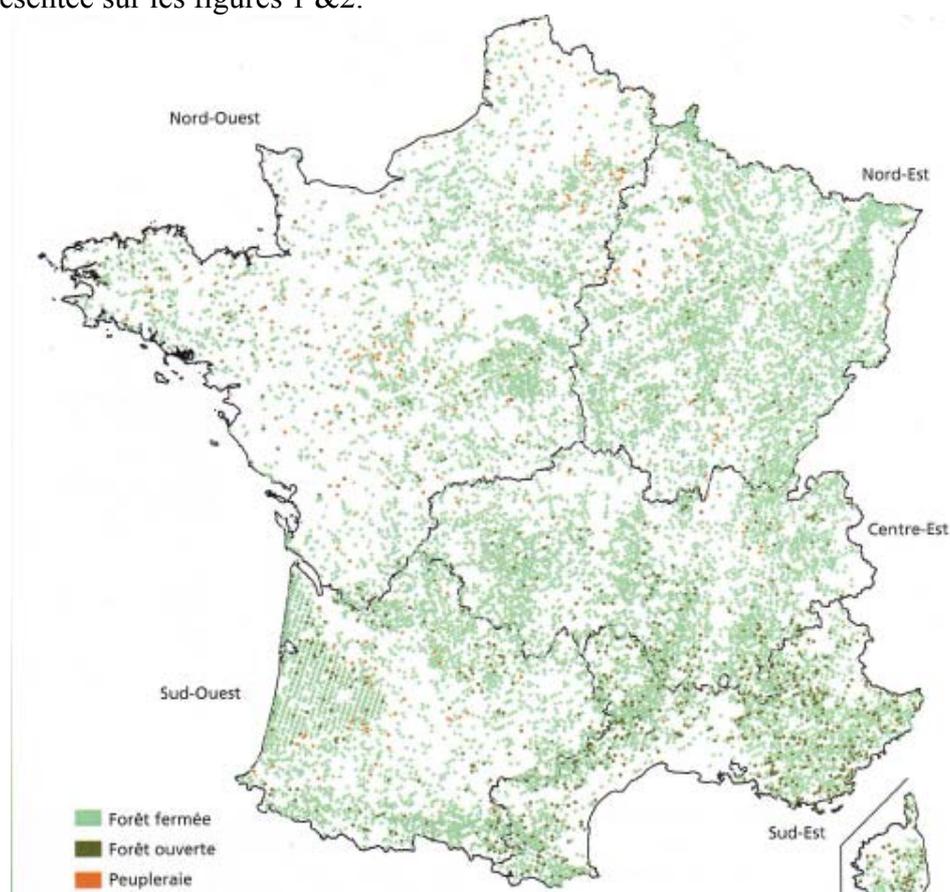


Figure 1 : Répartition des forêts en France, données 2005-2006, taux de boisement moyen est 28,6% pour France, et 12% pour Bretagne, source IFN, 2007.

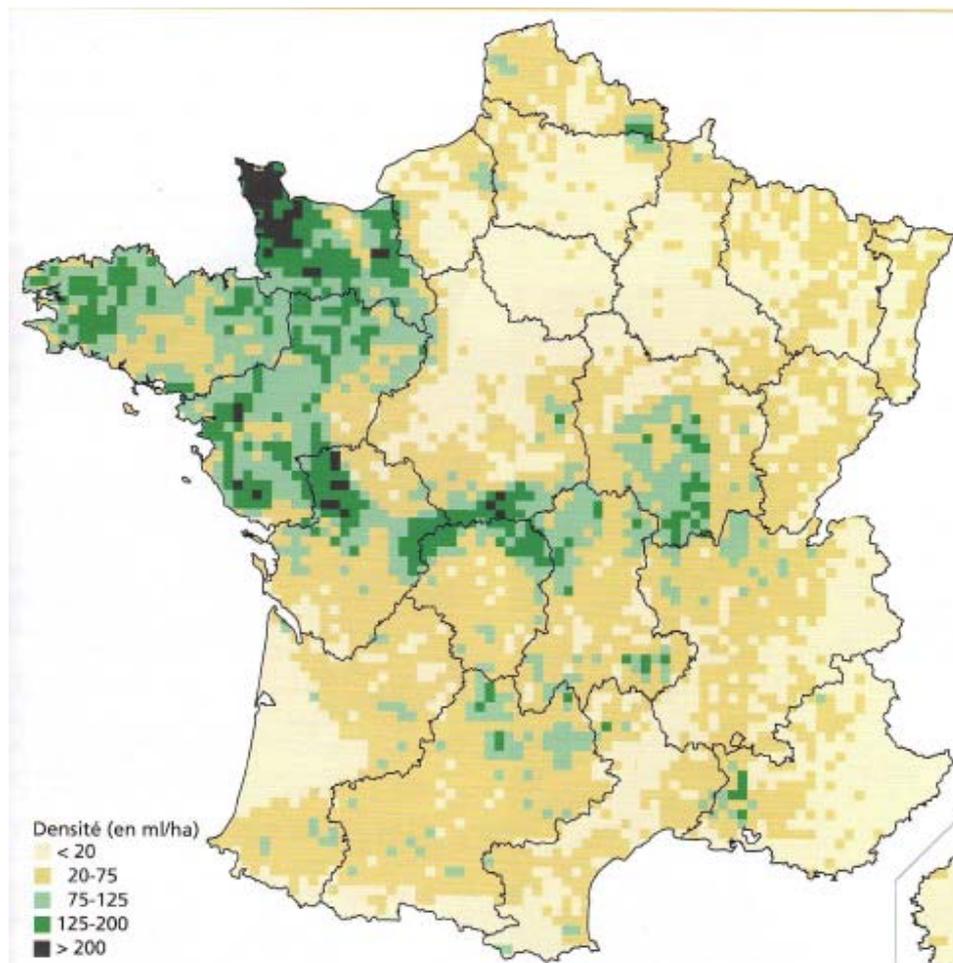


Figure2 : Densité surfacique par maille de 100 km² des haies en France, Source, IFN 2007.

Cette abondance de haie, compense en quelque sorte le faible taux de boisement dans cette région, ou pourrait compenser, au moins pour le bois de chauffe.

Mais par contre, après les années 60, cet intérêt a été oublié avec l'apparition des nouvelles formes d'énergie et des nouveaux matériaux, ce qui a entraîné une dégradation et une destruction de ces paysages. Il faut rappeler qu'en plus, le développement des activités agricoles a aussi accéléré la destruction des haies.

Aujourd'hui, le débat sur des questions essentielles comme l'apparition des problèmes environnementaux, la dégradation de la biodiversité à cause de l'arasement des haies et surtout, l'envolée du prix de pétrole, a fait que les regards se tournent vers les haies, pour améliorer l'état du paysage et valoriser les haies comme source de combustible. Lorsque l'on se heurte à un sujet crucial comme le réchauffement climatique, l'utilisation des ressources de bois des haies en tant que combustible, montre encore sa grande importance. La seule solution proposée par les écologistes et les scientifiques, n'est qu'un effort important pour économiser l'énergie et développer d'une façon ou d'une autre, les énergies renouvelables.

L'utilisation du bois issu des haies (comme combustible) paraît très avantageuse pour baisser la demande en énergie fossile d'une part, et d'autre part, pour répondre aux objectifs fixés par le protocole de Kyoto pour limiter le réchauffement climatique (Le protocole de Kyoto fixe un cap pour la politique énergétique avec pour objectif une division par 4 des émissions de gaz à effets serre d'ici 2050. Pour respecter ces engagements, le Ministère français l'Ecologie et du Développement durable, a créé en 2004 « Le Plan Climat », avec

comme premier objectif d'ici à 2010 une réduction de 73Mte CO₂ (millions de tonnes équivalent CO₂).

De plus, le chauffage au bois s'est modernisé. Il est devenu plus performant et s'est automatisé. Le bois énergie s'impose comme une énergie alternative intéressante. Ainsi, dans un cadre de développement de ressources énergétiques locales et renouvelables, il s'est développé en Bretagne, 45 chaufferies industrielles et collectives depuis 10 ans et 140 chaufferies individuelles depuis 8 ans (source : Aile, 2008).

Devant cette évolution croissante, il s'avère nécessaire d'évaluer les ressources disponibles de bois des haies et d'évaluer la variabilité de cette ressource en tenant compte des facteurs du milieu, de la haie et le rôle des agriculteurs sur cette productivité. Cette évaluation fait l'objet du présent chapitre.

2- Matériel et méthode:

S'il existe beaucoup d'études sur l'évaluation et l'estimation de la biomasse ligneuse en forêt, en revanche, les études similaires sur la haie et les arbres conduits de manières différentes sont malheureusement très peu nombreuses et la plupart du temps, le travail n'est pas approfondi. Le faible intérêt des haies pour la production de bois, après les changements profonds du monde agricole dans les années 1960 (Le Du Blayo et al., 2004) et le coût considérable de la main-d'œuvre pour l'entretien des haies (Pointreureau et Bazile, 1995 ; Thenail et Codet, 2003) n'encouragent ni les agriculteurs et ni les chercheurs à attacher de l'importance à cet aspect précis de l'utilisation de la haie, jusqu'aux années 1980, quand des réflexions commencent à considérer l'aspect économique des haies et surtout la production de bois en raison de l'augmentation du prix de pétrole.

A partir de ces années, il y a un retour important à la haie, les réflexions s'échangent sur les rôles de la haie dans le paysage agricole et les études sur l'aspect de la production de bois des haies se multiplient. On va tenter d'étudier le développement de la question à travers quelques recherches abordées ici.

Riviere (1983) a étudié la production de bois d'œuvre dans les haies au nord d'Ille-et-Vilaine. Il s'agit, dans son étude, d'estimer le volume du bois stocké dans les haies concernées, en mesurant le diamètre et la hauteur des haut jets de chêne et de châtaignier et en utilisant des tarifs forestiers.

En Normandie, après la création d'une association pour développer l'utilisation de la biomasse dans les chaufferies (La biomasse Basse-Normandie, 1983), l'utilisation des bois de haie, et par conséquent, les études sur le sujet, augmentent. Parmi les études effectuées dans cette région, on peut citer l'étude de Chevallier (1983) sur la valorisation énergétique du petit bois et l'évaluation quantitative de la biomasse ligneuse et l'analyse de la productivité des taillis.

Bazin et Chevalier (1985) ont étudié la productivité des haies traitées en cépée en Basse-Normandie. Les résultats de cette étude estiment (selon les essences et les modes de traitement de la haie) la productivité entre 1 et 4,25 tonnes de matière sèche par km et par an. Ils n'étudient pas les effets des facteurs environnementaux, mais ils soulignent que les critères comme l'exposition, le type de talus, les cultures adjacentes, la concurrence entre les strates ligneuses ont une influence sur la productivité des haies. En conclusion ils en ressortent que la productivité moyenne se situerait aux alentours de 3 tonnes de matière sèche par km de haie (en âge d'exploitabilité) et par an (Bazin and Chevalier 1985).

Burel et Baudry (1984) ont étudié la biomasse des cépées de sept essences arborées et arborescentes. Ils ont essayé d'évaluer la biomasse des haies de cépées à partir de nombre de souches et du nombre de brins par souche. Ils estiment que les haies de frêne et de saule produisent plus que les haies d'épineux. L'étude montre que le boisement des haies est influencé par la structure des haies, l'hydromorphie et la profondeur de sol, la présence de talus, l'essence et le nombre d'arbres sur la haie et l'espacement entre les arbres.

Coutel (1991) a étudié à son tour, le rôle de l'hydromorphie, de la pluviosité et de l'altitude (comme facteurs environnementaux) et l'isolement, sur la productivité des haies de charme en Avesnois (Coutel 1991). D'après lui, la production des haies varie en fonction de ces paramètres.

En région Bretagne, c'est l'association « Aile » (Association d'initiatives locales pour l'énergie et l'environnement) qui a suivi quelques chantiers de bois déchiqueté issu des haies afin d'évaluer la potentialité des haies bocagères pour un éventuel développement des chaudières automatiques. Selon les mesures effectuées, ils avancent que les rendements moyens des haies (entre 7 à 32 m³/100ml) sont liés à l'âge de la coupe, au type d'entretien des haies, à la technique de coupe des branches, à l'essence. Cependant, ils n'ont utilisé aucune méthode statistique pour analyser cette productivité.

2.1 Sites d'études et critères de choix des sites :

Afin d'étudier la variabilité de la production de bois déchiqueté par des haies, nous avons décidé de mesurer la production de plaquettes issus de chantiers d'émondage et de broyage. Pour trouver les chantiers, nous avons demandé de l'association Aile, les coordonnées de toutes les personnes ayant une chaudière à bois déchiqueté. En contactant environ 60 agriculteurs possédant cet équipement, nous avons tenté de décrire les haies sélectionnées pour les chantiers et nous avons noté toutes les caractéristiques de ces haies avant la coupe des branches.

Durant 3 campagnes de mesures en hiver (21 chantiers en hiver 2005-2006, 12 chantiers en hiver 2006-2007 et 5 chantiers en hiver 2007-2008), les données de 38 haies et chantiers dans 16 communes dispersées sur tout le département d'Ille-et-Vilaine, ont été récoltées.

Le tableau ci-dessous (tableau n°1) représente le nombre des chantiers dans ces 16 communes étudiées.

Comme il n'y avait pas beaucoup de chantiers en Ille-et-Vilaine, nous avons suivi en même temps, tous les chantiers trouvés sans définir de critères d'échantillonnage (par exemple le traitement similaire, l'âge identique des branches ou souches, moins de variabilité par rapporte des espèces arborées des haies etc.). En fait, comme notre objectif principal était de mesurer la production réelle de plaquettes, nous étions donc obligés d'étudier tous les chantiers à bois déchiqueté disponibles.

N°	Commune	Nombre de Chantiers étudiés
1	Aubigné	4
2	Bauzouge du désert	2
3	Brécé	1
4	Chauvaigné	1
5	Gahard	6
6	Médréac	3
7	Mellé	3
8	Montours	1
9	Montreuil sur Meu	1
10	Mouazé	2
11	Pleine-Fougères	5
12	Saint-Didier	1
13	Saint-Germain-en-Coglès	5
14	Sens de Bretagne	1
15	Servons sur Vilaine	1
16	Tinténiac	1
Totale		38 Chantiers

Tableau N°1: Nombre des haies étudiées dans les communes suivies.

Pendant ces trois campagnes, nous avons étudié 5293 mètres linéaires de haies, répartis sur 38 haies avec une moyenne de longueur de 139 mètres (la haie plus courte mesure 53 mètres et la plus longue 380 mètres). La distance moyenne entre les arbres (ou les souches) est très variable, de 1 mètre jusqu'à 8,8 mètres. Cette distance est plus régulière et moins courte pour les haies nouvelles plantées (2,3 mètres), mais elle est très variable dans les haies anciennes et par contre plus longue (4,3 mètres). A cause de cette distance, le nombre d'arbres dans chaque haie est différent, le plus petit nombre d'arbres se trouve dans les haies ayant des vieux arbres (10 arbres sur 100 mètres) et les haies récentes contiennent davantage d'arbres (jusqu'à 70 souches sur 100ml).

Parmi les 38 haies étudiées, 6 sont des haies nouvelles plantées (3 avec du châtaignier, 2 avec du noisetier et une avec du chêne) avec un âge moyen de 15 ans (4 haies âgées de 15 ans, une de 13 ans et l'autre 18 ans). Les autres haies (32 haies) sont des vieilles haies.

Le type de traitement des haies et de récolte du bois est très variable sur ces haies : le recépage est le traitement majoritaire dans 25 haies et l'élagage est le deuxième traitement dans 8 cas (figure N° 3). Dans quelques chantiers, les gros bois (diamètre supérieur à 6-7 cm) des branches ont été utilisés comme bûches et les rameaux ont été déchiquetés, donc les branches coupées, ne sont déchiquetées qu'en partie. Deux haies ont été élaguées avec un lamier et les autres haies ont été traitées à la tronçonneuse. La durée depuis la dernière coupe est variable de 7 ans à 35 ans.

Le châtaignier et le chêne, constituent respectivement l'essence dominante pour 18 et 10 haies. Le saule et l'aune sont chacun dominants dans 3 haies. Les autres essences dominantes sont le noisetier (dans 2cas) le frêne et le sureau (Figure N° 4). Les autres espèces rencontrées, moins fréquentes, sont le merisier, le charme, le bouleau, l'aubépine et le hêtre.

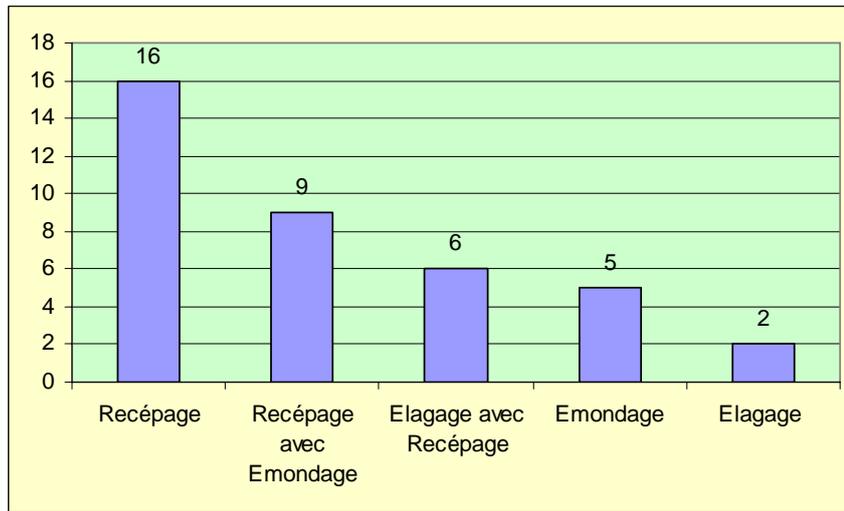


Figure N° 3 : Classification des 38 haies étudiées selon le type de traitement.

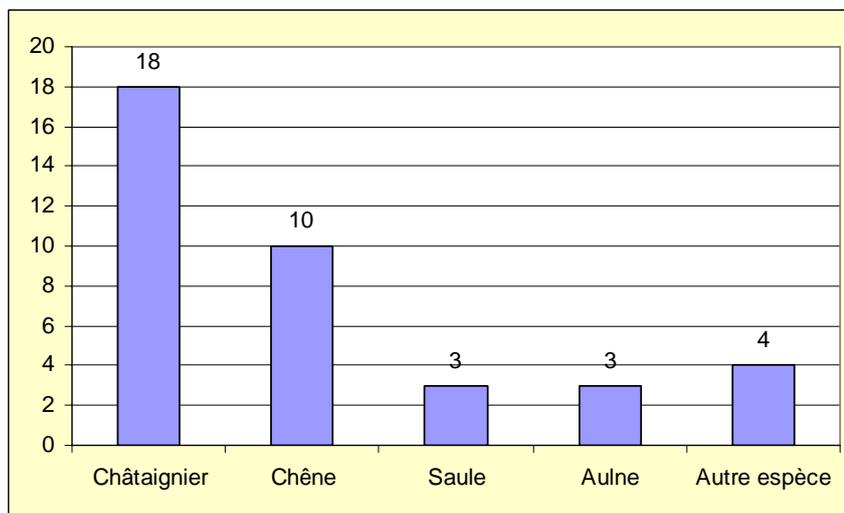


Figure N° 4 : Distribution des haies étudiées selon l'essence la plus présentée dans la haie.

Du point de vue de la situation géographique, la majorité des haies étudiées sont sur un plateau, 21% en sommet de versant et 11% au bord de cours d'eau (Figure N° 5).

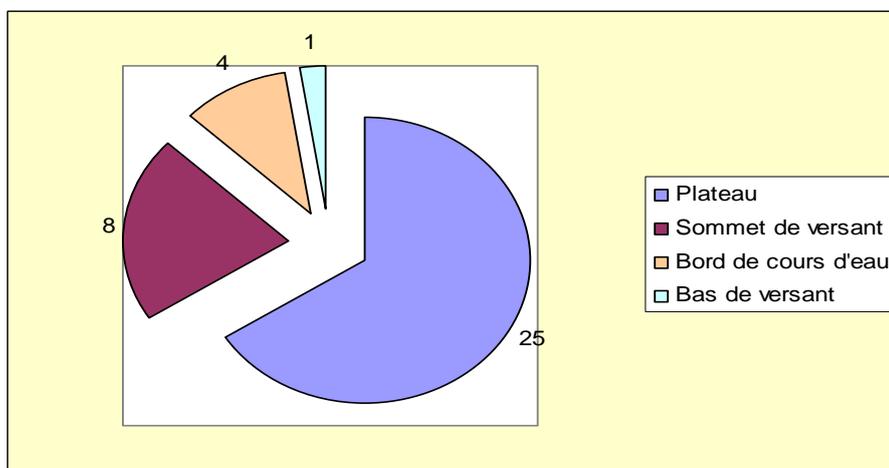


Figure N° 5 : Distribution des haies étudiées selon la situation dans le bassin versant.

L'orientation des haies par rapport aux points cardinaux varie. 50% des haies sont dans l'axe Nord-Sud, 24% dans l'axe Nordest-Sudouest, 21% dans l'axe Nord-ouest/Sud-est et seulement 5% dans l'axe Est-Ouest.

Prairies et cultures occupent majoritairement les parcelles adjacentes des deux côtés des haies dans 58% des haies étudiées. Pour 8 haies, un côté est un chemin et dans 3 cas, il y a un bois à côté de la haie.

Le schiste et le granite constituent respectivement 45% et 29% du sous-sol du terrain des haies étudiées.

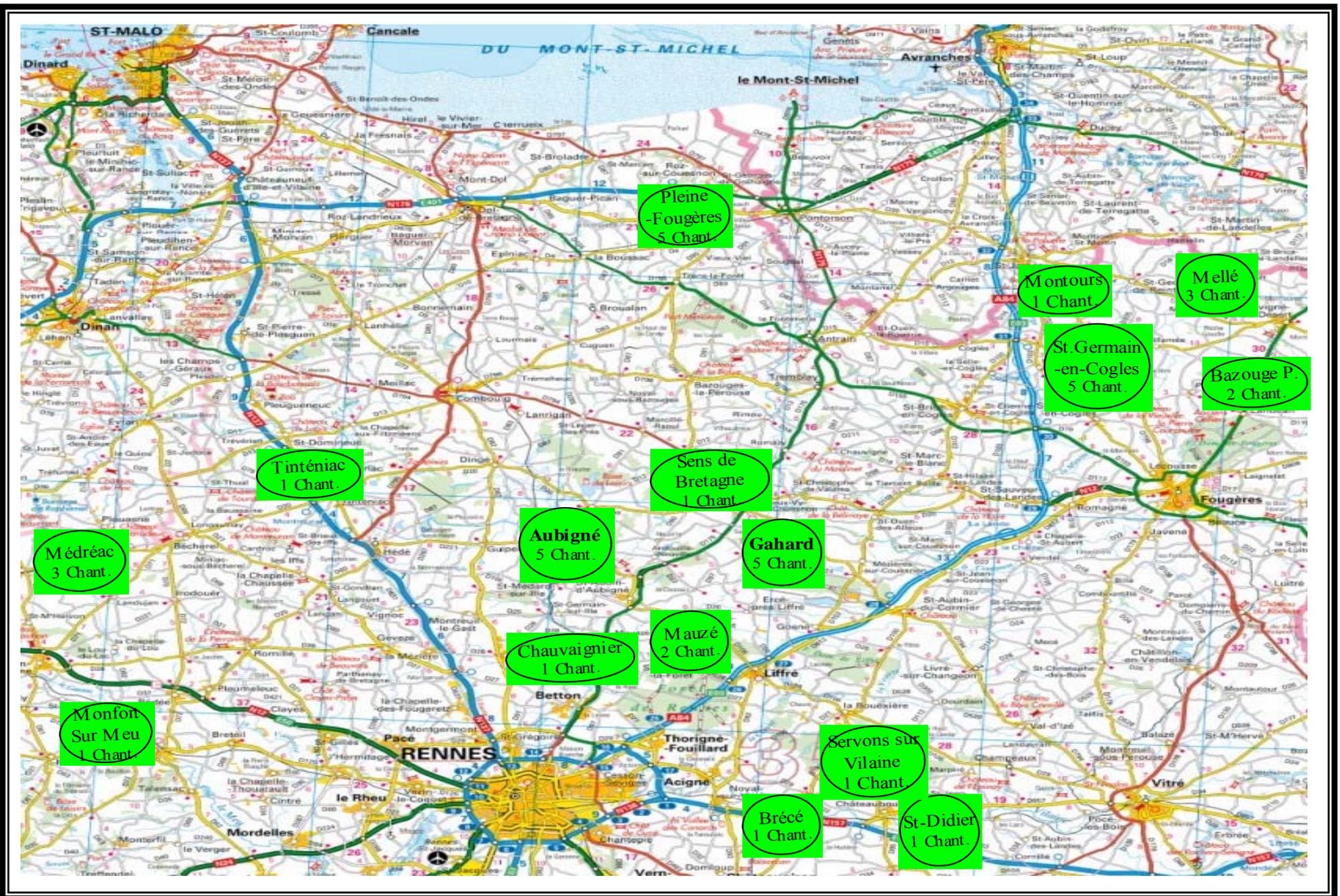


Figure 6: Dispersion des 38 chantiers de bois déchiqueté dans 16 communes étudiées en Département Ille-et-Vilaine.

2.2 Collecte des données:

La prise en compte de paramètres du milieu et de haie permet de constituer un lot de variables explicatives. C'est-à-dire qu'il faudra rechercher parmi ces dernières, celles qui paraissent le plus étroitement liées aux variations de l'indice de biomasse.

Comme souligné Duvigneat (1971) « le fonctionnement de l'écosystème qui aboutit à l'élaboration de la biomasse se fait par des processus intrinsèques liés à la physiologie des individus et à la structure de la biocénose, les autres extrinsèques et dépendant du climatope et de l'édaphotope ». On mesure alors, toute l'importance qu'il y a à prendre en considération le maximum de paramètres pour arriver à décrire ces processus et pour tenter de comprendre les mécanismes qui les régissent.

Le choix des variables caractérisant les haies a été fait d'après l'influence qu'elle peuvent avoir sur le développement des arbres mais également en fonction des moyens techniques. Cette importance a été suggérée par les divers auteurs parmi lesquels Coutel (1991), Burel et Baudry (1984), Bonin et al. (1978) et Bichard (1982).

Par rapport au type de données (les données de la productivité des haies et données caractérisantes des haies), deux ou trois phases de suivi de terrain ont été organisées pour la récolte des données. Le premier passage était organisé avant le chantier d'émondage/élagage. L'objectif de cette campagne de terrain était de décrire la haie et son milieu et ensuite de noter et récolter les caractéristiques structurales des haies et des arbres.

Le deuxième passage était organisé après le chantier d'émondage/élagage. Le but de cette campagne de terrain consistait à mesurer le nombre et les circonférences des branches coupées. Cette partie du travail n'était pas toujours facile à organiser avec l'agriculteur, ni toujours possible à faire car les agriculteurs avaient ramassé les branches ou les avaient mélangé.

Le troisième passage était organisé au moment du chantier de déchiquetage. Dans cette dernière campagne de terrain, la productivité des haies en volume et le poids frais de plaquettes, a été mesuré. Dans cette phase, le prélèvement des plaquettes a été fait pour calculer la teneur en matière sèche de bois (d'après le pourcentage d'humidité).

A la suite de cette partie, nous allons décrire les méthodes utilisées pour récolter les données. On se borne à expliquer seulement les mesures qui ont été faites par une méthodologie spécifique en utilisant des instruments, puisque la majorité des mesures a été faite par l'observation et le comptage des objets (comme le nombre ou l'essence des arbres). Pour ce faire, on élabore un plan explicatif en trois sections: 1-La haie, 2-Le milieu (sol), 3-le chantier.

2.2.1 Les mesures effectuées sur la haie :

La majorité des mesures effectuées sur la haie est basée sur des observations et des comptages simples, comme le nombre d'arbres ou la souche sur chaque haie, le nombre et diamètre des branches coupées, l'essence, etc. dont on va expliquer la démarche.

- La hauteur maximum :

La hauteur maximum de la haie se définit par la hauteur de l'arbre le plus haut dans la haie.

Pour déterminer cette hauteur, on a utilisé l'instrument BLUME-LEISS (figure 7), qui est un appareil dendrométrique d'origine allemande. Cet appareil fonctionne selon un principe trigonométrique (mesures d'angles), ce qui exige que l'observateur se place à une distance prédéterminée de l'arbre (la plus proche possible de la hauteur estimée). A l'aide d'une mire la distance entre l'opérateur et l'arbre (15, 20, 30 ou 40m) sera déterminée. En visant vers le

sommet et le pied de l'arbre, et à l'aide de l'échelle des chiffres de l'appareil, on détermine la hauteur de l'arbre.

L'explication complète du fonctionnement de l'appareil se trouve dans les manuels de foresterie. On peut rappeler comme exemple, le livre de Rondeaux, La mesure des arbres et des peuplements forestiers (Rondeaux, 1999).



Figure N° 7 : Le dendromètre BLUME-LEISS

- La hauteur dominante :
La hauteur dominante de la haie est la hauteur la mieux représentée sur toute la longueur de la haie.
On a aussi utilisé le BLUME-LEISS, pour mesurer la hauteur dominante.
- Recouvrement arboré
Pour le recouvrement arboré, on prend la projection de la canopée des arbres sur la terre. Pour le mesurer, on a fait une estimation de recouvrement dans 5 catégories selon la fermeture de la canopée (0% = 0, 1 = 1-10%, 2 = 10-25%, 3 = 25-50%, 4 = 50-75%, 5 = 75-100%).

On a également utilisé ce classement pour estimer la perméabilité des haies qui correspond aux trouées des haies.

- Le diamètre des arbres :
Le diamètre des arbres à hauteur de la poitrine (hauteur standard en foresterie, 1,50 m) a été déterminé à l'aide d'un compas forestier (Figure 8).



Figure N° 8 : Mesure de diamètre à 1m30 à l'aide d'un compas forestier.

- La circonférence des branches coupées
La circonférence des branches coupées a été mesurée à l'aide d'un mètre ruban.
- Le type de haie
Sur le terrain, nous avons classé les haies selon une méthode visuelle de typologie en trois groupes, chacun de ces groupes étant subdivisé en trois sous groupes selon la qualité de haie. Ces groupes et sous groupes sont :
 - I) Taillis
 - Type 1= Les haies de cépée (Taillis) de bonne qualité
 - Type 2= Les haies de cépée (Taillis) de moyenne qualité
 - Type 3= Les haies de cépée (Taillis) de médiocre qualité
 - II) Futaie/Emonde avec taillis
 - Type 4= Les haies de Haut jet/Emonde avec taillis de bonne qualité
 - Type 5= Les haies de Haut jet/Emonde avec taillis de moyenne qualité
 - Type 6= Les haies de Haut jet/Emonde avec taillis de médiocre qualité
 - III) Futaie/Emonde
 - Type 7= Les haies de Haut jet/Emonde de bonne qualité
 - Type 8= Les haies de Haut jet/Emonde de moyenne qualité
 - Type 9= Les haies de Haut jet/Emonde de médiocre qualité

Les illustrations représentatives de chaque type de haie, sont présentées dans l'Annexe. Ces illustrations sont sorties de l'étude Ter-Uti de la DDAF (1996).

Le but de cette classification était de traduire la qualité des haies (en terme de strate, nombre d'arbres sur une longueur définie de 100m, nombre de trouées dans la haie, qualité de recouvrement) à une échelle qui représente visuellement la quantité de bois récoltable sans beaucoup de mesures des caractéristiques structurales des haies.

2.2.2 Les mesures effectuées sur le sol:

Le travail le plus important effectué sur les facteurs environnementaux était de caractériser le sol des parcelles à côté des haies et le type de sous-sol.

Les caractéristiques du sol de Bretagne sont déterminées par la méthode de sondage-tarière, développée et publiée par les chercheurs de l'INRA de Rennes et les chercheurs de la chambre d'Agriculture de Bretagne (Rivière, 1992 ; Joubert et al., 1996).

Cette méthode utilise une légende de type analytique, à lecture synthétique, permettant une application directe à l'agronomie. L'objectif de cette méthode est de définir la nature de chaque unité de sol sur la profondeur d'1,20 m par 4 critères :

1. La nature du matériau géologique
2. L'hydromorphie
3. Le type de développement de profil
4. La profondeur du sol

Chaque type de sol, dans cette méthode, est caractérisé par une lettre, qui correspond à la nature du matériau géologique, un chiffre qui correspond à l'état d'hydromorphie, une lettre qui renvoie au développement du sol et enfin un chiffre correspondant à la profondeur de sol.

On explique ci-dessous le mode de récolte des données :

- Pour le type de sous-sol (matériau géologique), on a utilisé 5 feuilles de la carte géologique de la France (BRGM) à l'échelle de 1/50 000^e : Dol-de-Bretagne, Rennes, Avranches, Montfort-sur-Meu et Combourg.
- Quant aux autres critères, on a prélevé une carotte de sol à la tarière à une distance de 2 m de la haie. Le nombre de sondages était lié à l'hétérogénéité des parcelles et à la longueur des haies étudiées. Pour les haies ayant une longueur supérieure à 50 m, deux sondages ont été réalisés et pour l'hétérogénéité des parcelles, nous avons fait un sondage sur chaque type d'occupation de sol. Durant cette campagne de terrain, une experte de la chambre agriculture d'Ille-et-Vilaine nous a accompagné pour identifier précisément les sols.
- Le développement du profil de sol a été identifié et codifié selon les critères suivants :
 - Sols sans différenciation
 - **N.** Sol minéral brut, très superficiel.
 - **R.** sol brun organique, superficiel, sous lande.
 - **B.** Sol brun.
 - Sols lessivés éventuellement
 - **C.** Sol brun faiblement lessivé en profondeur
 - **L.** Sol lessivé avec cuirasse ferrugineuse de type altérite en profondeur
 - **D.** Sol lessivé faiblement dégradé, début blanchiment sous le labour
 - **E.** Sol dégradé, blanchi limoneux sous le labour
 - Sols d'apport
 - **U.** Sol d'apport colluvial
 - **V.** Sol d'apport alluvial et colluvial
 - **W.** Sol d'apport alluvial et colluvial à texture très argileuse
- La profondeur du sol se détermine par la profondeur d'apparition des matériaux géologiques en considérant les classes ci-dessous :
 - Sols Profonds
 - Classe 1 : Profondeur de plus d'1m.
 - Classe 2 : Profondeur de 80 cm à 1 m.

- Sols Moyennement Profonds
 - Classe 3 : Profondeur de 60 cm à 80 cm.
 - Classe 4 : Profondeur de 40 cm à 60 cm.
- Sols Peu Profonds
 - Classe 5 : Profondeur de 20 cm à 40 cm.
 - Classe 6 : Profondeur de moins de 20 cm.

2.2.3 Les mesures effectuées sur les chantiers de déchiquetage :

Le suivi des chantiers de déchiquetage était destiné à mesurer la production des plaquettes par les haies en tenant compte des différentes modalités d'entretien des arbres, différentes essences et d'autres caractéristiques relatives aux haies.

- ❖ Sur le terrain, la production des plaquettes a été mesurée en volume et en poids frais. Le volume des plaquettes a été mesuré précisément dans la remorque.
- ❖ Pour mesurer le poids frais, on a utilisé un peson électrique mobile, capable de mesurer le poids des essieux de tracteur et de remorque. En déplaçant les plaques de peson sur chaque essieu de tracteur et de remorque, on a mesuré le poids frais des plaquettes juste après chaque chantier (Figure 9).
- ❖ Afin d'estimer le poids sec des plaquettes (la production de bois sec de chaque haie), on a fait des échantillonnages. 10 échantillons de 0,5-1 Kg ont été pris dans chaque remorque.
- ❖ Au retour du terrain, le poids frais des échantillons a été mesuré avec une précision de +/- 1gr et les plaquettes ont été mises, tout de suite, à l'étuve à température de 105°C jusqu'à un point stable.



Figure N° 9 : Pesage de la production du bois par le peson mobile.

Sur le terrain, on a utilisé une fiche de terrain (Annexe N° 2) pour enregistrer les données récoltées. Cette fiche se divise en quatre parties, contenant les trois étapes de récolte de données :

- ❑ Information générale sur la haie : localisation, commune, exploitant.
- ❑ Les données relatives au milieu et à la structure de la haie : type de sol, occupation du sol, pente et position dans le bassin versant, type de haie, recouvrement etc.
- ❑ Les données concernant les arbres et les branches : l'essence, la hauteur, le nombre de branches coupées, et la distance entre les arbres.
- ❑ Les données relatives au chantier de bois déchiqueté : volume de bois déchiqueté, et poids frais de bois déchiqueté.

2.3 La collaboration avec la chambre agriculture d'Ille-et-Vilaine :

La Chambre d'Agriculture de la région de Bretagne avec ses quatre départements dont le département d'Ille-et-Vilaine, a commencé à travailler sur un projet similaire pour quantifier la production des haies en 2007. Ils ont été intéressés par notre étude. Une convention a été signée entre l'UMR Ecobio et la Chambre d'Agriculture pour une collaboration sur ce sujet et échanger des données. Un protocole d'observation de terrain a été créé afin d'harmoniser les méthodes d'observation, de mesure et de récolte des données. La base de données créée à Ecobio a été partagée pour stocker les données .

Les 5 chantiers d'hiver 2007-2008, étudiés par la Chambre d'Agriculture ont été pris en compte dans notre analyse et nous leur avons fournis nos données.

2.4 Gestion des données

Pour mieux gérer les données récoltées, étant donné le nombre important des observations (des haies et des arbres étudiés, chantiers et milieu) et de nombreuses variables étudiées, on les a stockées dans une base de données intitulée « Evaluation de la production du bois dans les haies », créée spécialement pour ce travail sous le logiciel « Microsoft Access ».

Cette base de données a été structurée en 2 sections majeures par rapport à la nature des données récoltées (**Tableaux 2 à 5**) :

- Relevé sur la haie en quatre sections :
 1. Topographie, météo et sol
 2. Haie, dans son ensemble (hauteur, recouvrement, perméabilité)
 3. Côtés de la haie (occupation de sol et caractères de talus et fossé)
 4. Arbres et branches
- Relevé sur le chantier

La figure 10 représente schématiquement l'interface de saisie de cette base de données :

- EVALUATION DE LA PRODUCTION DE BOIS DANS LES HAIES -
Ecobio UMR 6553 CNRS-Université de Rennes1

Code haie terrain [35118_001] **[Id_Commune]:** 35118 **[Lat]:** _____
[Id_Haie]: _____ **[LieuDit]:** LA FOULERIE **[Long]:** _____
Code carto [DIC]: _____ **[NumHaieLieuDit]:** 1 **[Nom_Exploitant]:** Patrick BESNARD

Relevé sur la haie. Relevé sur le chantier.

F_Obs0_ReleveHaie

Auteur du relevé sur la haie: Date du relevé sur la haie:
[Id_Auteur] ALOTFI **[Date_Rel]** 20/03/2007

Topographie, météo et sol. Haie, dans son ensemble. Côtés de la haie. Arbres et branches.

F_Obs1_PermHaie

- Topographie -

Longueur totale de la haie (en m). **[Long]:** 85 Pente du terrain (en %). **[Pente]:** 20
Longueur étudiée de la haie (en m). **[LongEtu]:** 85 Position par rapport à la pente. **[Pos]:** 4
Orientation de la haie (direction du segment de droite par rapport aux points cardinaux). **[Ori]:** 1

- Nature du sol (Chambres d'Agriculture) -

Type de substrat. **[NatSol_1_Sub]:** N Impact visuel du vent. **[CMeteo1_IVV]:** _____
Hydromorphie. **[NatSol_2_Hyd]:** 3 Force moyenne du vent (m/s). **[CMeteo2_FV]:** _____
Type de sol. **[NatSol_3_Typ]:** B Direction du vent dominant. **[CMeteo3_DV]:** _____
Profondeur. **[NatSol_4_Prof]:** 5 Cumul annuel des précipitations (mm). **[CMeteo4_P]:** _____

- Données météorologiques moyennes -

[StationMeteo]: _____

Figure N° 10 : L'écran de saisie de la base des données, réalisé pour gérer et stocker les données de la production des haies.

Nom	Code	Description	Mode d'acquisition	Expression	Nature
Espèce de l'arbre	Esp	L'essence de chaque arbre	Observation	Nom d'espèce	Nominale
Hauteur de l'arbre	Hat	Hauteur du tronc de l'arbre	Mesure avec Blume-Leiss	En mètre	Quantitative
Diamètre à 1m30	Dia	Diamètre de tronc à hauteur de 1m30	Mesure avec compas forestier	En Cm	Quantitative
Distance voisine	Dis	La distance avec l'arbre suivant	Mesure sur le terrain	En mètre	Quantitative
Age de branche	Age	Age des branches depuis la dernière coupe	Mesure des cernes des branches	En an	Quantitative
Mode de traitement des arbres	Tra	Le mode d'entretien des arbres (Ragosse, Cépée, Haut jet).	Observation sur le terrain	3 modalités	Nominale
Nombre de branche	Nb	Nombre de branches coupées de chaque arbre	Comptage sur chantier émondage	Nombre	Quantitative
Classe de diamètre/Circonférence	Dib	Le diamètre/circonférence de chaque branche	Mesure sur chantier émondage	En cm	Quantitative

Tableau N° 2 : Description des variables décrivant les arbres et les branches, recueillies sur les haies étudiées.

Nom	Code	Description	Mode d'acquisition	Expression	Nature
Type de Haie	TypH ai	Le type de haie qui représente le type de traitement le plus fréquent sur la haie (Cépée, Emonde/Haut jet, Cépée et Emonde/Haut jet) en 3 classe de qualité pour chaque un	Observation sur le terrain	9 modalités (3Types* 3Classes=9)	Nominale
Hauteur Maximale	Hma	La hauteur de l'arbre le plus haut de haie	Mesure sur l'arbre	En mètre	Quantitative
Hauteur Dominante	Hdo	La hauteur dominante des arbres	Mesure sur terrain	En Cm	Quantitative
Recouvrement	Rco	Le recouvrement de canopée	Estimation sur le terrain	5 modalités (de 0% au 100%)	Nominale
Perméabilité	Perm	La perméabilité de la haie au vent	Estimation sur le terrain	5 modalités (de 0% au 100%)	Nominale
Largeur de canopée	Lca	La largeur de canopée sur l'ensemble de haie	Mesure/Estimation sur le terrain	En mètre	Quantitative
Traitement Majeur	TraH	Le principal mode d'entretien des arbres	Observation sur le terrain		Nominale
Largeur de Talus	Lt	Largeur moyenne de talus sur l'ensemble de la haie	Estimation sur le terrain	En mètre	Quantitative
Hauteur de Talus	Ht	Hauteur moyenne de talus sur l'ensemble de la haie	Estimation sur le terrain	En mètre	Quantitative
Largeur de Fossé	Lf	Largeur moyenne de fossé sur l'ensemble de la haie	Estimation sur le terrain	En mètre	Quantitative
Profondeur de Fossé	Pf	Profondeur moyenne de fossé sur l'ensemble de la haie	Estimation sur le terrain	En mètre	Quantitative
Espèce dominante	EspDo	Essence arborée dominante dans les plaquettes.	Observation pendant le chantier	Nome d'espèce	Nominale
Matériel de coupe	MtUC	Matériel utilisé pour la coupe des branches (Tronçonneuse ou Lamier)	Observation et demande d'agr.	2 modalités.	Nominal

Tableau N° 3 : Description des variables structurales des haies étudiées.

Nom	Code	Description	Mode d'acquisition	Expression	Nature
Occupation du sol	Ocsol	Nature de l'occupation du sol des parcelles adjacentes des haies (culture, prairie, chemin,)	Observation sur le terrain	8 modalités	Nominale
Pourcentage de la pente	Pent	Le pourcentage de pente générale de terrain	Estimation sur le terrain	En pourcentage	Quantitative
Position par rapporte de la pente	PoPen	La position de la haie par rapport à la pente (parallèle, perpendiculaire etc.)	Observation sur le terrain	4 modalités	Nominale
Position sur bassin versant	PoVer	La position de la haie dans le bassin versant (plateau, sommet/bas de versant, bords de cours d'eau)	Observation sur le terrain	4 modalités	Nominale
Orientation de la haie	Ori	Orientation de la haie par rapport aux points cardinaux (Nord, Nord-Est, Nord-Ouest, Est).	Vérification sur la carte	4 modalités	Nominale
Type de substrat	Sub	Le type de matériau géologique (granite, schiste etc.)	Consultation des cartes géologiques	5 modalités	Nominale
Hydromorphie de sol	Hyd	L'état d'hydromorphie du sol	Application de méthode tarière	10 modalités	Nominale
Profondeur de sol	Prof	La profondeur du sol selon les classes	Application de méthode tarière	5 modalités	Nominale

Tableau N° 4 : Description des variables environnementales des haies étudiées.

Nom	Code	Description	Mode d'acquisition	Expression	Nature
Volume de bois déchiqueté	Vol	Volume de bois déchiqueté (mètre cube apparent de plaquette).	Mesure sur le chantier	En Mètre cube	Quantitative
Poids frais de bois échiqeté	Pof	Le poids frais des plaquettes	Mesure sur le chantier	En Kg	Quantitative
Teneur en matière sèche	TeMS	Le pourcentage de matière sèche	Calculé à partir du poids frais et poids sec des échantillons.	En Pourcentage	Quantitative

Tableau N° 5 : Description des variables de productivité des haies.

2.5 Méthodes d'analyses des données :

L'objectif de cette partie est d'étudier les relations entre la productivité d'une haie, sa structure et les caractéristiques de son milieu, afin de pouvoir prédire la production de bois récoltable (sous forme de plaquettes). Les tableaux suivants ont été réalisés :

- Un tableau dans lequel les haies, en ligne, sont caractérisées par leur production des plaquettes en volume (MAP), poids frais (Kg) et poids sec (Kg), en colonne.
- Deux tableaux contenant les valeurs des variables structurales des haies, et les valeurs des variables de milieu, caractérisant l'environnement de ces mêmes haies.

2.5.1 Préparation et codage des données :

Pour coder les variables, nous avons utilisé différentes modalités par rapport à la nature de nos variables et le nombre d'individus en présence : deux modalités pour le talus (la présence et l'absence) ; la même chose pour le fossé ; quatre modalités pour le pourcentage de pente de terrain ; encore quatre modalités pour la position de la haie par rapport à la pente, la position de la haie dans le bassin versant, et l'orientation de la haie ; cinq modalités pour le type d'occupation du sol des parcelles adjacentes ; et encore cinq, pour le type de sous-sol et la profondeur de sol, dix modalités pour l'hydromorphie de sol, sept modalités pour le type de haie, quatre modalités pour la classe de haies, trois modalités pour le pourcentage de recouvrement, quatre pour la perméabilité, trois pour la largeur de la canopée, quatre pour la hauteur maximale et enfin, trois modalités pour la hauteur dominante de la haie. Toutes ces modalités ont été listées dans l'Annexe N° HA3.

Après ce codage, nous avons obtenu un tableau de distribution des fréquences des haies, dans les différentes modalités des variables.

2.5.2 Classification ascendante hiérarchique des haies en fonction des données structurales :

Le but des méthodes de classifications est de regrouper les individus en fonction de leurs caractéristiques; l'idée de cette méthode est donc, de constituer des groupes d'individus similaires (classes) sur la base de leur description par un ensemble de variables quantitatives, qualitatives binaires, ou éventuellement de tout type. Dans cette démarche, les individus les plus "ressemblants" seront réunis dans des groupes homogènes. Cette méthode est déjà utilisée par Didier Le Cœur, pour classier les haies de Pleine-Fougères selon six caractères structuraux des haies comme le recouvrement arboré et arborescente, la hauteur maximum et dominante, la largeur de la canopée et la largeur du talus-fossé (Le Cœur, 1996).

Dans cette étude, nous voudrions classier les haies par rapport à leur structure pour examiner s'il existe un lien entre cette classification statistique et la typologie descriptive utilisée sur le terrain. En effet, notre but est de justifier cette typologie descriptive, qui est plus simple à utiliser sur le terrain.

Les variables mesurées pour faire une classification hiérarchique sont :

- La hauteur maximale de la haie
- La hauteur dominante de la haie
- Le recouvrement arboré de la haie
- La perméabilité de la haie
- La surface de la canopée de la haie

Cette classification ascendante hiérarchique a été faite avec le logiciel R 2.7.0.

2.5.3 L'analyse de Co-inertie de l'ACP de la productivité des haies et de l'ACP de la structure et de l'ACM du milieu des haies.

L'étude des relations entre la production de bois des haies, leurs caractéristiques structurales et l'examen de l'effet des facteurs environnementaux, conduit à utiliser une analyse de co-inertie. L'analyse de co-inertie a pour but de comparer la structure de deux tableaux de données et de trouver la covariance maximale entre ces deux séries de données (Doledec et al., 1994 ; Dray et al., 2003).

Ce type d'analyse suppose trois étapes détaillées ci-après.

I) *ACP sur les données de production de la haie.*

L'ACP nous permet d'étudier les relations qui existent dans un tableau croisant des individus et des variables caractérisant ces individus.

Dans notre étude, les variables de haies étudiées sont les variables de la production de bois par les haies : le volume de plaquettes produit annuellement sur une longueur de 100 mètres de haie, le poids frais et le poids sec des plaquettes produites annuellement sur une longueur de 100 mètres de haie.

II) *ACM (Analyse des correspondances multiples) sur les caractéristiques de la haie.*

Ce type d'analyse traite des tableaux de fréquence, sur une population de N individus décrits par J variables qualitatives (résultat d'une transformation des variables numériques), auxquelles nous attribuons des modalités avant le traitement numérique, cette opération s'appellant le codage.

Une ACM sur des variables codées donne une autre approche du problème des données, nous pouvons mettre en évidence l'existence de liaisons non linéaires entre les variables. D'autre part nous travaillons avec des variables qualitatives dont la distribution ne répond pas à une loi normale. Par exemple, la variable de fossé ou de talus n'a que deux modalités 1 et 2, sa distribution ne peut donc pas répondre à une distribution normale. L'ACM permet de travailler en mélangeant des variables qualitatives et quantitatives et de les comparer ce qui est impossible avec l'ACP.

Les caractéristiques des haies qui constituent notre tableau de données sont comme ci-dessous :

- Type de haie« TYPE_HAIE »
- Classe de haie« CLASSIF_HAIE »
- Présence/Absence de talus« TALUS »
- Présence/Absence de fossé« FOSSE »
- Distance moyenne entre les arbres« CL_DIST_MOY_ARBRES »
- Premier traitement majeur sur la haie« TR.MAJ1 »
- Deuxième traitement majeur sur la haie« TR.MAJ2 »
- Espèce dominante« SP_DOMIN »
- Type de matériel utilisé pour coupe des branche ...« TYP_COUPE »
- Nombre d'arbre sur 100 ml« CL_NB_ARBRES »
- Pourcentage de Ragosse sur 100 ml« CL_RAGOSSE »
- Pourcentage de Haut jet sur 100 ml« CL_HAUTJET »
- Pourcentage de Cépée sur 100 ml« CL_CEPEE »

III) *Co-Inertie à partir des deux analyses précédentes.*

On peut utiliser l'analyse de Co-inertie entre une ACP (variables de production) et une ACM (caractères de milieu) afin de trouver leurs relations (Mercier et al., 1992 ; Thioulouse et al.,

2004). Les analyses de l'ACP, de l'ACM et l'analyse de co-inertie sont réalisées avec le logiciel ADE4 (Thioulouse, 1994).

La significativité de cette analyse a été vérifiée par le teste de permutation de Monte-Carlo (Dolédec et al., 1996).

3. Résultats et Discussion

3.1 Séchage des échantillons :

Les résultats du séchage des échantillons des plaquettes dans l'étuve à 105 C°, montrent qu'en moyenne ils perdent 99,0% de leur humidité dans les premières 24 heures (figure N° 11) et 99.6% jusqu'au deuxième. Au troisième jour, tous les échantillons perdent 100% de leur humidité.

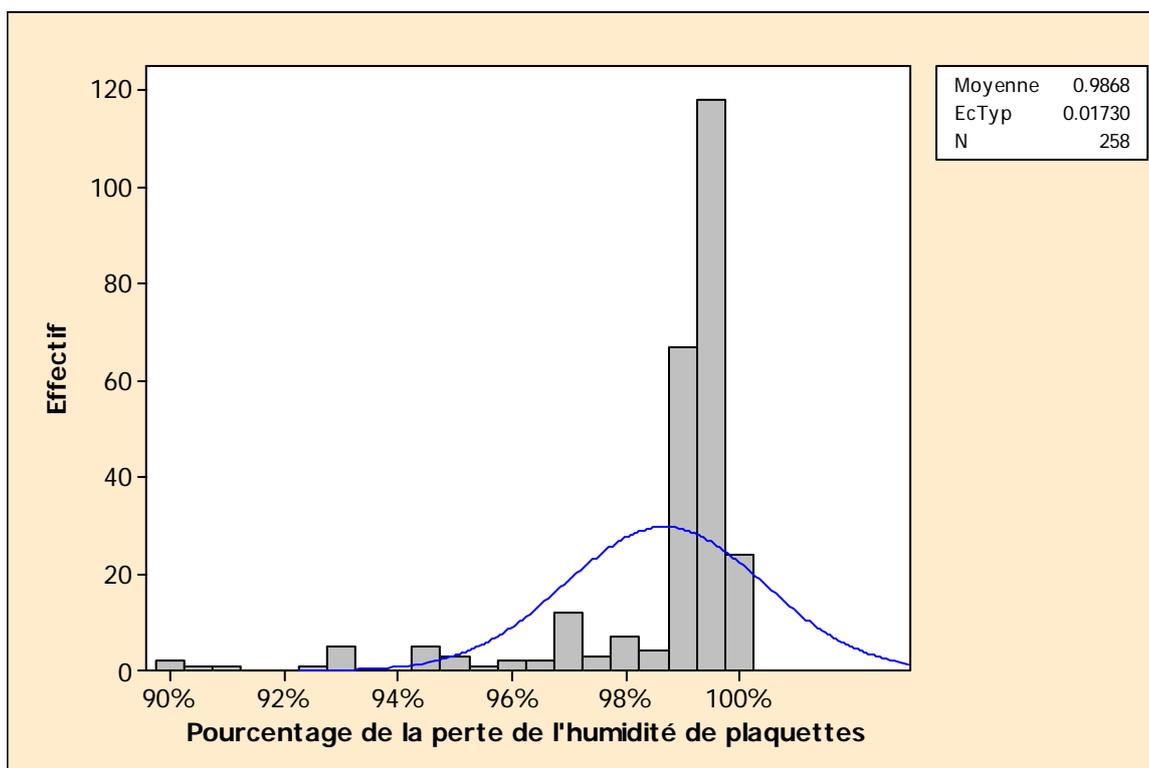


Figure N° 11: Histogramme de pourcentage de la perte de l'humidité des échantillons de plaquettes dans l'étuve, après les premières 24 heures.

La moyenne de matière sèche de chaque chantier a été utilisée pour calculer le poids sec (la teneur en matière sèche) des plaquettes à 0% d'humidité.

3.2 La variabilité de la production inter-haie du bois :

La production de bois (plaquettes) des haies étudiées en terme de volume et poids a été mesurée. La production totale de ces 38 haies est de 916,3 map (map = mètre cube apparent plaquettes) ou 300,67 tonnes. Avant de présenter les résultats détaillés des analyses statistiques, on présente une vue générale de la productivité des haies.

Pour tenir compte des différences de temps écoulé depuis la dernière exploitation (de 7 à 35 ans) et de la longueur différente de ces haies (de 53 à 386 mètres), et pour pouvoir comparer ces haies en éliminant l'effet de l'âge, on a calculé cette production de manière annuelle sur une longueur définie de 100 mètres. Cette production varie énormément entre 0,2 et 3,0 map.

La haie la plus productive est une haie majoritairement constituée de châtaignier et de noisetier, âgée de 16 ans et très dense (la distance moyenne entre les souches est de 1,3m) et conduite en taillis. Tous les brins ont été récupérés et déchetés. Par contre, la haie la moins productive est une haie constituée majoritairement d'arbres de haut jet de chêne, dont les branches basses ont été élaguées. La variabilité de ces haies par rapport à leur productivité (poids et volume de plaquettes), la longueur, le nombre d'arbres et l'âge des branches sont présentés dans la figure suivante.

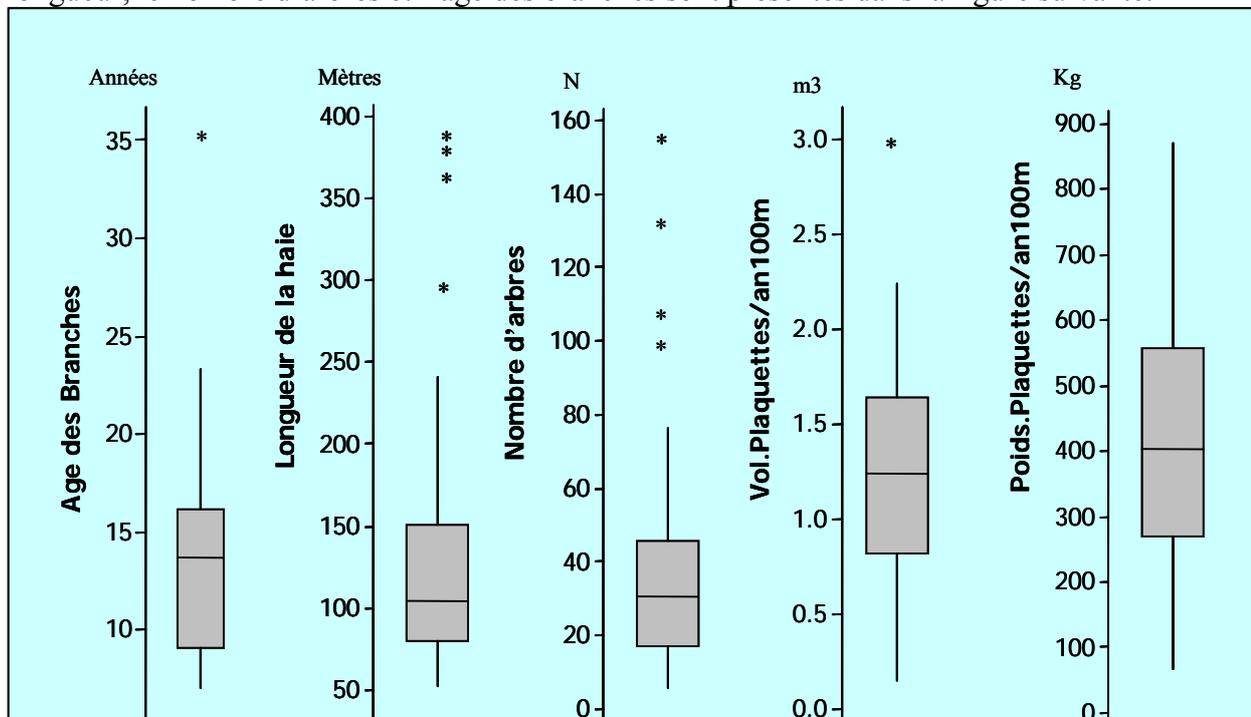


Figure N° 12 : Statistique descriptive des variables quantitatives de 38 haies étudiées. (cf. tableau N° 6).

La moyenne d'âge des branches est de 13,7 ans, mais elle varie entre 7 et 35 ans. On voit cette variabilité pour la longueur des haies traitées, avec une moyenne de 139 mètres. Le nombre d'arbres sur un linéaire de 100 mètres est aussi très variable: entre 10 et 84 arbres avec une moyenne de 31 arbres sur 100 mètres linéaire pour toutes les haies.

Sur le volume de plaquettes on voit aussi une grande variabilité, la production moyenne des plaquettes mesurée en volume est de 1,3 m³ pour un linéaire de 100 mètres. La production des plaquettes mesurée en poids est aussi très variable, entre 65 Kg et 871 Kg sur un linéaire de 100 mètres. En moyenne ces haies ont une production de 418 Kg/100m.

Nous avons aussi considéré la variabilité de ces haies en regardant quelques caractères qualitatifs (Figure N° 13). Le châtaignier et le chêne constituent les essences principales respectivement dans 47% et 26% des haies observées. Le saule et l'aulne et le noisetier sont les autres essences dominantes dans quelques haies.

Le traitement principal est le recépage, observé dans 42% des haies étudiées, mais l'élagage est le traitement le moins rencontré sur les observations. Par contre sur 40% des haies (14 haies) on a observé deux types de traitement, recépage avec émondage ou élagage avec recépage.

Par rapport au type de haie, le type 5 (les haies de Haut jet/Émonde avec taillis de moyenne qualité) est le type dominant dans les haies observées. Les taillis de bonnes qualités constituent 21% des haies; 32% des cas sont des taillis, 49% des taillis avec haut jet/émonde et 19% des haut jet/émonde.

Beaucoup de ces haies sont situées sur un plateau (66%) et seulement 3% sont en bas de versant. La direction de Nord-Sud est l'orientation la plus fréquente pour les haies tandis que 21% des haies sont placées sur l'orientation Est-Ouest.

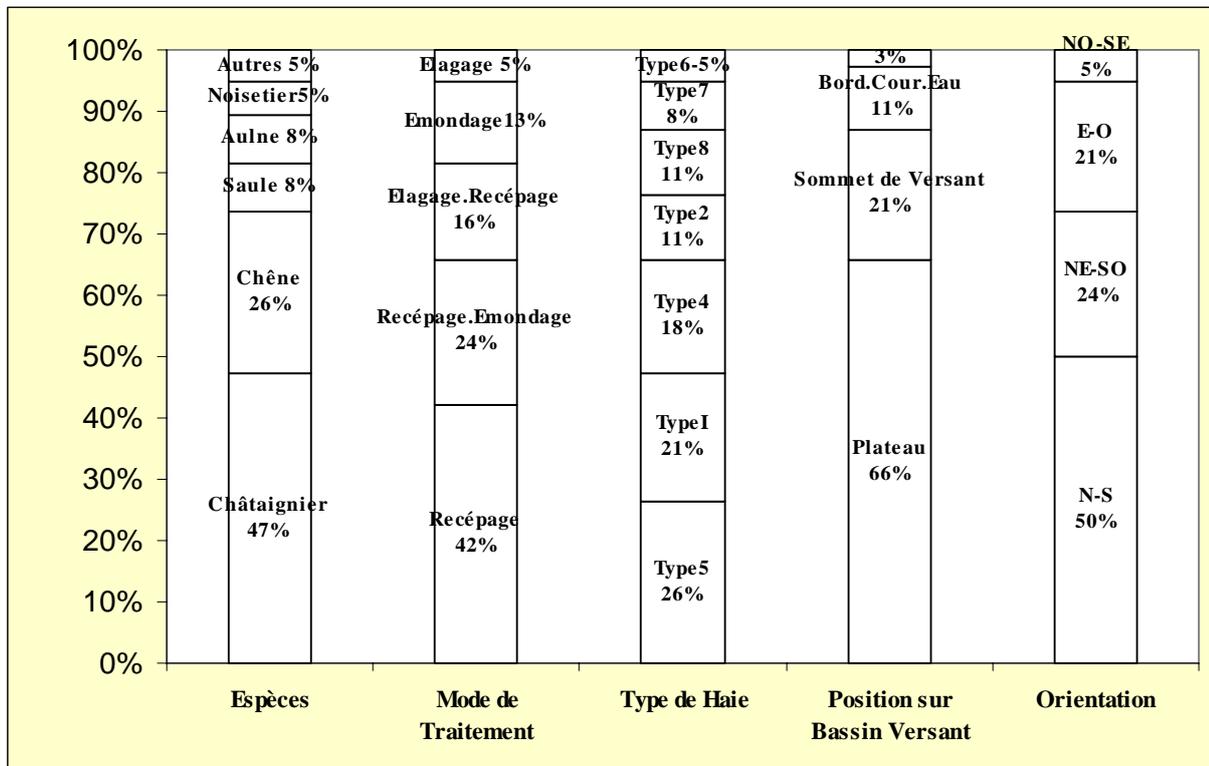


Figure N° 13: Composition en essences dominantes, mode de traitement, type de haie, position sur le bassin versant et orientation des différentes haies étudiées (cf. tableau N° 6).

Pour les types, voir section 4-1.

Les résultats détaillés sont présentés dans les tableaux suivants selon les caractéristiques de chaque haie.

N° de haie	Longueur (m)	Espèces dominantes	Traitement Majeur	Age des Branches (Années)	Nombre D'arbres	Type De Haie	Occupation de Sol	Orienta tion	Vol/An /100m (map)	Poids/An/ /100m (kg)
S6-BES 1	123	Saule	Recépage	9	35	Type 5	Pr/Pr	E-O	1.2	311
S6-BES 2	53	Chêne	Elagage	9	9	Type 8	Pr/Riv	N-S	0.8	243
S6-BES 3	80	Aulne	Recépage	9	14	Type 2	Pr/Riv	N-S	0.9	268
S6-DUB 1	105	Châtaignier	Recépage	15	77	Type 1	Pr/Cult	N-S	2.0	749
S6-DUB 2	65	Noisetier	Recépage	15	46	Type 4	Pr/Pr	NE-SO	2.1	731
S6-DUB 3	75	Noisetier	Recépage	15	51	Type 4	Pr/Pr	NE-SO	1.5	550
S6-RON 1	97	Saule	Recépage	18	31	Type 5	Pr/Pr	NE-SO	1.3	416
S6-RON 2	200	Châtaignier	Recépage	9	35	Type 6	Cult/Cult	E-O	1.4	488
S6-RON 3	221	Châtaignier	Recépage	13	98	Type 1	Cult/Chem	E-O	1.4	422
S6-RON 4	56	Châtaignier	Recépage	16	7	Type 5	Pr/Cult	NO-SE	0.7	267
S6-RON 5	113	Châtaignier	Recépage	8	21	Type 5	Pr/Pr	E-O	0.9	280
S6-DES 1	100	Châtaignier	Recépage	15	24	Type 7	Pr/Cult	N-S	1.3	336
S6-DES 2	115	Chêne	Elagage	9	22	Type 8	Cult/Bois	N-S	1.5	433
S6-DES 3	241	Chêne	Emondage	9	36	Type 7	Cult/Chem	NO-SE	1.1	326
S6-PRO 1	148	Châtaignier	Recépage	18	32	Type 1	Pr/Pr	E-O	1.7	580
S6-DUP 1	135	Châtaignier	Elagage	11	31	Type 5	Pr/Pr	N-S	0.6	217
S6-DUP 2	100	Châtaignier	Recépage	20	17	Type 4	Cult/Bois	N-S	1.0	330
S6-GIR 1	126	Châtaignier	Recépage	12	28	Type 1	Cult/Chem	N-S	1.9	597
S6-GIR 2	380	Châtaignier	Elagage	9	38	Type 5	Pr/Cult	N-S	0.8	259
S6-BAR 1	90	Aulne	Recépage	12	12	Type 2	Pr/Riv	N-S	1.7	450
S7-BES 1	95	Frêne	Recépage	12	30	Type 2	Cult/Cult	NE-SO	1.0	338
S7-BES 2	145	Chêne	Elagage	14	105	Type 5	Pr/Cult	E-O	0.8	258
S7-BES 3	63	Saule	Recépage	18	18	Type 2	Cult/Chem	NE-SO	1.5	481
S7-BOI 1	190	Châtaignier	Recépage	20	131	Type 5	Cult/Chem	E-O	0.9	345
S7-BOI 2	293	Châtaignier	Recépage	16	153	Type 4	Pr/Chem	N-S	1.6	540
S7-BER 1	97	Châtaignier	Recépage	15	30	Type 1	Pr/Chem	N-S	1.3	399
S7-BAR 1	386	Chêne	Emondage	16	46	Type 8	Cult/Cult	NE-SO	1.3	403
S7-DES 1	360	Châtaignier	Recépage	8	68	Type 5	Pr/Pr	N-S	2.0	606
S7-COL 1	75	Châtaignier	Recépage	16	63	Type 1	Pr/Pr	NE-SO	3.0	589
S7-BOU 1	160	Aulne	Recépage	23	44	Type 1	Pr/Riv	N-S	2.1	871
S7-DEN 1	105	Chêne	Emondage	7	13	Type 8	Cult/Cult	N-S	1.7	541
S7-DEN 2	130	Chêne	Emondage	7	19	Type 5	Cult/Cult	N-S	2.3	752
S7-DEN 3	75	Chêne	Emondage	35	17	Type 7	Cult/Cult	N-S	0.8	244
S7-DVB 1	104	Sureau	Recépage	12	32	Type 4	Pr/Riv	NE-SO	0.9	304
S7-DVB 2	80	Châtaignier	Recépage	12	14	Type 6	Cult/Bois	NE-SO	2.1	672
S7-DVB 3	100	Châtaignier	Elagage	10	36	Type 4	Pr/Cult	N-S	0.5	152
S7-DVB 4	77	Chêne	Elagage	15	18	Type 1	Pr/Chem	E-O	0.2	66
S7-DVB 5	135	Chêne	Elagage	15	49	Type 4	Cult/Cult	N-S	0.2	65

Tableau N° 6 : La description des haies étudiées.

3.3 Classification des haies

Pour classer les haies, on a choisi la méthode de Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) qui consiste en deux étapes suivantes :

- I) Une méthode d'ordination par l'analyse factorielle des correspondances
- II) Un groupement des observations calculé d'après la distance euclidienne pour les séparer dans l'espace de l'AFC précédente, avec, comme algorithme de groupement de la méthode de Ward.

3.3.1 Typologie des haies selon leurs caractéristiques structurales.

Pour faire une classification selon la méthode ascendante hiérarchique, 5 variables structurales de la haie (hauteur maximale, hauteur dominante, largeur de canopée, recouvrement arboré et perméabilité) ont été prises en considération. Ces cinq variables sont présentées dans plans factoriels F1&F2 de l'AFC comme ci-dessous (figure N° 14). Dans la figure N° 15, les haies ont été présentées dans le plan factoriel selon ces cinq variables.

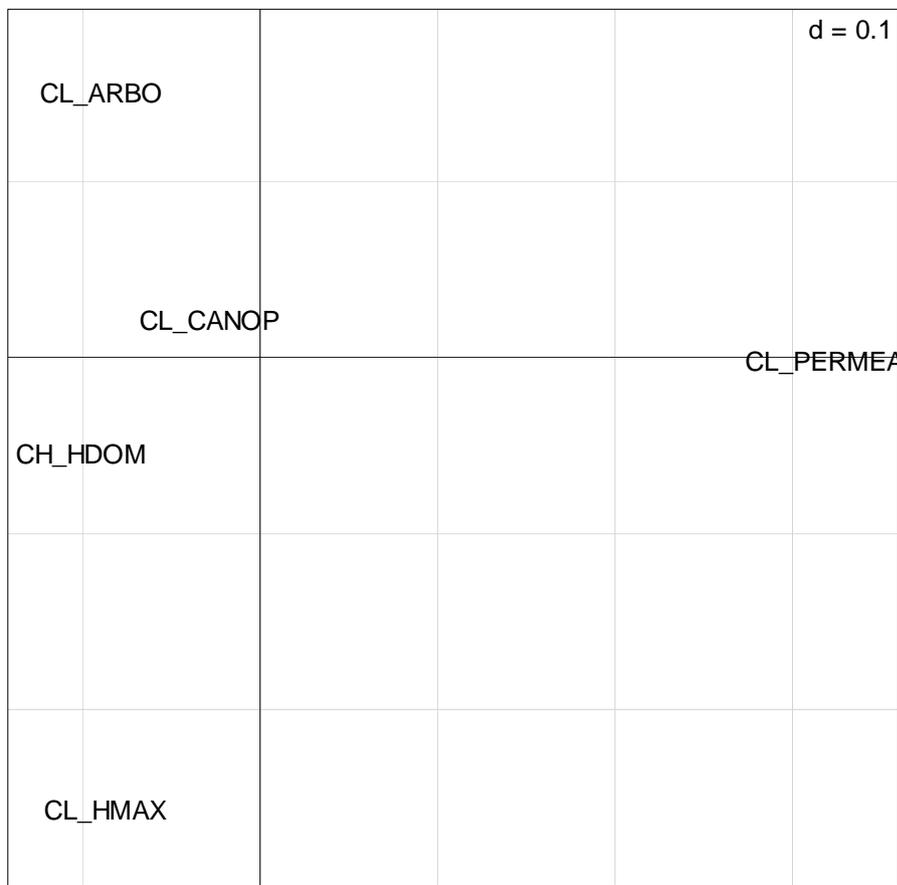


Figure N° 14 : Représentation graphique des variables structurales dans plan factoriel de l'AFC

Après classification, on est arrivé à 4 classes selon les critères considérées. La figure N° 13, représente ces classes avec les haies étudiées dans le plan factoriel.

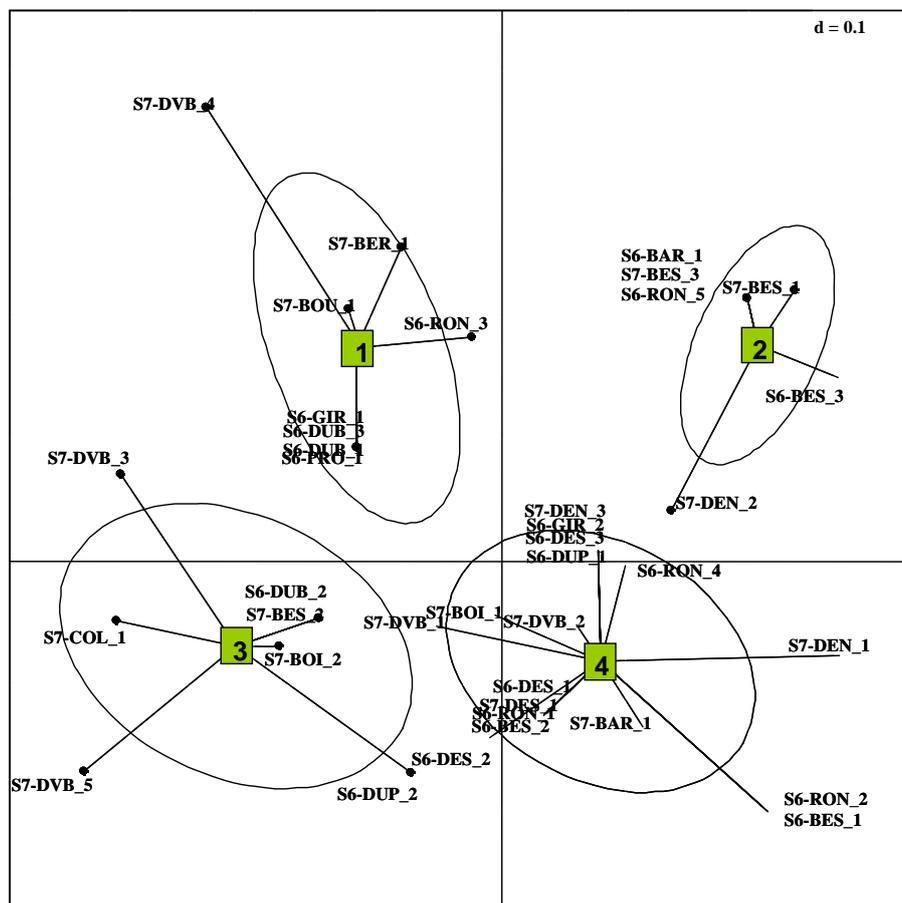


Figure N° 15 : Position des haies et des classes identifiées par CAH dans le plan factoriel de l'AFC.

3.3.2 Description statistique des résultats de la classification

Dans le tableau ci-dessous, les moyennes des trois variables continues sont présentées pour chacune des classes identifiées. La description graphique de deux variables de recouvrement et perméabilité (la proportion des modalités) est également représentée dans les figures N° 16 et 17.

	Largeur moyenne de Canopée	Moyenne de Hauteur maximum	Moyenne de Hauteur dominante
Classe 1	6	10	8
Classe 2	6	9	6
Classe 3	11	18	10
Classe 4	8	16	9

Tableau N° 7: Description statistiques des classes issues de la classification hiérarchique par la moyenne des variables continues

En tenant compte des résultats présentés, on trouve une bonne conformité entre les classes identifiées et les types de haies utilisées comme typologie des haies pour discriminer les haies sur le terrain (6-1-1).

Les haies dans la classe 1 correspondent à des haies caractérisées par leur hauteur moyenne qui est faible par rapport aux classes 3&4.

La différence entre la hauteur maximum et la hauteur dominante dans cette classe n'est pas importante, ce qui indique que tous les arbres ont à peu près une hauteur entre 8 à 10 mètres. Par contre, le canopée dans cette classe n'est pas très large, ce qui veut dire que les arbres ont une dimension moyenne. Tous les arbres de cette classe correspondent exactement au type numéro 1 de notre méthode visuelle de typologie (partie 6-1-1) ; c'est-à-dire une haie de taillis. Par contre, les données sur le recouvrement et la perméabilité montrent très bien la « bonne » qualité de ce type de haie. 88 % des haies dans cette classe ont un recouvrement plus de 75% et une perméabilité moins de 25%, ce qui indique que les canopées de ces haies sont très fermées (Figures N° 16 & 17).

Dans la deuxième classe identifiée par la CAH, des haies avec une hauteur moyenne ont été rassemblées. Par rapport à la classe précédente, la hauteur des arbres de cette classe est un peu moins élevée, et la différence entre la hauteur maximale et la dominante est un peu plus élevée (tableau N° 7).

En terme de pourcentage de recouvrement et de perméabilité, les haies dans cette classe sont plus ouvertes et moins denses, car leur recouvrement est moins important que celui de la classe précédente (entre 50-75%) et leur perméabilité est plus forte (83%, ont une perméabilité entre 25-50%) (Figures N° 16 & 17).

Ces chiffres montrent que la qualité de cette classe est moins bonne que celle de la classe 1 (moins haute, moins recouvrement et plus de « trous »)

Dans notre typologie, cette classe correspond aussi très bien aux haies de type 2, c'est-à-dire les haies de taillis de moyenne qualité (partie 6-1-1).

La troisième classe contient des haies très hautes (hauteur maximale à 18m) avec une canopée très large (11 mètres) (tableau N° 7). En terme de recouvrement, on remarque très bien que le recouvrement de toutes les haies est plus de 75 % et par contre, 86 % des haies ont une perméabilité de moins de 25 % (figures N° 16 & 17), ce qui indique que les haies de cette catégorie sont très denses, avec des canopées très larges et moins de trous.

Cette catégorie correspond totalement, au type 4 de notre typologie visuelle, c'est-à-dire les arbres d'émondés et/ou haut jet avec des taillis de bonne qualité (Partie 6-1-1).

Les haies classées dans la quatrième classe identifiée, sont des haies similaires à la classe précédente, mais moins hautes (la moyenne de leur hauteur maximale est de 16m) avec une largeur de canopée de 8 mètres, ce qui indique que ces haies ont des canopées moins larges et donc, contiennent des cépées (tableau N° 7).

Le recouvrement des haies dans cette classe est aussi faible que dans la classe précédente, car, seulement 18 % des haies ont un recouvrement supérieur de 75 %. Au contraire, 100 % des haies ont une perméabilité supérieure de 25%, ce qui signale que ces haies sont moins denses et ont plus de trouées que les haies de la classe 3 (Figures N° 16 & 17).

Cette classe correspond aux types 5, 6, 7 et 8 de notre échelon de typologie visuelle de haie (partie 6-1-1), utilisée sur le terrain. C'est donc de loin la plus hétérogène des quatre classes fournies par la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).

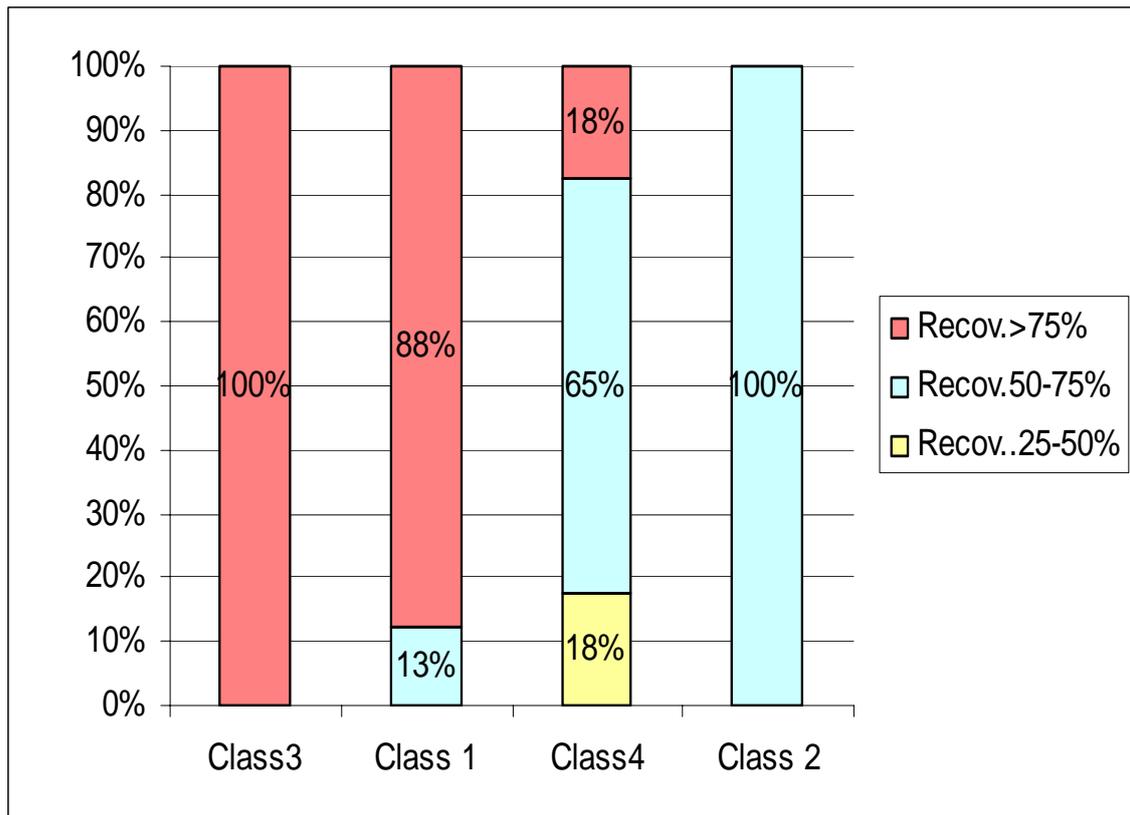


Figure N° 16: Proportions des modalités de recouvrement arboré dans les 4 classes de type de haie.

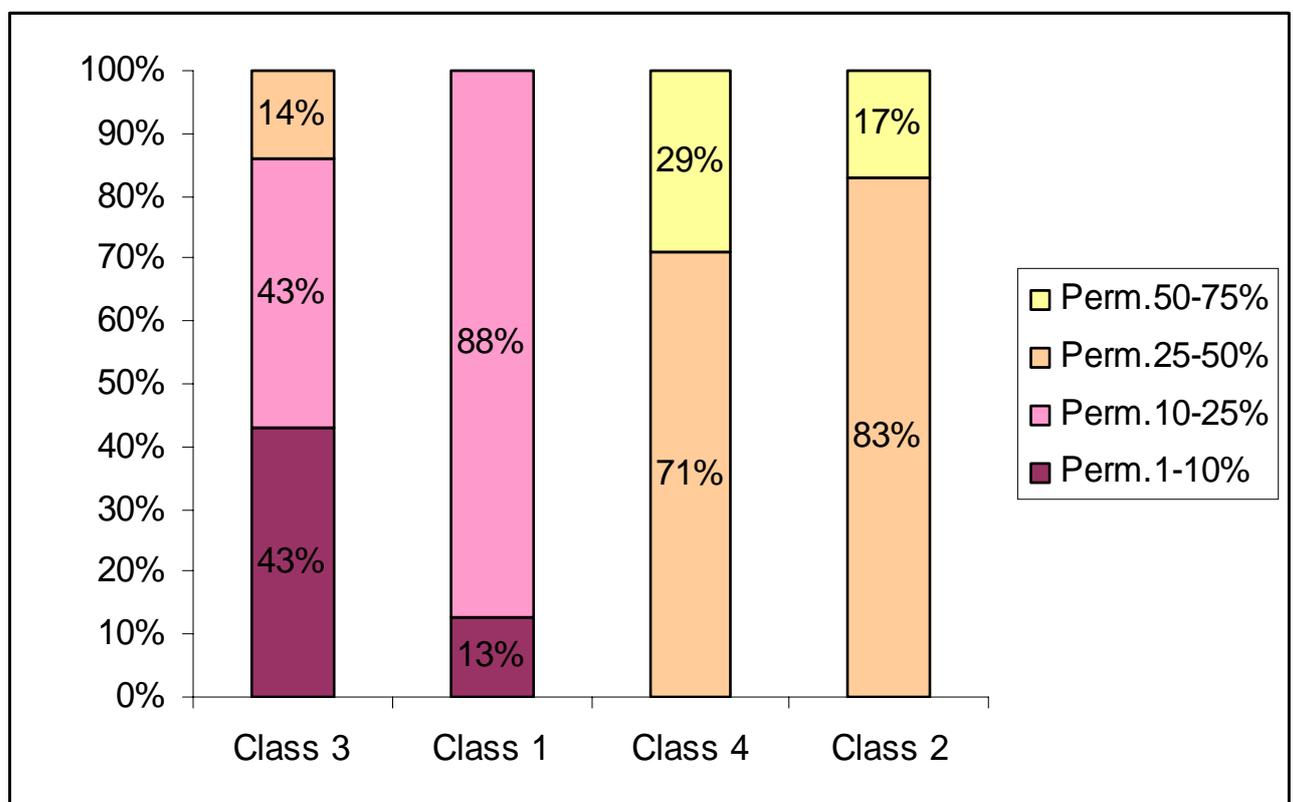


Figure N° 17: Proportions des modalités de perméabilité dans les 4 classes de type de haie.

3.3.3 Conclusions de la classification ascendante hiérarchique:

La classification ascendante hiérarchique portant sur les variables structurales des haies (hauteur maximale, hauteur dominante, largeur de canopée, recouvrement arboré et perméabilité) nous a conduit à 4 classes de haies. Le but de cette classification était de justifier l'utilisation de la typologie visuelle et de simplifier le fait de décrire des haies, sans beaucoup de mesure, de manière à ce que cette typologie soit capable d'une part, de prédire le volume végétal et d'autre part, d'être utilisée comme un indice dans notre méthode.

Trois classes parmi les quatre classes identifiées, sont totalement correspondantes aux types décrits sur le terrain :

- Classe I = Type 1= Les haies de cépée (Taillis) de bonne qualité.
- Classe II = Type 2= Les haies de cépée (Taillis) de moyenne qualité.
- Classe III= Type 4= Les haies de haut jet/émondé avec cépée de bonne qualité.

La quatrième classe regroupe les types suivants :

- Type 5= Les haies de Haut jet/Emondé avec taillis de moyenne qualité
- Type 6= Les haies de Haut jet/Emondé avec taillis de médiocre qualité
- Type 7= Les haies de Haut jet/Emondé de bonne qualité
- Type 8= Les haies de Haut jet/Emondé de moyenne qualité

Ces types sont des haies de ragosses et/ou haut-jet pur sans ou avec des cépées de moyenne qualité. Les données sur seulement 38 haies, ne nous ont pas permis de discriminer tous les types de cette classe, car ces haies en majorité sont des haies dégradées (qualité moyenne) et les critères de leur hauteur ne sont pas très discriminants.

3.4 Etude des relations entre la structure des haies et la production de plaquettes : Résultats d'analyse de Co-inertie.

Comme on vient de l'expliquer, l'analyse de Co-inertie consiste en trois étapes, et dans chaque étape, les résultats sont les suivants:

3.4.1 Relations entre les variables de productivité des haies : Résultats d'ACP sur les données de production de la haie.

Les données de base sont les données de la production des haies (volume, poids frais et poids sec des plaquettes), toutes calculées sur un linéaire de 100 mètres par an.

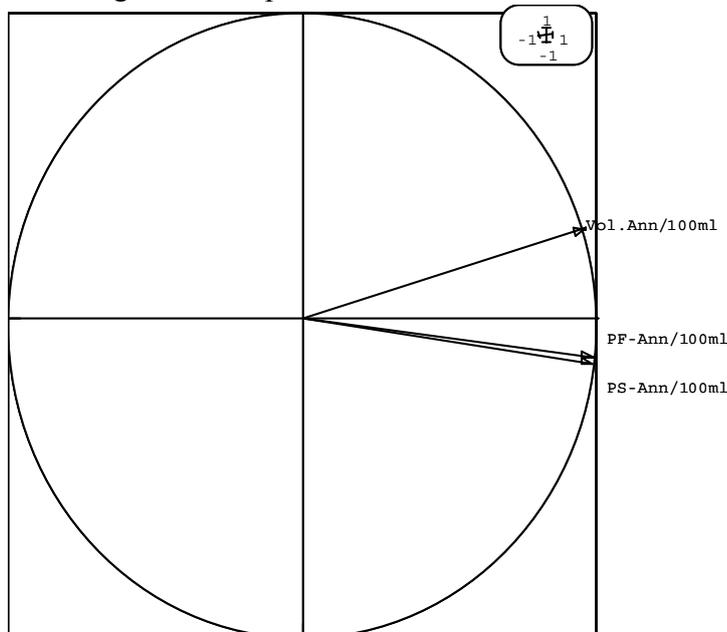
L'analyse d'ACP sur les données de la productivité nous donne les résultats suivants :

- Résultats des axes 1 et 2 du bilan des variables :

Axes	1	2	3
Valeurs propres (variance sur les axes principaux)	2,877	1,114	1,167
Contribution à la variation totale	0,959	0,037	0,0039
Contribution cumulative	95,9%	99,61%	100,0%

Tableau N° 8: Analyse des valeurs propres de la matrice de corrélation

D'après les résultats d'analyse, présentés dans le tableau au-dessus, on voit que 95.9% de l'inertie est portée par le premier axe et seulement 3% par le second axe. Le plan F1-F2 contient donc 99.6% de l'inertie du tableau de départ. Il doit être essentiellement interprété comme un gradient de production de bois sur l'axe 1.



Graphique N° 18: Cercle de corrélation entre les variables de la productivité des haies (VOL.ANN/100ml = Production annuelle de plaquette en mètre cube, sur une longueur de

100m, PF.ANN/100ml =Poids frais des plaquettes sur une longueur de 100m, produit annuellement, PS.ANN/100ml =le poids sec des plaquettes sur une longueur de 100m, produit annuellement).

Sur le graphe ci-dessus, les trois variables de productivité sont corrélées à l'axe F1, ce qui indique que cet axe porte le maximum d'inertie de ces trois variables. Les vecteurs représentant les variables liés au poids (poids frais et poids sec) sont très corrélés sur le graphe, ce qui est normal ; car le poids sec est calculé à partir des données de poids frais.

On remarque que le vecteur de volume des plaquettes est loin des vecteurs des poids. Ce résultat est acceptable, puisque toutes les plaquettes de toutes les haies ne sont pas produites par une seule essence d'arbre et il y a différentes proportions de chaque essence dans ces plaquettes. Tenant compte de la différence entre la densité de bois des différentes essences (c'est-à-dire le poids par unité de bois), on peut envisager que ces vecteurs ne soient pas aussi proches que les deux premiers (Figure N° 18).

Les corrélations entre ces variables sont les suivantes ;

	Volume (Ann./100ml)	Poids Frais (Ann./100ml)	Poids Sec (Ann./100ml)
Volume de plaquette (Annuelle/100ml)	1,000		
Poids frais de plaquette (Annuelle/100ml)	0,917	1,000	
Poids sec de plaquette (Annuelle/100ml)	0,910	0,988	1,000

Tableau N° 9: Coefficients de corrélation calculés pour les variables de productivité des haies.

On aurait pu n'utiliser que l'une d'entre elles et la relier par régression aux différentes variables explicatives, mais on a choisi de les garder toutes les trois pour permettre de voir en même temps l'influence des différentes variables par des analyses multivariées.

Les haies sont projetées dans cet espace de cette façon :

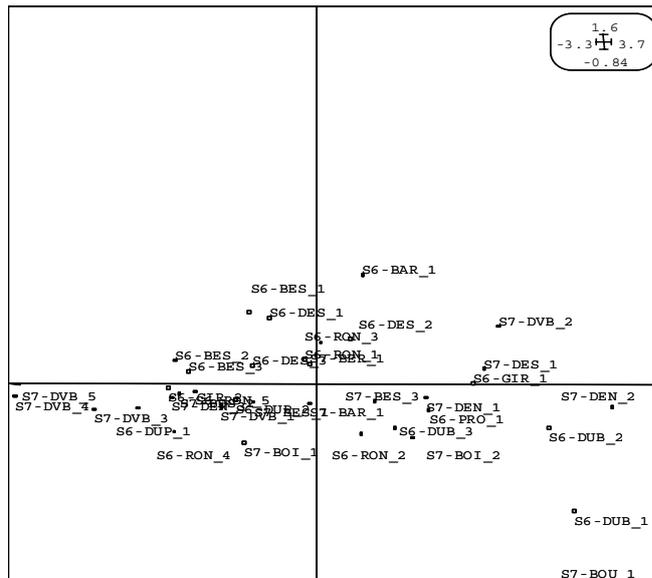


Figure N° 19: Projection des haies sur le plan factoriel F1-F2.

La présentation graphique de résultat dans le plan factoriel défini par les deux premiers axes montre que :

- Le gradient de production a étalé les haies sur l'axe horizontal (F1, 95,9%) et l'axe F2 n'a pas beaucoup d'intérêt (4,1%).
- Les haies comme S6-BAR1, S7-DVB-2, S6-DES-2, sont mieux représentées par la variable « volume » que par la variable « poids ».
- Les haies S7-BOU1, S6-DUB2, S6-DUB2, S7-DEN2, sont mieux représentées par le poids que par le volume.
- Les haies S6-DUP1, S6-RON4, S7-DVB3, S7-DVB4, S7-DVB5, S7-DVB1, S6-GIR2, S6-RON5, S7-BES2, ont moins de productivité (elles sont représentées dans partie gauche du plan factoriel, à l'opposé des trois vecteurs productivité). Selon les données brutes de terrain, ces haies ont été coupées partiellement ou elles sont fait l'objet d'un élagage léger :
 - ❑ Haie N° S6-DUP1, est une haie discontinue de haut jet de châtaignier et quelques souches de châtaignier. Cette haie est principalement élaguée. La distance moyenne entre les arbres est de 5 mètres et il n'y a pas des trous entre les arbres (perméabilité de 40%).
 - ❑ Haie N° S6-RON4 est une haie qui contient des arbres de cèpée et haut jet de châtaignier et de ragosse de chêne. Cette haie est située entre deux propriétaires, donc seulement un côté de la haie a été émondé et recépé. Cette haie présente un espacement important entre les arbres (la distance moyenne est de 8 mètres) et une perméabilité très importante (près de 50%). Donc, le taux bas de récolte de bois est lié à la structure de la haie et à l'élagage et à l'émondage partiel de la haie.
 - ❑ Haie S7-DVB3 est une haie totalement constituée de haut-jet de châtaignier. Cette haie a été élaguée avec un lamier, donc la production de bois est très faible. L'élagage et le traitement des arbres par lamier sont des raisons, pour les quelles la productivité n'est pas forte.

- Haie S7-DVB4 est une jeune haie, plantée en 1993. Les 25 jeunes arbres sont traités par un élagage léger et 6 jeunes arbres (19% des arbres) sont conduits en cépée. Donc la jeunesse des arbres et le mode de traitement a vraisemblablement diminué la productivité de la haie.
 - Haie S7-DVB5 est constituée essentiellement de vieux arbres de haut-jets de chêne qui sont partiellement élagués d'un côté de la haie. Par contre les grosses branches sont valorisées en bûches. Autrement dit, le type de traitement et la valorisation des bûches ont déterminé la faiblesse de production du bois de cette haie.
- On retourne donc ici sur l'axe 1, une projection des haies selon leur production de bois, comme déjà indiqué précédemment.

3.4.2 Etude des relations entre les variables structurales des haies : Résultat d'ACM sur les caractéristiques de la haie.

Pour étudier les différences entre les 38 haies recensées sur la base de leurs critères structuraux et des relations qui existent entre ces variables, on a fait une analyse de correspondance multiple sur les données structurales des haies :

- Type de haie« TYPE_HAIE »
- Classe de haie« CLASSIF_HAIE »
- Présence/Absence de talus« TALUS »
- Présence/Absence de fossé« FOSSE »
- Distance moyenne entre les arbres« CL_DIST_MOY_ARBRES »
- Premier traitement majeur sur la haie« TR.MAJ1 »
- Deuxième traitement majeur sur la haie« TR.MAJ2 »
- Espèce dominante « SP_DOMIN »
- Type de matériel utilisé pour coupe des branches...« TYP_COUPE »
- Nombre d'arbre sur 100 ml« CL_NB_ARBRES »
- Pourcentage de Ragosse sur 100 ml« CL_RAGOSSE »
- Pourcentage de Haut jet sur 100 ml« CL_HAUTJET »
- Pourcentage de Cépée sur 100 ml« CL_CEPEE »

Ces données ont été recodées en classes d'intensité ou présence-absence.

Les premières valeurs propres issues de l'analyse ACM, sont les suivantes :

Axes	1	2	3	4	5	6
Valeurs propres (variance sur les axes principaux)	4,415	2,885	2,681	2,173	2,028	2,005
Contribution à la variation totale	0,143	0,094	0,087	0,071	0,066	0,065
Contribution cumulative	14,3%	23,7%	32,4%	39,5%	46,1%	52,6%

Tableau N° 10: Analyse des valeurs propres de la matrice de corrélation

On voit que le plan F1xF2 ne porte que 23.73% de la variance du tableau de données, ce qui est relativement peu.

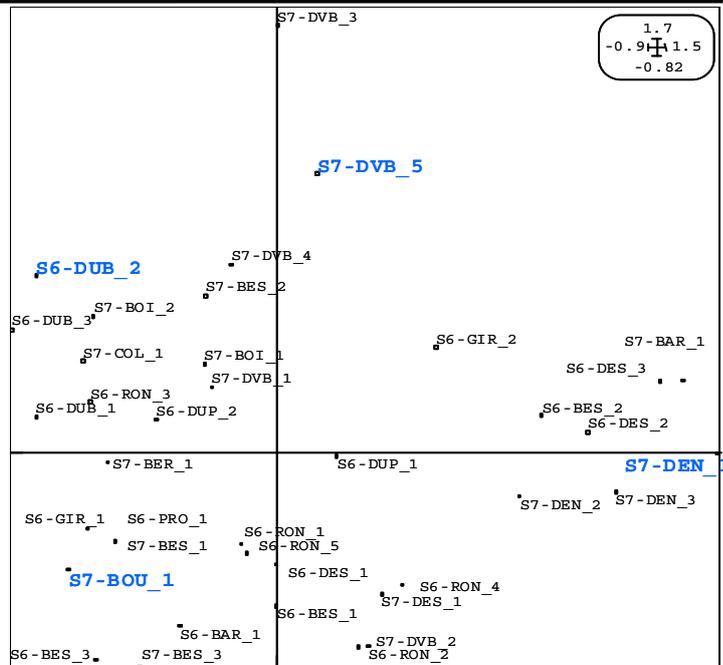


Figure N° 20 : Projection des haies dans plans factoriels F1&F2.

Dans cet espace, on obtient une représentation des variables, où chaque vecteur représente une modalité de la variable considérée :

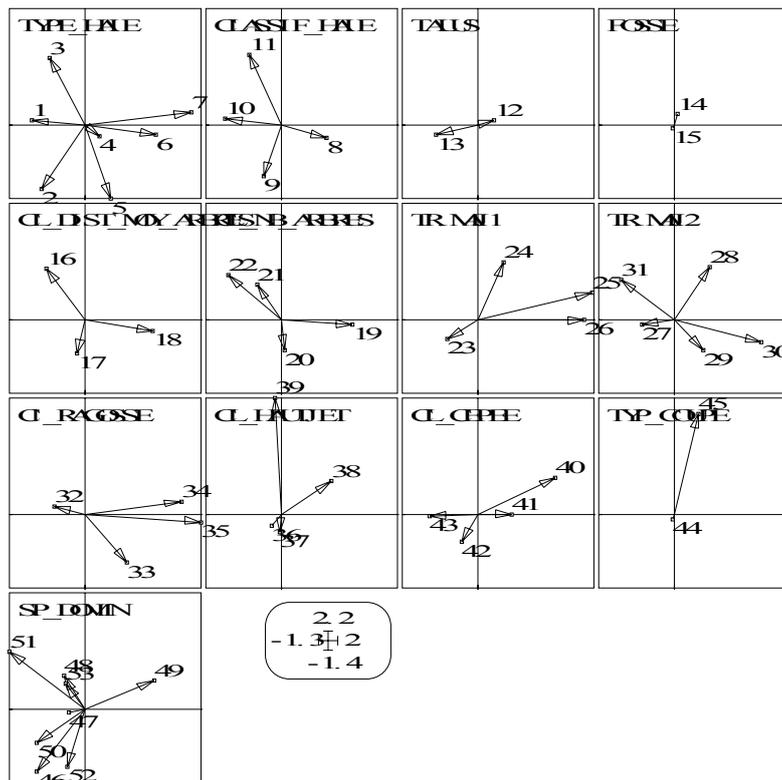


Figure N° 21 : Représentation graphique des variables structurales des haies sur le plan factoriel F1-F2 avec identification des modalités de chaque variable.

Nous expliquons les caractéristiques de quelques haies afin de mieux comprendre et relier les deux graphes ci-dessus, les chiffres entre parenthèses représentent la modalité de chaque variable expliquée dans la figure en haut :

- La haie N° S6-DUB-2 est une haie de haut-jet et taillis de bonne qualité (modalité 3), dans la classe 4, avec la distance moyenne de 1,26 mètre entre les souches (modalité 16), une densité des arbres très importante, 71 arbres sur 100mètres (modalité 22), avec le recépage comme le traitement majeur, sans arbre émondé (modalité 32) qui a le noisetier comme espèce dominante (modalité 51).
- La haie N° S7-DEN-1 est une haie d'émondés de moyenne qualité (modalité 7), dans la classe 1, avec une distance moyenne de 8,8 mètres (modalité 18), la densité des arbres est de 12 sur 100 mètres (modalité 19). Le type de traitement principal est l'émonde (modalité 26), la classe de densité de ragoisse est 4 (modalité 35), sans souches de cépée class 1 et modalité 40). L'espèce dominante dans cette haie est le chêne (modalité 49).
- Haie N° S7-DVB-5 est une haie de taillis et haut-jet de bonne qualité (modalité 3), avec une distance moyenne entre les arbres de 2 mètres (modalité 16), la densité des arbres est de 36 sur 100 mètres (modalité 21), le type de traitement majeur est l'élagage (modalité 24), la classe des arbres émondés est de 1 (modalité 32) et l'espèce dominante est le chêne (modalité 49).
- Haie N° S7-BOU-1 est une haie de taillis de bonne qualité (modalité 1), avec la distance moyenne entre les arbres à 3,7 mètres (modalité 17), la densité des arbres est de 12 sur 100 mètres (modalité 19), le type de traitement majeur est le recépage (modalité 23), la classe des arbres émondés est de 1 (modalité 32) et l'espèce dominante est l'aulne (modalité 46).

N°	Variable	Indice	Rapports de corrélation avec		
			Axe F1	Axe F2	Axe F3
1	Type de haie	TYPE_HAIE	0,782	0,567	0,630
9	Pourcentage de Ragoisse sur 100 ml	CL_RAGOSSE	0,761	0,130	0,380
11	Pourcentage de Cépée sur 100 ml	CL_CEPEE	0,699	0,169	0,504
7	Premier traitement majeur sur la haie	TR.MAJ1	0,667	0,335	0,201
13	Espèce dominante	SP_DOMIN	0,564	0,363	0,397
2	Classe de haie	CLASSIF_HAIE	0,530	0,501	0,343
8	Deuxième traitement majeur sur la haie	TR.MAJ2	0,483	0,270	0,465
5	Distance moyenne entre les arbres	CL_DIST_MOY_ARBRES	0,476	0,493	0,015
6	Nombre d'arbre sur 100 ml	CL_NB_ARBRES	0,455	0,343	0,095
3	Présence/Absence de talus	TALUS	0,200	0,015	0,222
10	Pourcentage de Haut jet sur 100 ml	CL_HAUTJET	0,112	0,351	0,200
12	Type de matériel pour couper des branche	TYP_COUPE	0,009	0,198	0,028
4	Présence/Absence de fossé	FOSSE	0,001	0,016	0,003

Tableau N° 11: Les rapports de corrélation de chaque variable avec les trois premiers axes de l'ACM.

Les variables les plus importantes sont les variables 1, 9, 11, 7 (TYPE_HAIE, CL_RAGOSSE, CL_CEPEE, TR.MAJ1) dont les rapports de corrélation avec l'axe F1 sont respectivement : 0,782, 0,761 et 0,699 et 0,667. Sur l'axe F2, ce sont les variables 1,2 et 5 (TYPE_HAIE, CLASSIF_HAIE, CL_DIST_MOY_ARBRES qui sont les plus importantes pour définir cet axe (tableau N° 11).

3.4.3 Etude des relations entre la productivité des haies et leurs caractéristiques : Co-Inertie à partir des deux analyses précédentes.

Le couplage des deux tableaux précédents est le but de la Co-inertie, afin de maximiser la co-variance entre les 2 espaces factoriels précédemment calculés. Pour ce faire, la méthode recherche de nouveaux axes factoriels qui maximisent les corrélations entre les projections des individus vus d'une part par leurs valeurs de production (ACP, partie 6-2-1) et vus d'autre part par leurs caractéristiques de haies (ACM, partie 6-2-2).

La validité de cette Co-inertie est testée par des tests de permutation de Monte-Carlo, qui est significative à $P=0,03$.

La significativité des axes de la co-inertie est notée dans le tableau ci-dessous :

Axe	Covariance	Variance 1	Variance 2	Coe. Corrélation	Inertie 1	Inertie 2
1	0,6262	2,876	0,2487	0,7405	2,877	0,4415
2	0,0505	0,1099	0,0870	0,5166	0,1114	0,2885

Tableau N° 12 : Le résultat de co-inertie.

La co-Inertie est donc significative au seuil de $P= 0.03$.

Sur l'axe F1 de la co-inertie, on trouve:

$2.876/2.877 = 99.96\%$ de la variabilité de l'ACP sur les valeurs de production,

$0.2487/0.4415 = 56.33\%$ de l'inertie de l'ACM sur les paramètres de structure de la haie.

La covariance résultante, portée par l'axe F1 de co-inertie est de 0.6262, et la corrélation entre les deux ensembles sur F1 est de 0.7405.

On calculera de même, à partir de la seconde ligne ci-dessus, ce qui advient sur F2. On voit cependant d'emblée, que la corrélation entre les deux ensembles sur F2 est beaucoup moins bonne (0.5166).

Dans cet espace de co-inertie F1xF2, on peut représenter successivement :

- les axes F1 et F2 des deux analyses de départ (ainsi que l'axe F3 de la MCA) :

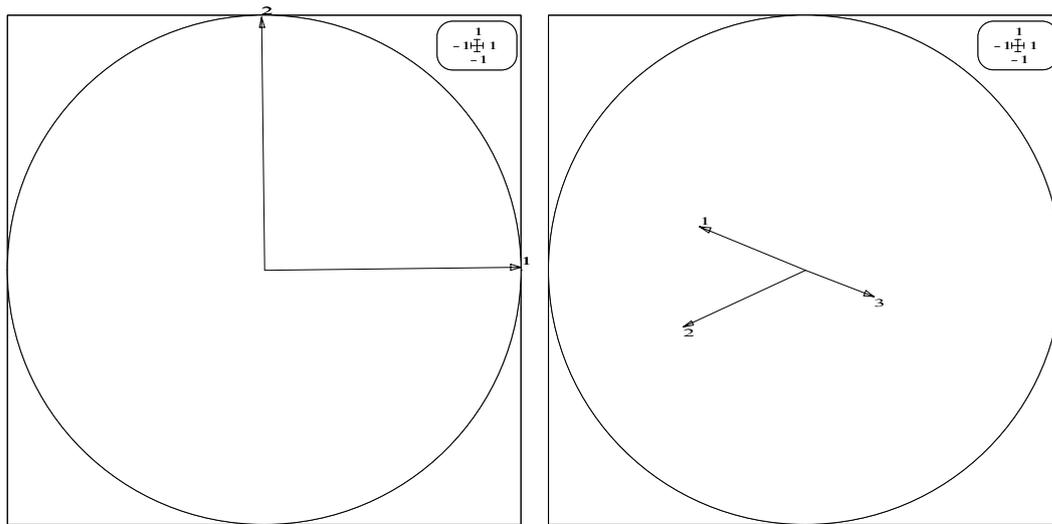


Figure N° 22: Projection des axes F1&F2 des variables de productivité des haies sur plan factoriel de co-inertie (à gauche) et projection des axes F1, F2&F3 des variables structurales des haies sur plan factoriel de co-inertie.

On voit immédiatement que l'axe F1 de l'ACP est corrélé, mais négativement, avec les axes F1 et F2 de l'ACM, et positivement avec l'axe F3 de l'ACM. En revanche, l'axe F2 de l'ACP est pratiquement indépendant des axes de l'ACM. Comme cet axe F2 de l'ACP était négligeable, on se retrouve donc, de nouveau avec un gradient sur l'axe F1 de co-inertie, principalement caractérisé par l'axe F1 de l'ACP (les axes de l'ACM y sont moins bien représentés, comme vu ci-avant).

b) les variables des analyses de départ dans le plan de co-inertie :

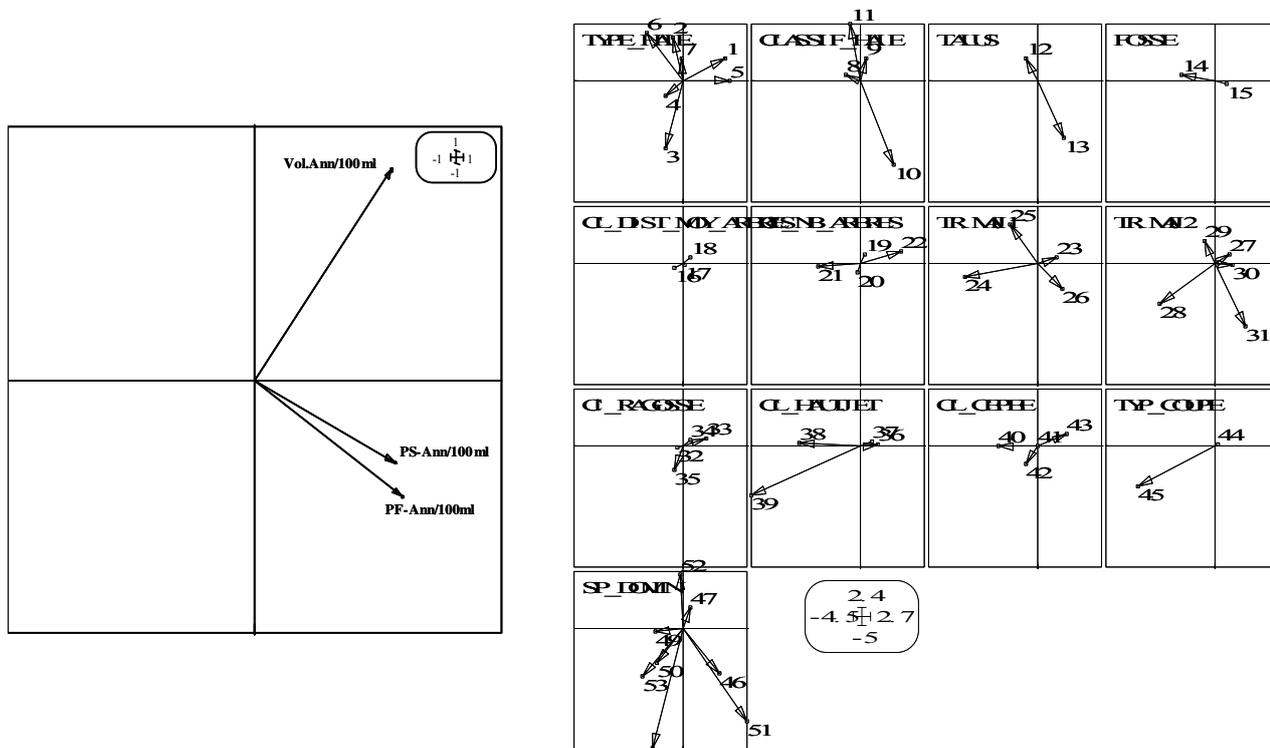


Figure 23: La projection des variables structurales des haies sur plan factoriel de co-inertie.

Enfin, on peut représenter la projection des haies vues par les caractéristiques des haies (cercle à la base du vecteur) et vues par leur production (pointe de la flèche) :

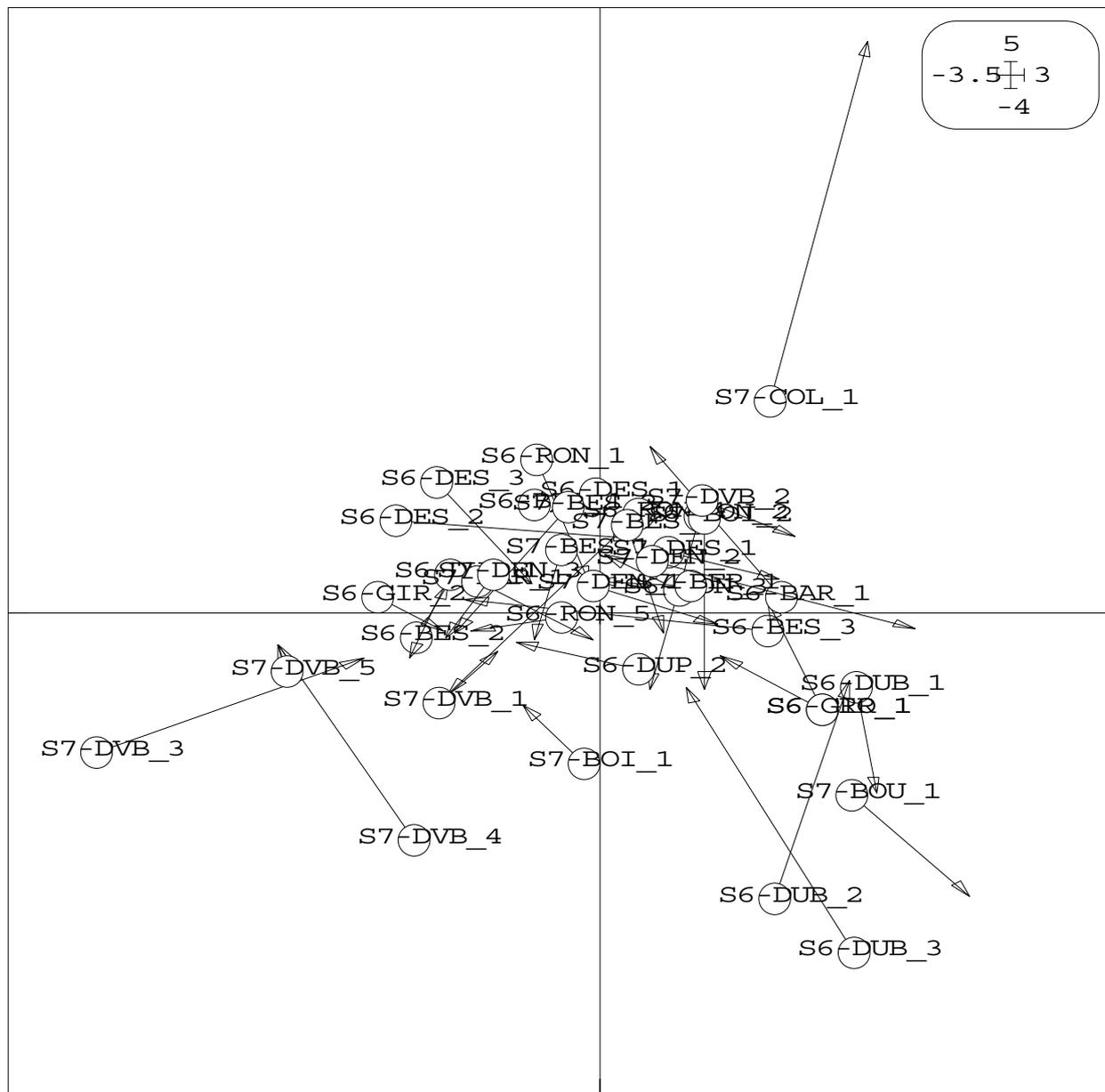


Figure N° 24: Projection des haies vues par les caractéristiques des haies (cercle à la base du vecteur) et vues par leur production (pointe de la flèche) sur plan factoriel de co-inertie.

Les flèches courtes indiquent les haies où il y a une bonne concordance (co-variance) entre les caractéristiques de la haie et les valeurs de production. Les flèches longues indiquent la discordance entre ces 2 jeux de données pour certaines haies.

Les explications ci-dessous, nous permettent de comprendre cette discordance pour certaines haies :

- Haie S7-DVB3, est une haie de haut jet de chêne et cépée de châtaignier, mais qui a été élaguée par lamier. Donc, il est clair que ses caractéristiques structurales

ressemblent aux haies vigoureuses et elle semble avoir un fort de volume de végétation, mais la méthode de traitement (élagage) et l'outil utilisé pour l'entretien (lamier) ont diminué la production de cette haie.

- Haie S7-DVB4, est une haie majoritairement constituée de cèpée, mais cette année elle a été élaguée seulement d'un côté et par contre, les grosses branches ont été valorisées comme bûches. Donc, on a une partie de la production qui n'a été pas comptée dans notre calcul, alors que la méthode de récolte de bois (élagage partiel) ne produit pas beaucoup de bois.
- Haie S6-DUB2, est une haie de noisetier, conduite majoritairement en cèpée, mais au moment de valorisation de bois, il y avait 3 bouleaux qui ont été valorisés (coupe à blanc) et ont été totalement déchiquetés. C'est pour ces raisons que la production de cette haie est très forte.
- Haie S6-DUB3, est exactement comme la haie S6-DUB2, mais sans des arbres entiers dans la déchiqueteuse.
- Haie S7-COL1, est une haie de type I, mélange de châtaignier et noisetier, tous conduits en cèpées, mais très dense, tandis que les souches sont très proche (la distance moyenne entre les souches est 1m30). Ces raisons peuvent expliquer la forte production de bois de cette haie, alors que ses caractéristiques ne semblent pas prédire un fort volume de végétation.
- Haie S6-DES2, est une haie située à côté d'un bois, constituée par des arbres de haut jet et quelques ragosses de chêne, qui sont traitée en élagage, donc la production de plaquettes n'est pas très liée à ses caractéristiques.

3.4.4 Conclusion

L'application de la méthode de co-inertie nous a permis d'étudier les relations entre la productivité des haies et différents types de données qualitatives et quantitatives relatives à la structure et au traitement des haies.

Les trois variables de productivité des haies sont très corrélées, mais parmi elles, le poids frais et le poids sec sont plus corrélés entre eux qu'avec le volume des plaquettes. Ceci peut s'expliquer car dans un volume donné, il y a différentes essences qui ont des poids volumiques différents.

En conclusion on peut dire que les caractéristiques structurales des haies et le type de traitement qui a été appliqué aux arbres ont des effets très importants sur la production de bois, les haies conduites en cèpée et en ragosse étant plus productives.

3.5 Etude des effets des facteurs environnementaux sur la productivité des haies

Pour étudier la relation entre la productivité des haies et les facteurs environnementaux, on a suivi la même démarche que celle utilisée dans la partie précédente (partie 6-2) en appliquant trois étapes :

3.5.1 Une analyse de l'ACP, sur les valeurs de productivité de 38 haies

C'est la même analyse que dans la co-inertie précédente reliant la productivité des haies à leurs caractéristiques.

Un tableau contient les valeurs de production des 38 haies, avec les variables suivantes, sur lequel on a pratiqué une ACP normée:

Vol.Ann/100ml
PF-Ann/100ml
PS-Ann/100ml

3.5.2 Une analyse de l'ACM, sur les variables d'environnement aux alentours des haies.

Comme la partie précédente, une analyse ACM a été faite sur les tableaux des données environnement. Ce tableau contient des variables suivantes (voir Annexe AH3 pour le nombre de modalités de chaque variable) :

- La pente du terrain.
- La position de la haie par rapport à la pente.
- La position de la haie sur le bassin versant.
- L'orientation de la haie par rapport aux points cardinaux.
- Le type d'occupation de sol d'un côté de la haie.
- Le type d'occupation de sol de l'autre côté de haie.
- Le type de matériau géologique (sous-sol).
- Le degré d'hydromorphie du sol.
- La profondeur de sol.

3.5.3 Analyse de co-inertie.

A partir de deux tableaux issus de l'ACP et l'ACM, on a réalisé une co-inertie.

Le résultat de tests de permutation de Monte-Carlo, n'est pas significatif (valeur de $P=0,341$), donc on peut dire que les facteurs environnementaux n'ont pas d'effet détectable sur la productivité des haies dans ce jeu de données.

3.5.4 Conclusion :

Les facteurs environnementaux n'ont pas d'effet significatif détectable sur la productivité des 38 haies étudiées. On peut envisager que le petit nombre d'observations (38 haie), dispersés sur un territoire de 2800 km² (une rayon de 30 Km) et avec beaucoup de variation des facteurs environnementaux, ne peut pas discriminer l'effet des facteurs environnementaux.

4. Discussion :

Il y a peu de travail sur l'étude des relations entre la productivité des haies et les caractérisations des haies et du milieu.

Defaye (1985) indique que la productivité (la production de biomasse ligneuse par Km par an) d'une haie est déterminée par ses trois paramètres suivants :

- Sa structure, c'est à dire la part relative qu'occupe chacune des strates, arborescente, arbustive et herbacée.
- Sa composition floristique ou encore la proportion des différentes essences ligneuses parmi les arbres de la haute strate et les cépées du taillis.
- Son mode de traitement (en haut-jet, émonde ou têtard) et son cycle d'exploitation (périodicité des émondages et de la coupe à blanc du taillis).
-

Auclair et Maerten (Auclair and Maerten 1986) afin d'étendre les résultats d'inventaire de l'IFN en volume à des résultats en biomasse, ont étudié quatre haies de chêne, de charme et de frêne. Ils proposent une régression unique pour estimer la biomasse, indépendant de l'espèce et du type de l'arbre (cépée ou têtard). Ils n'étudient pas l'effet des facteurs du milieu mais ils mentionnent que la croissance des arbres des haies est influencée par un environnement totalement différent d'une ambiance de peuplement forestier. Ils mentionnent que la concurrence latérale, le sol modifié par fossé et talus, les parcelles contiguës fertilisées, la morphogénèse et la forme modifiée des arbres ont une influence sur la croissance des haies, mais ils n'étudient pas ces facteurs dans leur recherche.

Selon la mesure effectuée à Marchesiux par Bachelay (Bachelay et al., 1984), la production d'une haie équivaut à 1,5 T.E.P par Km et par an, soit 20 à 25 T.E.P tous les quinze ans, dont 1/3 en petit bois (branches de diamètre inférieur à 6-7 cm).
(1 T.E.P = 12m³ de bois déchiqueté.)

5. Conclusion :

La démarche méthodologique basée sur la recherche de corrélations entre un certain nombre de facteurs liés à la structure des haies et de l'environnement et la productivité des haies, nous a permis de montrer l'influence de la structure et du traitement des haies sur la productivité de celles-ci. Mais le rôle des facteurs environnementaux, n'a pas pu être mis en évidence.

Mais par contre, l'effet du milieu sur la productivité des haies, n'était pas justifiée, le petit nombre d'observations (38 haies) sur un territoire vaste d'environne de 2800Km² (un rayon de 30 Km), peut expliquer ce résultat. Car l'effet de la structure des haies et le type de traitement réalisé sur les arbres est plus visible, c'est pour ça qu'on arrive à une réponse avec la première co-inertie.

On peut dire que le rôle des agriculteurs sur la productivité des haies est plus important que celui de leur environnement, car ils essayent de former les haies et de déterminer le nombre de strates de haie et le type de traitement des arbres et enfin le type de traitement sur la haie afin de maximiser la production du bois.

Ces manipulations sur la haie et la durée variable de traitement des arbres ont énormément d'effet sur la capacité des haies à produire du bois.

Les données de productivité des haies que nous avons récoltées sont la production réelle de bois de chaque haie sous en forme de plaquettes et par conséquent il y a une différence entre cette production mesurée et la capacité des haies à produire du bois. Les raisons pour expliquer cette différence sont :

- Quelques fois, les agriculteurs broient seulement les petites branches et ils sortent les bûches des chantiers. Donc une partie du bois produit n'est pas incluse dans le poids des plaquettes sur lequel est basée notre étude.
- L'utilisation du lamier ne permet la récolte que d'une petite partie du bois des branches.
- Dans quelques cas, l'élagage ou l'émondage, n'est effectué que sur un seul côté de la haie, donc la moitié de la production de bois de ces haies n'est pas considérée.
-

Dans les résultats de notre analyse, on trouve cette différence et on peut expliquer la productivité différente des haies du fait de ces raisons, mais il nous apparaît afin de comparer la productivité de toutes les haies et trouver les liens entre la productivité des haies et leurs milieu, il faut éliminer cette différence en tenant compte les haies traitées de manière similaire. Cette démarche diminue le nombre d'observation disponible et en conséquence augmente la durée d'étude et la taille de la zone d'étude.

Chapitre IV

Etude de la biomasse ligneuse au niveau du paysage:

Section 1:

**Interdisciplinary analysis of hedgerow network
landscapes sustainability (Article soumis).**

Interdisciplinary analysis of hedgerow network landscapes sustainability

Lotfi, A.⁽¹⁾, Javelle, A.⁽¹⁾, Baudry, J.⁽²⁾, Burel, F.⁽¹⁾

⁽¹⁾ UMR 6553 Ecobio, CNRS – Université de Rennes 1, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes cedex, France

⁽²⁾ INRA SAD-paysage, 65 rue de Saint Briec, 35042 Rennes cedex, France

ABSTRACT

Hedgerows with pollarded trees are still emblematically shaping many agricultural landscapes in Western Europe, they are part of our heritage but their future is uncertain due to enlargement of fields and loss of firewood use, as a consequence the sustainability of these agricultural landscapes is questioned. We studied changes in hedgerow management in a long term ecological site in Brittany France with an interdisciplinary approach. Importance, spatial distribution and relationship with agricultural system have been assessed for an 11 years period in three contrasted hedgerow network landscapes, while management practices and farmers perception were studied from an anthropological point of view. Two apparently opposed trends were found: first an apparent decrease in the interest of farmers for hedgerows as the rate of pruning is diminishing, second changing attitudes of farmers not necessarily toward hedgerow abandonment but rather toward the production of novel shapes for pruned trees.

Key words

Pollard trees, management practices, hedgerow, wood production, LTER, farmers,

INTRODUCTION :

Hedgerow network landscapes or bocage are, or were, common features in Western Europe. As for most agricultural landscapes they have changed dramatically over the last few decades (Agger and Brandt, 1988, Burel and Baudry, 1990). Many uncultivated elements, such as woodlots or hedgerows, have been removed to facilitate cultivation. Remaining large and tall hedgerows are mostly located along pastures, whereas arable plots are usually bordered by thin hedges when they are still present (Barr, 1993, Hegarthy et al., 1994). Remaining trees are also often found at properties limits.

Hedgerows fulfilled many functions from wood production, to wind and sheet erosion protection, food production for human and cattle or property limits (INRA et al., 1976, Forman and Baudry, 1984, Burel,

1996, Austad, 1990). In Europe, pollarded or shredded trees remain common features in several Mediterranean, Balkan and Scandinavian countries and in the UK (Petit and Watkins, 2003, Rackham, 1986). Trees were pruned in different ways leading to shapes varying according to tree species and expected production. It could be fodder for pollarded ash, timber for oak or beech trees, firewood or fenceposts for coppice chestnuts (Pollard et al., 1974, Rackham, 1986, Baudry and Jouin, 2003). Everywhere pruning periodicity decreased significantly during the last century. In France firewood production is still important, and yearly production of firewood from hedgerows is 4.4 million cubic meters, e.g. 11% of total firewood used by families (Solagro., 1997) and is the main direct economical value of hedgerows.

The concern for hedgerows is emphasized in many public policies; there are seen as being part of landscape sustainability from the ecological and social standpoints. In this paper, we address the following questions: Is there a future for old hedgerows which are landmarks for these cultural landscapes? For this we consider firewood and subsequent tree pruning as surrogates of hedgerow value for farmers. We use a long term ecological research site with three contrasted landscape units to test for current management of trees in hedgerows in more or less dense hedgerow network landscapes. Traditional tree management in this site and in the Rennes basin area is pollarding trees all along the trunk, resulting in shapes of trees (shredded trees) characteristic of the landscape.

We hypothesized that in our study site 1) periodicity of pruning decreased over time, 2) hedgerow removal is still important, 3) traditional ways of managing hedgerow trees are less and less used by farmers and depend on adjacent land use and on farming systems, 4) Given the results of the 1994 farmers' survey, showing contrasting land use systems between the sites (Thenail, 2002), we hypothesized that their difference will result in differences in rates of hedgerow management. More traditional farmers would manage more hedgerows on a regular basis because they use the wood as a source of energy and because they need light for their crops. In contrast more "intensive" farmers would neglect their hedgerows and remove more of them. In relation with all this we will assess the durability of this bocage landscape. All these trends would lead to a drastic transformation of these cultural landscapes. We used two complementary approaches a first one was based on the measurement of the length of hedgerows pruned, yearly, over a period of eleven years to assess current use of this natural resource, the second was an anthropological approach to evaluate the perception of hedgerows by farmers and the way they change hedgerow management regime. This permitted to assess the pluses and minuses of an integrated approach between ecological and social sciences. This combination is put forward as a mean to provide sound scientific basis to foster sustainable development, but it also prove to being difficult to put into practice.

The study area

Brittany is a region with few forested area, only 8% of the land, and is characterised by the presence of hedgerows in all agricultural areas. The study area is located in northern Brittany, south of Mont Saint Michel Bay, France (48° 36' N, 1° 32' W). It is designed as Long Term Socio-Ecological Research site (www.caren.univ-rennes1.fr/pleine-fougeres) with ongoing research since 1994. The site started as a set of three contrasted landscape units (659 ha to 1816 ha) that differ in hedgerow network density and agricultural characteristics and permit to test for effects of landscape structure on flora and fauna distribution (Baudry et al., 2000b, Burel et al., 2000, Thenail, 2002). In site A hedgerow network has the highest density the hedgerow length being of 106m/ha, site B with 83m/ha is intermediate, and site C with 49m/ha is the more open landscape (table 1).

Site	Total area (ha)	Number of hedgerows*	Length of hedgerows (Km)	Mean hedgerow length (m)	Hedgerow density (m/ha)
Site A	659	1047	69,9	67	106
Site B	924	1160	77,1	66	83
Site C	1 816	1277	89,1	70	49
Sites A,B,C	3 399	3484	236	68	70

* one hedgerow borders the side of a single field

Table1: The general characteristics of sites of the study area

Hedgerows occur mostly adjacent to permanent grassland: 61% of the boundaries with permanent grassland are hedgerows, 59% of those with leys, and 53% of the ones with crops. Importance of hedgerows decreases along ploughed fields (40%) and roads (31%). (figure 1).

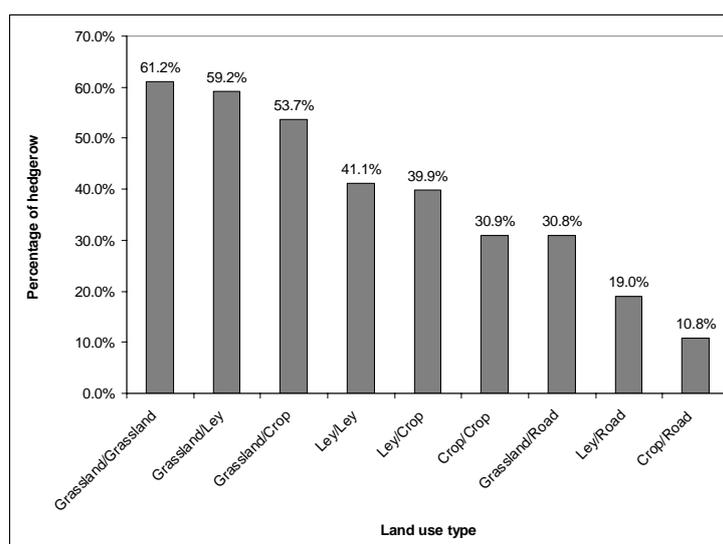
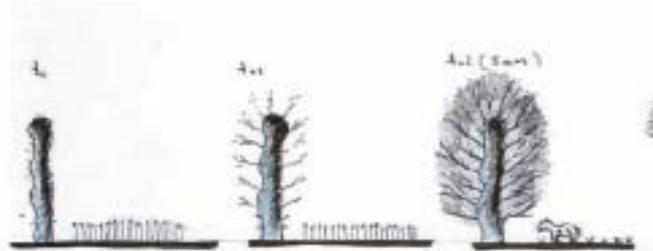


Figure 1: percentage of hedgerows as field margins related to the adjacent land use types in the three contrasted landscapes

Dominant trees in hedgerows are mainly oaks and partly chestnuts. To produce firewood, oak trees are pollarded according to the traditional practice, their local name being “ragosses” (figure 2). The higher the trunks are, the more branches farmers get. Then, the height of the trees can reach 4 to 12m. Branches are visually assessed to decide whether they are large enough to be used in chimneys or central heating, or not at all; in the latter case, they were put into bundles of sticks used for bakers’ ovens; nowadays, they are most of the time burned in the field. Chestnuts may also be coppiced; branches used to be traditionally used for barrels or some tools, are now used as fenceposts and firewood. Hedgerow management is defined by the leases between owners and farmers and rules recorded in local booklets « Usages locaux à caractère agricole¹ » which are updated periodically by the Chamber of Agriculture

¹ Local agricultural customs

(Chambre d'Agriculture d'Ille-et-Vilaine, 1970). It deals with use of wood and trees, and periodicity of pruning which varies from 6 to 9 years depending on lease duration and tree species. These booklets do not give any details on the way trees should be pruned nor the shape to be respected, that are defined by habits and custom.



Drawing from Ecole Nationale Supérieure du Paysage

Figure 2: “ragosses” trees, shapes varying with time since last pruning

A dendrochronological analysis, realised on this site, on a few oaks (*Quercus robur*) and chestnuts (*Castanea sativa*) shows that pruning periodicity until 1970 varied from 7 to 10 years for oak trees and from 5 to 7 years for chestnut trees (Guibal and Bernard, 2002). Since 1970 time between two consecutive pruning could reach 20 years, this trend has been observed in different places (Marguerie et al., 2003, Martin and Rovéra, 1998). The average firewood consumption per farm is 15 cubic meters per year (Baudry et al., 2000a).

Hedgerow removal is still occurring in this site where it is not submitted to any regulation, except for hedgerows bordering wetlands which are designed as “hedgerows of public interest. Decision for removal depends on individual farmers and/or owners of the land.

METHODS

Spatial data on hedgerow pruning

Aerial photographs of the LTER site are taken yearly at the scale of 1:10 000, since 1996. We used them from 1996 to 2006. Based on traditional rules of this region we considered that branches were cut all along the trunk and on both sides of the hedgerow so that after pruning width of trees canopy shrinks from 5-8 m to 0 m. It is thus easy to identify which ones were pruned by comparing aerial photos of two consecutive years. Field validation of photo-interpretation has been done in 2006, all the hedgerows identified as pruned in 2005 were actually pruned which indicates a good accuracy of the method to recognize pruning dates of whole hedgerows.

All hedgerows of the three sites have been mapped each year with indication of their status of “completely pruned during last winter” or not, and we note also hedgerow removal. Data have been stored in a GIS which permitted to analyse spatio-temporal distribution of pruning according to site, adjacent land cover, farming activity and to measure the importance of hedgerow removal. We used the farming system types defined by (Thenail, 2002) that were mapped in 1994. She found marked differences between the sites. The dense hedgerow network of site A is associated with smaller farms with the least machinery and lowest level of milk production per cow and per hectare. Productive, well equipped farms are found in the site C. Site B is intermediate.

Data were statistically analysed with analyses of variance followed by multiple comparisons and student's t-test using Minitab software (13.31, 2000) was used (Ryan and Joiner, 1994) to test differences between groups of data: landscape, land use, farm type and two groups of farms differing by their firewood consumption

Anthropological data

A classical anthropological method (Bernard, 2006, Creswell and Godelier, 1976) was used in order to understand the perceptions and concerns of farmers about the pruned trees on the study site. To do so, one of us lived one year among the population, to understand the values and habits of the group (Javelle, 2007). The information collected comes from informal talks, open questions interviews, and participation to pruning activities. This method is based on in-depth analysis rather than on statistical tests. Thirty farmers from 30 to 55 years old were met several times each one. More than 65% were over 40 years old. The interviews lasted from half an hour to two hours and a half, and were completed by informal talks on the field, when the opportunity occurred. Such a method includes an active participation in pruning activities; the anthropologist took part in 10 of them and was informed about 6 others. It aimed at reducing as much as possible the bias brought by the questions of the interviewer, who is perceived by the group as an external element.

RESULTS:*Average hedgerow pruning*

One thousand two hundred sixty six hedgerows representing a length of 94 km have been pruned from 1996 to 2006 in total for the three sites, which represents 38% percent of the existing hedgerows. This rate is higher (48%) in site A than in the other sites and the density of pruned hedgerows decreases from 52 m/ha (site A) to 14 m/ha in site C. (Table 2). Only a few hedgerows (3%) were pruned twice during the studied period.

This indicates that if this overall trend persists, the average periodicity between two pruning dates will be more than 20 years in site A and 28 years for the whole area. This is far from the traditional periodicity where 100% of the hedgerows should have been pruned during this ten years period of time.

Site	Total area (ha)	Number of pruned hedgerows	Length of pruned hedgerows (Km)	Pruned Hedgerow Density (m/ha)	Rate of Hedgerow pruning
Site A	659	453	34	52	48%
Sie B	924	468	35	37	42%
Site C	1 816	354	25	14	27%
Sites A,B,C	3 399	1 266	94	28	38%

Table 2: Rate of hedgerows pruning in study area

Inter-annual variability

The general trend from 1996 to 2006 is a decrease in the length of hedgerows pruned each winter, from 14.9 Km in 1996 to 2.8 Km in 2006 (Figure 3). Variability is low for site C where the total amount changes from 3.5 km to 2km from 1996 to 2005. There is a significant trend for sites A ($R^2= 0.63$, $P= 0.0034$) and B ($R^2= 0.83$, $P= 0.0000$), with a linear decrease of 4% per year over the studied period.

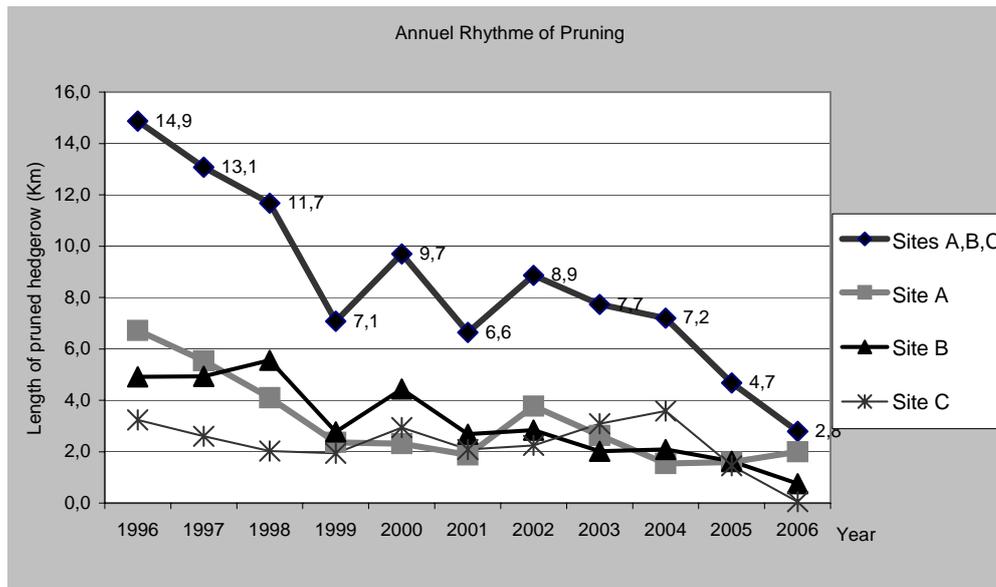


Figure 3: Annual length of pruned hedgerows in study area

Relationships between hedgerow pruning and land use type

Most of the hedgerows pruned are located along crops and leys whatever the site, they represent 64 % of all pruned hedgerows in the whole area, 71% in site A, 58 % in site B and 51 % in site C. This is not a simple consequence of presence of hedgerows according to adjacent land use (fig1) and there is a significant difference between effective pruning and expected one if it was done at the same rate whatever the land use and crop succession for the whole area ($\chi = 14.16$, $p < 0.1$) and for site A ($\chi = 18.79$, $p < 0.05$). Occurrence of pruning is higher than predicted particularly for leys in site A (figure 4). For sites B and C hedgerow pruning is independent of the adjacent land use.

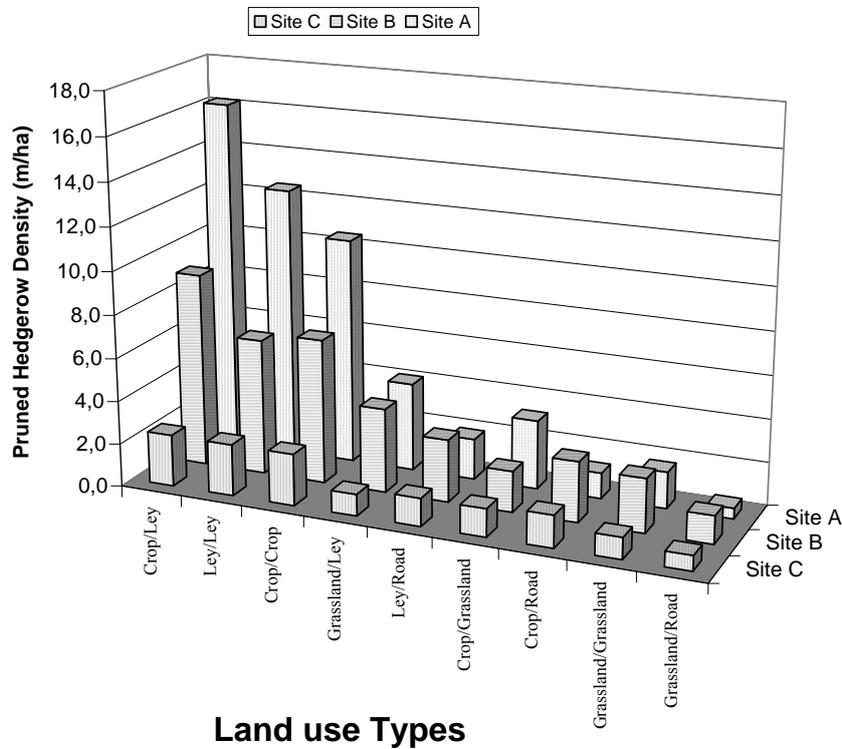


Figure 4: density of prunes hedgerows according to adjacent land use

Relationship with farm activities:

Of the 69 farms surveyed by Thenail, only 29 of them had their whole territory within the study sites. For them we tested if some of farm characteristics could be related to pruning periodicity or intensity. Six main farming systems had been identified as follow: Meat Cattle Farms, Cash Crop Farms, Farm after dairy production cessation, Medium Production Specialized Dairy farm, Large Production Diversified Dairy Farm, Small Production Diversified Dairy Farms.

The results of ANOVA test shows a significant relationship between the type of farming systems and the rate of pruning ($F= 3.27$, $p= 0.028$). Farms after dairy production cessation prune more than 28 m/h/y, while Cash Crop Farms prune less than 2 m/h/y (Figure 5). There is no significant relationship between the type of farming systems and the density of hedgerows.

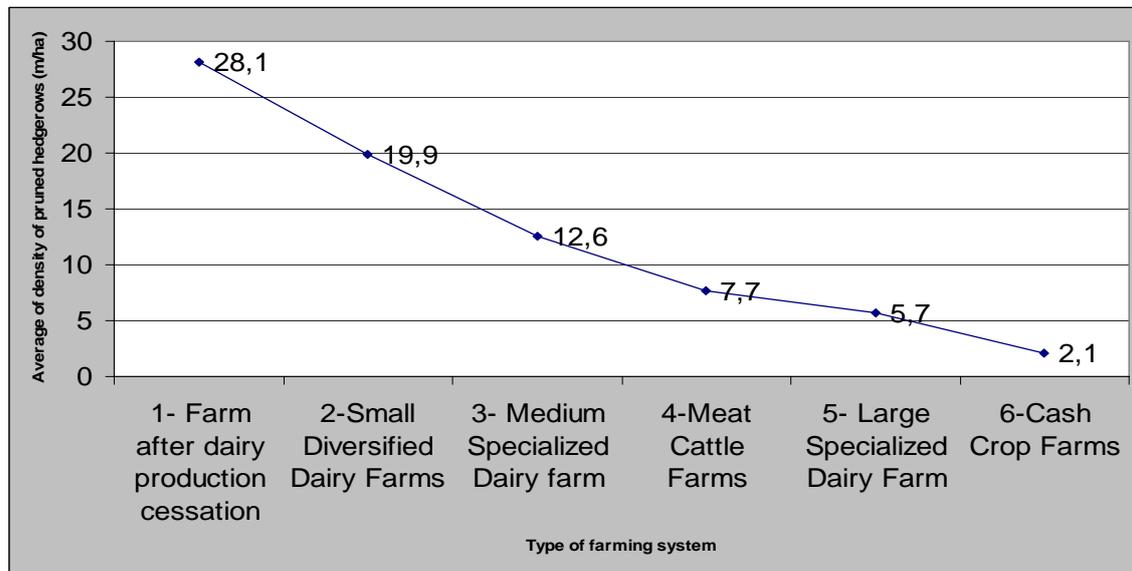


Figure 5: average density of pruned hedgerows according to type of farming system

Use of firewood to heat the house was significantly related to the density of hedgerows on the farm territory ($T = -2.67$, $p = 0.013$) and the rate of management and pruning the hedgerows ($T = -4.88$, $p = 0.001$). The more farmers use firewood, the more they pruned their hedgerows.

Hedgerows removal:

Total annual hedgerows removal varied from year to year from 228 m in 1999 to 1973 m in 2006 which represents 6% in site B, 3.5% in Site A, and 2.5% in Site C of the initial length of hedgerows. It occurred more along crops and roads than in other location in the landscape.

The changes of pruning techniques

Anthropological field work noticed changes in the way trees are pruned. One generation ago, pruning used to follow very strict local customs. The time frame for pruning varied between 6 to 9 years and was specified in the leases. If this time frame was not respected, it was ground enough to expel the farmer from the farm. Each tree was exploited in order to provide the maximum amount of wood, a fundamental raw material. The total length of hedgerow on the farm was divided by the pruning time frame, to know the annual length to be pruned. The farmer chose which hedgerows to prune on any given year, and thus created a rotation cycle of six to nine years, that covered all the trees. The aesthetic criteria had to be respected: the branches had to be cut close to the trunk with a hatchet – not too close, though, so as not to damage the tree. No branch could remain. A ‘badly done’ job was cause for teasing. Pruning was a social event: it used to bring together men and women of all ages. Each of them was responsible for a particular task. Men climbed up trees with ladders to prune, while women sorted out and “aligned” branches in order to make bundles of wood. Young men showed off their skills, in an attempt to seduce a potential future wife. Nowadays, even if the traditional pruning techniques are still used by some farmers who use a chainsaw instead of a hatchet, we recorded many partly pruned trees. Branches are cut until half-height of the trunk, sometimes only on one side of the trunk, or branches are cut all around the trunk but a bunch of branches are left at the top of the tree. We also identified a new practice due to the increase in the pruning time-frame that is risky for the tree: a sap-puller that is a branch left at the top of the tree to avoid it to get dry.

Since the agricultural modernization, farmers do not want to pay attention any more to trees that are synonymous of an outdated system which they want to get rid of. Their interest is turned towards crops and farmers want to give them the more possible assets. The pruning activities reflect these changes. In cultivated lands, the branches are obstacle for crops growth and passage of agriculture machines. So, it seems essential to give a lot of light to the crops and to clear the plot. Pruning is then done when a ley is turned into a crop, which occurs every five years or so. Yet, since a five-year pruning yields uninteresting branches, since they are too small, the pruning will occur only during the next crop turn, that is, after ten years if not 15 or 20 years. There is still the idea of regular rotation as in the past, but it is now tacitly linked to crop rotation. Trees are now dependent of an organizational system of which they are no more the center piece. As the delay of pruning evolved, so did the shape of the trees. Tree care is not as respected as it used to be, neither are the old aesthetic criteria. Pruning shapes evolved due to several criteria, such as the amount of time available for the farmer who remains more and more often alone on the farm, the relationships with the farmers on the adjoining parcels, the farmer's tastes, the tools available, etc. Because of all these reasons, all the branches are not systematically pruned, as described in the results, illustrating an individualisation of the pruning references corresponding to the individualisation of the agricultural work. Since there are less needs in wood, farmers cut the necessary amount of branches to not be bothered by them during their field works.

Thus, the freedom of evolution of this practice has given the opportunity to farmers to preserve all its meaning, and thus to perpetuate it. Still, this custom does not guarantee the survival of the trees: in the past, they took care of regeneration, but nowadays, saplings cannot grow after the use of a mowing machine or of herbicide. The aging trees thus are not replaced, not to mention farmers aversion for hedgerows along cultivated fields.

DISCUSSION

We found that for the three sites, 38% of hedgerows were pruned over a 11 year's period, which represents an average duration of 28 years between two pruning dates instead of the traditional rhythm of 9 years. This is coherent to what is found elsewhere in Europe in such landscapes characterised by pollard and shredded trees. In Spain, the time frame for oak (*Quercus robur*) pruning shifted from 6 to 9 years before 1849 to 10-12 years in the period 1850-1909, and 76 years in the 20th century (Rozas, 2004). In Norway, it has been reported to range from 15 to 60 years for deciduous trees, especially for ash ((Moe and Botnen, 1997, Austad, 1988). (Petit and Watkins, 2003) report that in certain parts of England pruning of hedgerow trees was abandoned in the middle of the nineteen century.

This increase of time between pruning operations varies with the structure of the landscape. In site A, with the highest density of hedgerows pruning is more frequent than the in the other sites. This difference can be explained by the small size of crop fields surrounded by hedgerows and thus the necessity to cut branches more often in order to obtain maximum light for crops. During the 11 years studied period there has been a constant decrease in the rate of pruned hedgerows for the whole area. It is significant for the dense (A) and intermediate (B) site, but in the open landscape (C) the rate of pruning has been low (with an average duration of 37 years between two pruning dates) and constant over the period.

These results indicate that management of hedgerows depends on the current state of the landscape. In landscape with few remaining hedgerows tree management is scarce and done independently of the adjacent land use. As if hedgerows scattered over the landscape are not any more in competition with crops, and that farmers are not much concerned anymore.

All over the study sites pruning occurs significantly more than at random along leys compare to the other land use types. This is consistent with the anthropological results which show that farmers tend to prune their trees when a ley is converted into an annual crop during the crop succession. Land use type of adjacent parcels is an important factor in decision making for hedgerows pruning. Branches can remain on trees bordering permanent meadows since they can protect the cattle from rain, sun or wind. Trees are kept along permanent meadows since they are less perceived as an inconvenient there as along cultures. The afforestation and pruning gradients match the need of light on the cultures or the acceptance of shadow on the meadows, all the more the European Agricultural Policy hardly tolerate hedgerows on agricultural plots, whose subsidies may be reduced if shadow impedes crops development. Temporary grassland illustrates an intermediate situation, where trees care oscillates between strict pruning when turned into crop and unpruned trees when planted of grass. This logic is shown on fig. 2 where the more closed landscape gets the more pruning between two crops: they do need light to grow up.

There is a significant relation between wood consumption for heating house and the rate of pruned hedgerows. The high rate of pruned hedgerows among the farmers who used wood - energy, reveals that hedgerows pruning is related with farmer's lifestyle. Using the wood for heating house is a motive for traditional farmers in site A for tree management beside the other raisons.

The rate of hedgerows removal during our period of study, 4% of all hedgerows, is not as important as it used to be in the past decades. From 1952 to 1982, in this site, 60% of them were removed, and another 3% per year from 1982 to 1996 (Morant et al., 1995). This has been based on individual decisions in site A and B, and mainly during a reallocation programme in site C. During the last years there has been a decrease until 1999 but after a severe windthrow during the winter there has been a perceptible increase in hedgerows removal. In 2000, there was a regional storm that maybe affected this trend in our study area. Most of cut off hedgerows are located between crop fields which confirms that in this situation they are mainly perceived as a constraint.

Our hypotheses relating the types of farming systems with hedgerow management were validated. This is a crucial point for the sustainability of the landscape. As small farmers retire their farm is taken over by more productive farmers that will change the design of their field and hedgerow management. They may lead to more drastic cutting along arable fields. Conversely, when hedgerow density decreases (sites B and C) hedgerows are less managed. Therefore, the relationship between management, farm type and landscape is not linear and may go to an asymptote that may help to maintain hedgerows. The changes in management to fit labor availability are a clue that farmers wanted to maintain hedgerows, at least not to remove them rapidly. This can be seen as a form of adaptive management, especially if it constitutes a new social norm. (Oreszczyn and Lane, 2000) insist on the importance of the acceptance of hedgerow management by other farmers.

All these results converge to the making of a landscape with hedgerows concentrated around permanent grasslands with trees pruned very rarely and a few hedgerows around crops, with trees still managed but more to limit negative effects on crops than to produce firewood. The recent demand for food and consequent loss of set aside may cause a great pressure on our remaining hedgerows in cropland areas.

More over, trees get older and die so they need to be replaced. In response to this decrease in trees, the Agriculture Chamber and the Communauté de Communes pursue a policy of hedgerow planting that has been little successful on the site so far. A little over 4 km of hedgerows have been planted between 2003 and 2004, both by farmers and non-farmers, compared to 9,6 Km removed. Besides the fact that the tree is linked, by the farmers who participated in the landscape restructuring, to an old-fashioned system, the “new” hedgerows do not fit the local landmarks. First, many farmers rent their land, so that they cannot decide to plant trees, since it is the privilege of the owner. In addition, the aesthetic qualities of the “new planted hedgerow” are not popular. It is made up, according to the farmers, of shrubs “*worthless wood*” since it is neither a pollarded tree, nor timber tree that could be used for construction. Finally, the management recommendations made by the Agriculture Chamber technicians are based on forest techniques that imply a visual evaluation, as well as a specific and time-consuming maintenance that must occur regularly. Being alien to their realm of reference, the “new ploanted hedgerows” are considered with caution. It is thus necessary to work on a reappropriation based on local norms in order to increase the degree of acceptance. These various observations lead us to question the future of both old and new hedgerows.

CONCLUSION

Our investigation show two apparently opposed trends: first a decrease in the interest of farmers for hedgerows as the rate of pruning is diminishing, second changing attitudes of farmers not necessarily toward hedgerow abandonment but rather toward the production of novel shapes for pruned trees. The changes in social practices will permit the maintenance of hedgerows but contrary to what one would expect this is done at the expense of a good management for wood production. These traditional landscapes are still dynamics enough to transform and adapt to current agricultural needs, but the main threat is the announced disappearance of old trees which are not replaced any more. For the moment planting of new hedgerows for biofuel production do not compensate the loss of hedgerows, and do not belong to the cultural environment of the farmers. The value given to field margins and particularly to hedgerows as resilience tools in agricultural landscapes (Kromp, 1999, Marshall et al., 1997) could bring new insights for the management of cultivated part of these landscapes where traditional hedgerows are the more threatened by current agricultural systems. We broadly foresee the future of hedgerow network landscapes with two trends; the first is the maintenance of traditional hedgerows along permanent grasslands, as long as the trees live and the second in cropped areas new hedgerows for various functions as wood production, beautification, pest management and so forth, coexisting with ancient ones with new management regimes and shapes. Therefore, hedgerows still have a role in the three pillars of landscape sustainability: environment, social and economics in transformed agricultural landscapes.

Acknowledgments: during this work A.L. was supported by a grant from the Iranian government, A.J. by a grant from the ministry for research. Additional funding was provided by the ministry for environment (programme Paysage et Développement Durable) and the CNRS (programme Zone Atelier).

References

- AGGER, P. & BRANDT, J. (1988) Dynamics of small biotopes in Danish agricultural landscapes. *Landscape Ecology*, 1, 227-240.
- AUSTAD, I. (1988) Tree pollarding in western Norway. *The cultural landscape - past, present and future.*, 11-29.
- AUSTAD, I. (1990) Tree pollarding in western Norway. IN BIRKS, I. & HILARY, H. (Eds.) *The cultural landscape : past, present and future.* second ed. Cambridge, Cambridge University Press.
- BARR, C. J. (1993) Countryside survey 1990. Main report. London, DOE.
- BAUDRY, J., BUNCE, R. G. H. & BUREL, F. (2000a) Hedgerow diversity: an international perspective on their origin, function, and management. *Journal of Environmental Management*, 60, 7-22.
- BAUDRY, J., BUREL, F., THENAIL, C. & LE COEUR, D. (2000b) A holistic landscape ecological study of the interactions between farming activities and ecological patterns in Brittany, France. *Landscape and Urban Planning*, 50, 119-128.
- BAUDRY, J. & JOUIN, A. (Eds.) (2003) *De la haie au bocage: organisation, fonctionnement et gestion*, Paris, INRA Editions, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable.
- BERNARD, H. R. (2006) *Research methods in anthropology : qualitative and quantitative approaches, 4th edition*, Lanham, MD, AltaMira Press.
- BUREL, F. (1996) Hedgerows and their role in agricultural landscapes. *Critical Review in Plant Sciences*, 15, 169-190.
- BUREL, F. & BAUDRY, J. (1990) Structural dynamic of a hedgerow network landscape in Brittany France. *Landscape Ecology*, 4, 197-210.
- BUREL, F., BAUDRY, J., THENAIL, C. & LE COEUR, D. (2000) Relationships between farming systems and ecological patterns along a gradient of bocage landscapes. IN MANDER, U. & JONGMAN, R. H. G. (Eds.) *Consequences of Land Use Changes*. Southampton, WITpress.
- CHAMBRE D'AGRICULTURE D'ILLE-ET-VILAINE (1970) Usages locaux a caractere agricole au departement d'Ille et Vilaine. Rennes, Chambre d'Agriculture d'Ille et Vilaine.
- CRESWELL, R. & GODELIER, M. (1976) *Outils d'enquête et d'analyse anthropologiques*, Paris, Maspero.
- FORMAN, R. T. T. & BAUDRY, J. (1984) Hedgerows and hedgerow networks in Landscape Ecology. *Environmental Management*, 8, 499-510.
- GUIBAL, F. & BERNARD, V. (2002) Approche dendrochronologique de l'évolution récente du système bocager armoricain. IN RICHARD, H. & VIGNOT, A. (Eds.) *Equilibre et ruptures dans les écosystèmes*. Besançon, Presses Universitaires Franc-comtoises.
- HEGARTHY, C. A., MCADAM, J. H. & COOPER, A. (1994) Factors influencing the plant species composition of hedges - implications for management in Environmentally Sensitive Areas. IN BOATMAN (Ed.) *Field margins integrating agriculture and conservation*. Farnham, British Crop Protection Council.
- INRA, ENSA & RENNES, U. D. (1976) Les bocages : Histoire, Ecologie, Economie. *Table ronde CNRS : les écosystèmes bocagers*. Rennes, INRA-Rennes.
- JAVELLE, A. (2007) Perceptions de la biodiversité par des agriculteurs sur une zone atelier du nord-est de la Bretagne et évaluation de leur rencontre avec ds chercheurs en environnement, ou la main et le stylo. *Sciences de la Vie et de l'Environnement*. Rennes, Rennes 1.

- KROMP, B. (1999) Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74, 187-228.
- MARGUERIE, D., ANTOINE, A., THENAIL, C., BAUDRY, J., BERNARD, V., BUREL, F., CATTEDU, I., DAIRE, M. Y., GAUTIER, M., GEBHARDT, A., GUIBAL, F., KERGREIS, S., LANOS, P., LE COEUR, D., LE DU, L., MÉROT, P., NAAS, P., OUIN, A., PICHOT, D. & VISET, L. (2003) Bocages armoricains et sociétés, genèse, évolution et interactions. IN MUXARTD, T., VIVIEN, F. D., VILLALBA, B. & BURNOUF, J. (Eds.) *Des milieux et des hommes: fragments d'histoires croisées*. Paris, Elsevier.
- MARSHALL, E. P. J. E., JOENJE, W., BUREL, F., GEROWITT, B., PAOLETTI, M., THOMAS, C. F. G., MOONEN, C., BAUDRY, J., LE COEUR, D., KLEIN, D., SCHIPPERS, P., KOPP, A. & THENAIL, C. (1997) Field boundary habitats for wildlife, crop and environmental protection. Final Report. Long Ashton Research Station, University of Bristol, U.K.; Agricultural University, Wageningen, The Netherlands; Université de Rennes 1, France.
- MARTIN, B. & ROVÉRA, G. (1998) L'entretien des haies garant de leur diversité. *Revue de géographie alpine*, 1, 19-32.
- MOE, B. & BOTNEN, A. (1997) A quantitative study of the epiphytic vegetation on pollarded trunks of *Fraxinus excelsior* at Havrå, Osterøy, western Norway. *Plant Ecology*, 129, 157-177.
- MORANT, P., LE HENAFF, F. & MARCHAND, J. P. (1995) Les mutations d'un paysage bocager: essai de cartographie dynamique. *Mappemonde*, 1, 5-8.
- ORESZCZYN, S. & LANE, S. (2000) The meaning of hedgerows in the English landscape: Different stakeholder perspectives and the implications for future hedge management. *Journal of Environmental Management*, 60, 101-118.
- PETIT, S. & WATKINS, C. (2003) Pollarding trees : changing attitudes to a traditional land management practice in Britain» 1600-1900. *Rural History*, 14, 157-176.
- POLLARD, E., HOOPER, M. D. & MOORE, N. W. (1974) *Hedges*, London, W. Collins and sons.
- RACKHAM, O. (1986) *The history of the countryside. The full fascinating story of Britain's landscape*, London, Melbourne, J.M. Dent & Sons Ltd.
- ROZAS, V. (2004) A dendroecological reconstruction of age structure and past management in an old-growth pollarded parkland in northern Spain. *Forest Ecology and Management*, 195, 205-219.
- RYAN, B. F. & JOINER, B. L. (1994) *Minitab handbook*, Boston, Duxbury Press.
- SOLAGRO. (1997) Action de gestion des structure bocagères : enquête auprès de trente départements. Paris, France, Ministère de l'Agriculture.
- THENAIL, C. (2002) Relationships between farm characteristics and the variation of the density of hedgerows at the level of a micro-region of bocage landscape. Study case in Brittany, France. *Agricultural System*, 71, 207-230.

Section 2 :

**Estimation de la production de bois à partir des
données de photographies aériennes et des données de
l'arbre**

Estimation de la production de bois à partir des données de photographies aériennes et les données de l'arbre (chapitre 3).

A partir du travail effectué sur les photographies aériennes on a calculé la quantité des haies émondées chaque années sur chaque site de la zone atelier. Ces données ont calculé pour la durée d'étude, entre 1996 jusqu'à 2006 (11 ans).

1. Estimation de la quantité des haies émondées sur la zone atelier de Pleine-Fougères :

D'après les résultats d'interprétation des photographies aériennes présentées en première partie de ce chapitre, 1275 haies soit une longueur de 94275 mètres, ont été émondées pendant 11 ans sur les trois sites. C'est à dire 38% de toutes les haies de la zone atelier ont été émondées (Tableau N° 1).

Site	Total area (ha)	Number of pruned hedgerows	Length of pruned hedgerows (m)	Pruned Hedgerow Density (m/ha)	Rate of Hedgerow pruning
Site A	659	453	34	52	48%
Sie B	924	468	35	37	42%
Site C	1 816	354	25	14	27%
Sites A,B,C	3 399	1 266	94	28	38%

Tableau N° 1 : La longueur des haies émondées dans la zone atelier.

Mais la densité des arbres sur ces haies n'est pas homogène, pour une différenciation simple on a divisé ces haies en deux grandes groupes selon leur densité d'arbres, les haies continues et les haies discontinues. Cette distinction est visuelle et elle est basée sur des observations des photographies aériennes et vérification sur le terrain.

Selon nos résultat la majorité des haies dans la zone atelier (84%) appartient à la catégorie des haies continues soit 198,2 Km sur 236,4 Km. Par contre sur 100% des haies émondées, 78% sont des haies continues soit 73,9 Km sur 94,3 Km des haies émondées (Tableau N° 2).

Si on regarde des différences entre les trois sites d'étude dans la zone atelier, dans mes ite C les haies continues sont moins représentées (80%) que dans les autre sites (87% dans les site B et 85% dans les site B).

En terme des haies émondées selon cette catégorie, on voit que 75% des haies émondées dans le site C sont des haies continues, tandis que pour le site A ce taux est de 81% et pour le site B, de 79% (Tableau N° 2).

	Type de Haie	Longueur Arborée (m)	Longueur Emondée (m)
Site A	Haie Continue	59379	27848
	Haie Discontinue	10472	6585
Site B	Haie Continue	66871	27291
	Haie Discontinue	10204	7318
Site C	Haie Continue	71938	18812
	Haie Discontinue	17538	6420
Zone Atelier	Haie Continue	198188 (84%)	73951 (78%)
	Haie Discontinue	38214 (16%)	20323 (22%)

Tableau N° 2 : Répartition des haies continues et discontinues dans la zone atelier de Pleine-Fougères.

2. Estimation de la production moyenne du bois sur une longueur de 100 mètre de haie dans la zone d'étude

Compter tous les arbres des haies de la zone atelier (la superficie de 3400 hectares), n'est pas possible dans cette étude. Pour avoir une estimation, on a choisi de manière aléatoire 38 haies discontinues et 43 haies continues dans la zone atelier. Sur ces haies échantillonnées, on a compté le nombre d'arbres. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Site	Nombre de haie échantillonnées	Longueur des haies (m)	N. d'arbres sur ces haies	N. d' Arbres sur 100 mètre
Site A	13	1662	116	6,7
Site B	16	1929	119	6,3
Site C	9	1211	73	6,1
Zone Atelier	38	4802	308	6,4

Tableau N°3 : Le nombre d'arbres sur 38 haies discontinues recensées.

On a compté 308 arbres sur une longueur de 4802 mètre dans 38 haies discontinues dans les trois sites. La moyenne du nombre d'arbres dans le site A est légèrement supérieure à celle des autres sites, mais la différence n'est pas significative (test d'Anova, $P > 0,05$).

Pour les haies de catégorie continue, on a compté 467 arbres sur une linéaire de 5460 mètre dans 43 haies (tableau N°4). Le test d'Anova nous a montré aussi qu'il n'y a pas de différence entre les trois sites en terme de nombre d'arbres sur une longueur de 100 mètres.

Site	Nombre de haies échantillonnées	Longueur des haies (m)	N. d'arbres sur ces haies	N. d' Arbres sur 100 mètre
Site A	14	1938	177	9,1
Site B	15	1814	157	8,7
Site C	14	1708	133	7,8
Zone Atelier	43	5460	467	8,5

Tableau N°4 : Le nombre d'arbres sur 43 haies continues recensées.

3. Estimation de la production totale du bois sur la zone d'étude

Résultat de partie de l'arbre (chapitre 3) nous a montré qu'un arbre émonde produit 28,5 Kg de poids sec par an, donc en comptant le nombre d'arbres sur la longueur des haies, on peut estimer la production du bois.

Avec ce chiffre on peut maintenant estimer la production du bois des haies continues et discontinues pour une longueur de 100 mètres.

La production du bois sur une longueur de 100 mètre de haie continue =
 N. d'arbres/100 m * production moyenne par arbre = $8,5 * 28,5 =$
242,25 Kg par An/100mètre

La production du bois sur une longueur de 100 mètre de haie discontinue =
 N. d'arbres/100 m * production moyenne par arbre = $6,4 * 28,5 =$
182,4 Kg par An/100mètre

En utilisant ces chiffres pour évaluer la production des haies émondées (tableau N° 4), on arrive à la quantité du bois produite par les haies de la zone atelier (Tableau N° 5).

	Type de Haie	Longueur Emondée (m)	Production du bois (Kg)
Site A	Haie Continue	27848	67462
	Haie Discontinue	6585	12011
Site B	Haie Continue	27291	66112
	Haie Discontinue	7318	13348
Site C	Haie Continue	18812	45572
	Haie Discontinue	6420	11710
Zone Atelier	Haie Continue	73951	179146
	Haie Discontinue	20323	37069
Zone Atelier	Totale de la Production du bois		216,2 Tonnes

Tableau N° 5 : La quantité de la production du bois dans la zone atelier.

On peut dire que dans une durée de 11 ans (entre 1996 et 2006), 216,2 tonnes du bois a été produit par émondage des haies sur une superficie de 3400 hectares, ceci correspond à 64 Kg/Hectare/An.

Ces chiffres nous ne montrent pas la potentialité de la production du bois par ces haies, car on a compté que les haies émondées. De même manière on peut estimer la production potentielle de bois par émondage dans la zone atelier en considérant que toutes les haies peuvent être émondées sur une période de 11 ans (Tableau N° 6).

	Type de Haie	Longueur Arborée (m)	Production du bois (Kg)
Site A	Haie Continue	59379	143845
	Haie Discontinue	10472	19100
Site B	Haie Continue	66871	161994
	Haie Discontinue	10204	18612
Site C	Haie Continue	71938	174269
	Haie Discontinue	17538	31989
Zone Atelier	Haie Continue	198188	480110
	Haie Discontinue	38214	69702
Zone Atelier	Totale de la Production du bois		550 Tonnes

Tableau N° 6 : La potentiel de la production du bois dans la zone atelier.

La potentialité de la production du bois par des haies émondées est 550 tonnes par an dans la zone atelier de Pleine-Fougères, soit 162 Kg par hectare et par an.

Partie II

Aspect socio-économique

Chapitre V

Etude socio-économique de la production et de la consommation du bois

1. Introduction

Le bois de feu est, devant le bois d'œuvre et la pâte à papier, une des utilisations les plus importantes du bois en France. D'après De Caix (1994) le bois énergie est une source d'énergie essentielle pour les ménages agricoles. En France métropolitaine, un ménage sur 4 se chauffe tout ou en partie au bois (Meiffren I. and Ruscassie C. 2004).

Traditionnellement, le bois de feu est consommé sous forme de bûches et de rondins pour le chauffage des maisons, les cheminées d'agrément ou le four à pain. Au cours de l'hiver 1996-1997, 45 % des agriculteurs ont récolté du bois, principalement, de feu soit une quantité de 7 millions de stères en territoire national (De Corlieu, 1999).

Dans les régions bocagères, le niveau de la consommation de bois est relativement élevé par rapport à la moyenne nationale (Baudry et Jouin, 2003). Solagro estime cette consommation de bois en 2004 pour la Bretagne à 2,016 millions stères par an (Meiffren I. and Ruscassie C. 2004).

Mais depuis une vingtaine d'années, on observe un abandon progressif des haies et la simplification des pratiques de leur entretien, ce qui a diminué la quantité du bois récolté (Martin et Rovéra, 1998), et cela parce que les pratiques traditionnelles sont de plus en plus contraignantes pour les agriculteurs (Javelle 2007, Baudry et Jouin 2003). L'exploitation traditionnelle des haies est très longue, délicate, fastidieuse et même dangereuse; tout cela défavorise la production du bois. L'utilisation de nouveaux équipements comme la tronçonneuse et la nacelle permet aux agriculteurs d'exploiter les haies plus vite sans grand danger.

Le développement des techniques de chauffage aux plaquettes et des techniques de production de plaquette a aussi ouvert d'autres pistes pour l'exploitation des haies.

La mise en service de plus de 250 chaudières automatiques à bois depuis le début des années 80 sur le territoire du grand ouest «Bretagne, Pays de Loire» (Douté, 2005) montre une tendance chez les agriculteurs à chauffer leur bâtiment d'habitation de cette manière.

La valorisation du bois déchiqueté à partir de la ressource sur pied offre des débouchés nouveaux et complémentaires aux produits traditionnels de l'agriculture. Le bois de haie, sans grande valeur aujourd'hui, même gênant dans certaines exploitations, peut présenter une opportunité pour les agriculteurs.

Notre objectif est d'aborder l'aspect socio-économique de la production et de la consommation des plaquettes au niveau de l'exploitation agricole afin de mieux comprendre la tendance des agriculteurs à utiliser la chaudière à bois déchiqueté. Dans cette démarche, les objectifs de cette démarche sont les suivants :

- Déterminer les caractéristiques socio-économiques des exploitations ayant une chaudière à bois déchiqueté.
- Etudier les relations entre la plantation et l'entretien des haies, la consommation de bois et les caractéristiques des exploitations.

Ces résultats nous fournissent les idées initiales sur la gestion des haies et le potentiel de la production du bois à ce niveau et peut contribuer à aider le développement de la filière bois énergie.

Pour récolter les données, on a fait une enquête auprès d'agriculteurs dans tout le département d'Ille-et-Vilaine. Les questionnaires ont été expédiés à l'adresse des agriculteurs.

Les données demandées ont été classées dans les cinq catégories suivantes :

- Les caractéristiques des exploitations (la superficie, SAU, les types de productions animales et végétales).

- La potentialité de la production de bois sur chaque exploitation (la quantité de bois issu de l'entretien des haies anciennes et des haies nouvelles, des taillis et des bosquets, les essences et les types du traitement majeur).
- La plantation des haies sur chaque exploitation, les essences et les types d'entretien effectués.
- La consommation annuelle de plaquettes, la puissance de la chaudière, la superficie à chauffer avec le bois déchiquetés et les autres utilisations des chaudières.
- Le statut de la mécanisation et de la main d'œuvre sur les exploitations et les intérêts des agriculteurs pour installer une chaudière à bois déchiqueté.

2. Matériel et méthodes

2.1 Site d'étude :

Le département d'Ille-et-Vilaine a été choisi pour cette étude, car 50% des chaudières installées dans la région Bretagne, sont en Ille-et-Vilaine. La liste des agriculteurs ayant une chaudière automatique à bois déchiqueté a été fournie par l'association AILE (Association d'Initiatives Locales pour l'Energie et l'Environnement), qui a en charge la mise en place du financement et de l'installation des chaudières en Bretagne. Une bonne partie de ces agriculteurs ont été contactés pour le suivi des chantiers de bois déchiqueté (chapitre précédent) ce qui a facilité cette enquête et permis un bon taux de retour des questionnaires.

2.2 Définition des données récoltées (variables initiales) des exploitations agricoles :

L'enquête a été réalisée en hiver 2007-2008. Les questionnaires ont été envoyés à 60 agriculteurs ayant une chaudière à bois déchiqueté en Ille-et-Vilaine. Joint au questionnaire, une lettre concernant le but de notre étude et l'idée du questionnaire expliquait les raisons pour lesquelles on a mené cette étude.

Environ une semaine après l'expédition des courriers, nous avons contacté les agriculteurs pour suivre notre questionnaire et répondre éventuellement aux questions qu'ils se posaient et aux difficultés qu'ils rencontraient pour remplir le questionnaire.

Le questionnaire de l'enquête est présenté en annexe.

Les données acquises sont les suivantes :

I. Les caractéristiques générales de l'exploitation :

- Le statut juridique de l'exploitation
- La superficie totale
- La surface agricole utile
- La surface de bosquet/bois

II. Les productions végétales / animales :

Les surfaces des productions végétales sont spécifiées selon les classes de « céréales (blé, ...), maïs, colza, autres cultures et prairies ».

On a aussi spécifié les types majeurs de la production animale : vaches laitières, génisses, autre bovins, ovin, volaille.

Afin de comparer différentes exploitations selon la qualité et la quantité de la production animale, on a converti les catégories d'animaux en unité de gros bétail

(UGB) en utilisant le tableau publié par le ministère de l'agriculture et de la pêche (annexe).

III. La potentialité de la production de bois dans l'exploitation agricole :

Nous cherchons à savoir comment les agriculteurs produisent leurs plaquettes.

Quelles sont la quantité, la qualité et les sources de cette production sur l'exploitation ? Il y a différentes sources de production de bois de plaquettes : l'émondage des haies anciennes, l'élagage des haies plantées, les bois de bosquet, les sources de bois sur des autres exploitations et l'achat des plaquettes ou de déchets de scierie sont les sources que nous avons envisagées.

On veut étudier également, le rapport qui existe entre cette production et la plantation et l'entretien des haies.

Cette partie du questionnaire a été divisée en trois sections :

a. La quantité de bois produite sur l'exploitation.

La quantité de production de plaquettes et de bûches.

- Les espèces d'arbres les plus utilisés.
- La source du bois : haie traditionnelle ou nouvelle plantée, bosquet, achat de plaquette et bois récolté (haie, bosquet) sur d'autres exploitations.

b. L'entretien des haies sur l'exploitation.

Afin d'évaluer l'autonomie des exploitations en terme de la production de bois, on a demandé les informations suivantes sur les haies :

- La longueur totale des haies sur l'exploitation.
- La longueur des haies traditionnelles.
- L'entretien annuel de chaque type de haie.
- Le type majeur d'entretien des haies (élagage, émondage, recépage, coupe à blanc)

c. La plantation des haies.

Afin de pouvoir évaluer la durabilité de la production de bois sur l'exploitation et l'état du renouvellement des haies, on a acquis les données des haies nouvelles plantées. Nous avons considéré la plantation de nouvelles haies comme un indicateur de durabilité.

- La longueur des haies plantées.
- Les espèces les plus plantées.
- Le type d'entretien des haies plantées.
- La valorisation en bois énergie des haies plantées (si elles sont valorisées).

IV. La consommation énergétique des exploitations agricoles et la consommation du bois déchiqueté :

Pour estimer la quantité d'énergie fournie par le bois par rapport à la consommation énergétique totale des ménages agricoles, les données suivantes sont acquises :

- La consommation annuelle de bois déchiqueté, de bûches.
- Le type et la puissance de la chaudière à bois.

- La surface et les lieux à chauffer (maison, gîte, chambre d'hôtel, bâtiment de production « serre, porcherie, bâtiment d'élevage avicole ... »).
- La production d'eau chaude.
- Autre utilisation de l'énergie du bois (services : boulangerie, fromagerie...).
- La consommation d'autres sources d'énergie des ménages : électricité, fioul et gaz.

V. La mécanisation, les matériels et la main d'œuvre utilisés pour l'entretien des haies et la production des plaquettes :

Pour étudier les rapports entre le degré de la mécanisation des exploitations avec l'autonomie énergétique, l'entretien des haies et la production des plaquettes, une série de données a été demandée aux agriculteurs :

- Le type de matériel pour l'entretien des haies et la coupe des branches (tronçonneuse, nacelle, lamier).
- Les matériels utilisés pour déchiqeter de bois (déchiqeteuse, grappin, remorque).
- La propriété des matériels (personnel, CUMA, entreprise, autre personne).
- La quantité de main d'œuvre utilisée pour le chantier déchiqetage.

2.3 Méthode d'analyse des données:

L'Anova sous logiciel de Minitab (Minitab, 2007) a été réalisée afin de comparer les différents groupes d'exploitations agricoles.

L'analyse en composante principale a été utilisée pour étudier les variables caractérisant les haies (la longueur des haies plantées, la longueur des haies entretenues, la consommation de plaquettes). Nous avons aussi étudié les caractérisations des exploitations agricoles à l'aide d'une ACP avec le logiciel ADE4 pour essayer d'identifier un profile type d'agriculteur utilisant le bois déchiqeté (Thioulouse et al.1994).

Pour étudier les relations entre les variables liées aux haies et la caractérisation et la production des exploitations agricoles, une analyse de Co-inertie a été réalisée avec le logiciel ADE4 (Mercier 1992, Thioulouse 2004).

3. Résultats

3.1 Présentation générale des données acquises

Nous avons obtenu 37 réponses sur les 60 questionnaires envoyés (58%). Seules 32 réponses ont été prises en compte pour l'analyse, car cinq questionnaires étaient non remplis ou incomplets.

Le tableau ci-dessous décrit globalement l'usage du bois dans les exploitations enquêtées :

N° d'exploitation	Commune	Surface Totale (ha)	Longueur Des haies	Longueur de haies plantées	Consommation Annuelle de plaquettes (m3)	Puissance de la chaudière	Surface à Chauffer avec la chaudière à bois
1	Mouazé	51	2000	0	30	25	115
2	Iffendic	73	0	1000	40	30	200
3	Bazouge.désert	130	8000	2000	50	23	180
4	Retiers	135	3800	200	110	40	250
5	Servon/ Vilaine	72	0	0	100	40	120
6	La Chap. Bouëxic	62	2000	2500	60	40	250
7	Monfort/meu	87	6500	0	80	40	310
8	Aubigné	180	18000	800	75	30	250
9	Mellé	81	500	5700	120	40	200
10	St.Germain	103	1700	700	30	30	143
11	Pleumeleuc	65	3300	700	120	55	640
12	Bouëxière	144	4000	0	40	30	160
13	Romillé	28	1800	700	70	35	250
14	La Chap. Thouarault	68	3000	0	45	23	160
15	Vendel	40	2500	1600	45	40	290
16	Landujan	72	4000	500	20	40	180
17	Parigné	65	1500	500	400	200	2000
18	Bazouge	70	2000	0	40	40	120
19	Vitré	52	650	2000	50	30	140
20	Retiers	46	7000	1000	60	40	360
21	Rannée	78	2500	1500	35	30	200
22	Talensac	44	6000	0	300	60	250
23	La Chap. Chaussée	30	2600	0	50	23	230
24	Iffendic	41	2000	500	30	30	150
25	Drouges	44	2000	2675	90	40	500
26	St. Germain	22	2000	0	30	30	180
27	Iffendic	5	100	1200	80	100	300
28	Epiniac	51	2600	500	30	30	110
29	Montours	80	1000	1000	60	30	200
30	Pleine-Fougères	52	1800	625	70	40	350
31	Piré/Seiche	52	500	0	35	30	160
32	La Chap. Chaussée	46	1500	0	60	23	110

Tableau N°1 : Utilisation du bois dans les 32 exploitations enquêtées

Les exploitations étudiées sont dispersées dans 30 communes sur le département d'Ille-et-Vilaine (figure N°1).

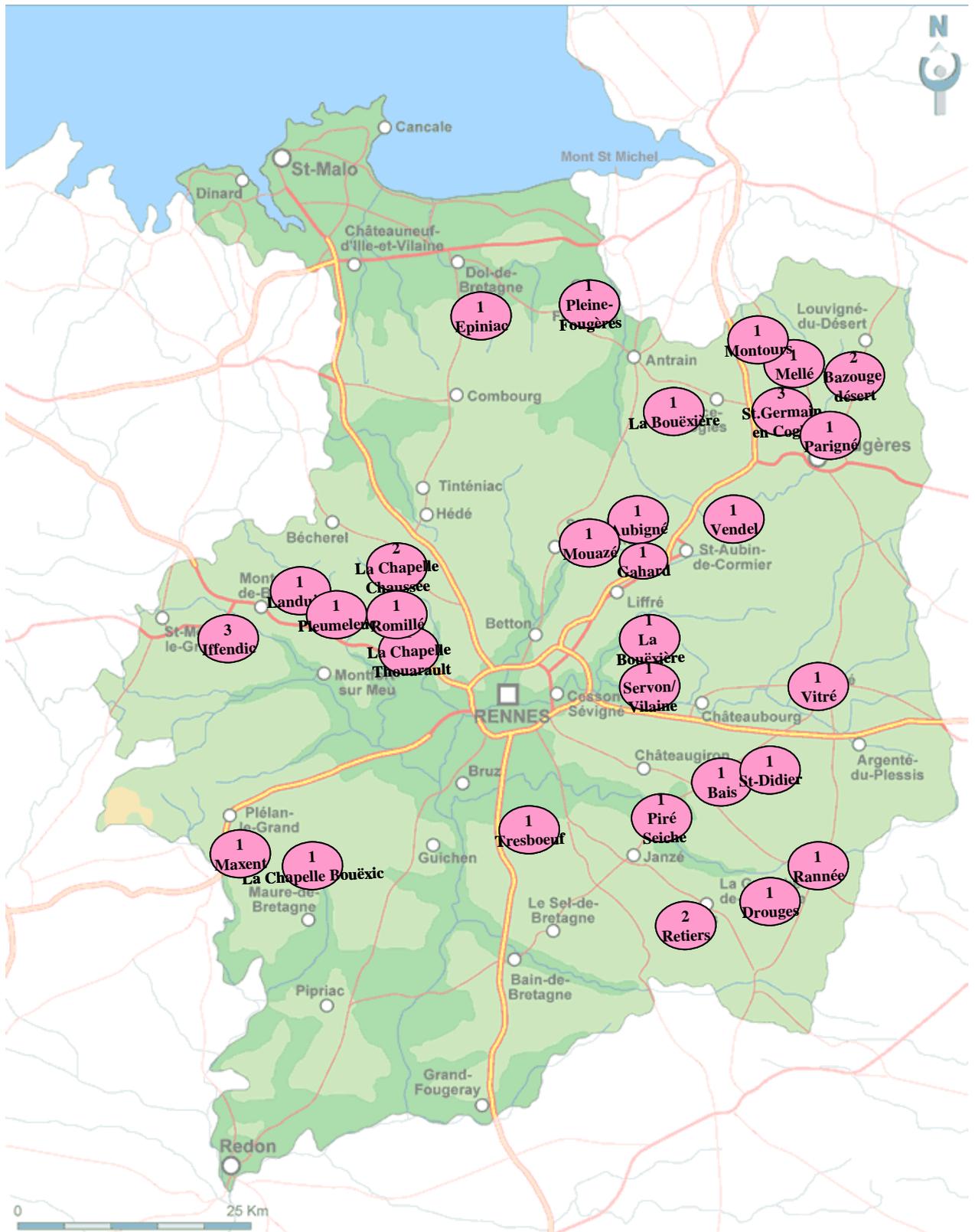


Figure N° 1: La localisation des exploitations agricoles enquêtées (Ille-et-Vilaine).

- Taille des exploitations agricoles :

La taille de ces exploitations varie entre 5 et 180 ha, et en moyenne, elle est de 68 hectares. Plus de la moitié des exploitations (61%) ont une superficie entre 60 et 100 ha.

Nous avons comparé nos données avec les exploitations agricoles dans le département d'Ille-et-Vilaine (figure 3). Selon ces données, 45% des exploitations ont une superficie de moins de 30 ha et 42% entre 30 à 80 ha et seulement 12,5% plus de 80 ha tandis que la majorité des exploitations équipées de chaudière ont une superficie entre 30 à 80 ha. Les petites exploitations (moins de 30 ha) sont peu équipées moins de chaudières (figure 2).

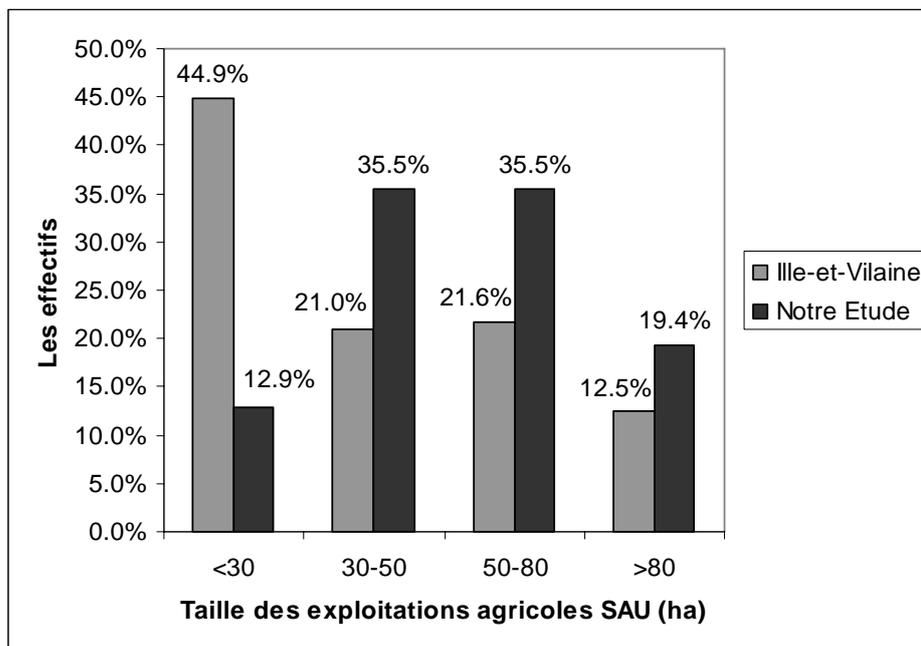


Figure N° 2 : Le taux des exploitations agricoles selon la taille.

- Statut juridique des exploitations agricoles :

10 exploitations sont des EARL (Exploitation A Responsabilité Limitée), 10 des GAEC (Groupement Agricole d' Exploitation en Commun), et 12 des exploitations agricoles individuelles. Nous avons comparé le statut juridique des exploitations étudiées avec celui des exploitations en Ille-et-Vilaine (figure 3). Dans ce département le type d'exploitation familiale est dominant (67,5% de totalité) et les GAEC sont moins présents (9,6%), alors que les chaudières sont également réparties dans tous les types d'exploitations.

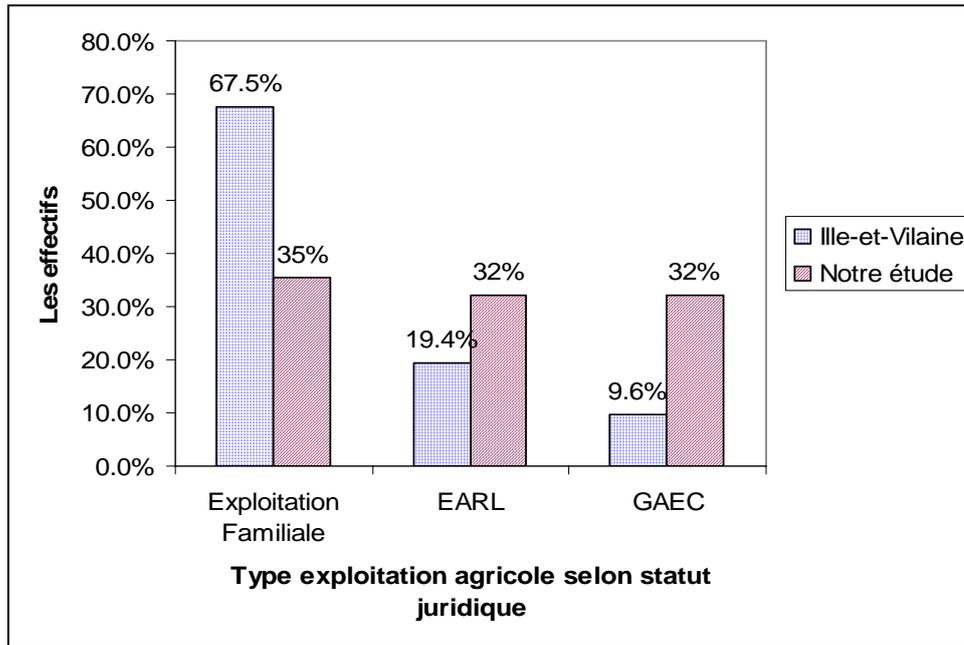


Figure N° 3 : Le taux de type d'exploitations agricoles selon statut juridique.

On a réalisé une Anova sur les données de la taille des exploitations agricoles selon leur statut juridique. Le résultat nous a montré que la taille des exploitations est significativement différente selon leur statut (valeur de $P= 0,000$). Les exploitations du type de GAEC ont en moyenne 103,8 hectares et sont les exploitations les plus grandes, les EARL sont en moyenne 66,03 hectares et les plus petites exploitations sont les exploitations du type de Familiale Individuelle, avec une taille moyenne de 16,5 hectares (figure N°4).

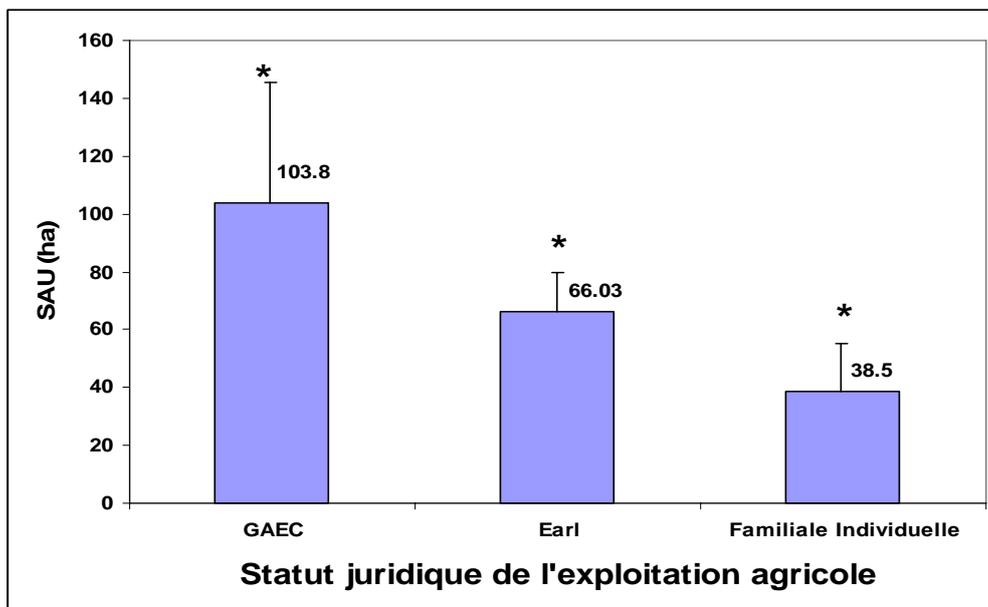


Figure N°4 : La taille des exploitations agricoles selon leur statut juridique.

On a également vérifié la différenciation entre les groupes d'exploitations selon leur densité des haies. Le résultat du test d'ANOVA effectué sur les données de la densité des haies des exploitations montre que la densité des haies des exploitations du type de « Familiale Individuelle » est plus forte que dans les autres types d'exploitation ($P=0,038$) (Tableau N°2).

Type d'exploitation	Densité des haies (m/ha)		
	Moyenne	Ecart Type	
Familiale Individuelle	80,4	29,2	Significative, ($P=0,038$)
EARL	52,8	20,8	n.s
GAEC	52,2	30,9	n.s

Tableau N° 2 : La différenciation des types d'exploitations agricoles selon leur statut juridique et par rapport à la densité des haies.

- Autonomie et sources de production des plaquettes :

En ce qui concerne l'autonomie de la production des plaquettes, 79% des exploitations (26 cas) sont totalement autonomes, 8 exploitations sont dépendantes d'autres sources de bois telle que l'achat de plaquettes (2 cas), l'utilisation de déchets de scierie (3cas) ou l'exploitation de haies sur d'autres exploitations (6 cas). Certains agriculteurs utilisent plusieurs-sources de bois.

94% des exploitations enquêtées (30 cas) valorisent les bois des haies traditionnelles et pour 26 exploitations (81% de population étudiée) les haies traditionnelles fournissent la majorité de consommation en plaquettes de bois.

- Le rôle des différentes sources de bois dans la fourniture de plaquettes des chaudières :

On a vérifié le taux de chaque source de bois pour la fourniture des plaquettes consommées annuellement (2467 m^3) dans ces 32 exploitations agricoles.

Les haies traditionnelles (anciennes) en produisant 70,9% des plaquettes consommées, sont les premières sources importantes pour les agriculteurs. Quand on ajoute le taux de la production par haies sur d'autres exploitations (8,5%), ce chiffre arrive à 79,4% pour les haies anciennes, tandis que les taillis et les bosquets et les déchets de scierie produisent 9,8% et 4,9% des plaquettes consommées (Figure N°5).

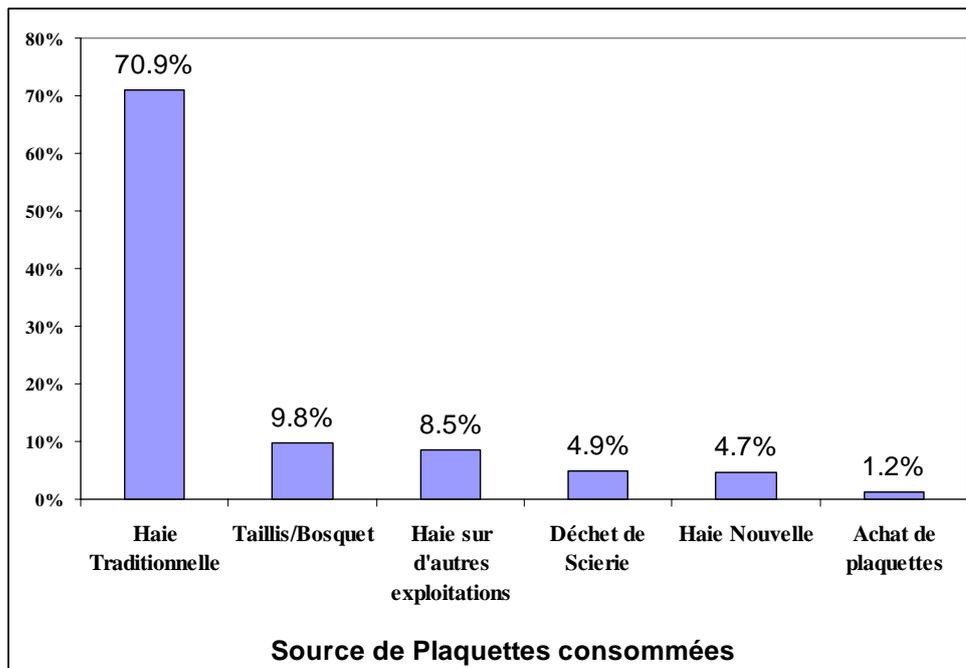


Figure N° 5 : Le taux des différentes sources disponibles pour les agriculteurs dans la fourniture des plaquettes en bois.

Les haies nouvelles en fournissant 4,7% de plaquettes consommées ne jouent pas un grand rôle dans la production de plaquettes.

Le rôle de l'achat des plaquettes est très faible, car il fournit seulement 1,2% de la totalité des plaquettes consommées.

- Les usages de la chaudière à bois dans l'exploitation :

Dans 94% des exploitations enquêtées la chaudière à bois déchiqueté est la source principale pour chauffer la maison et pour les 6% restant le chauffage à bois est utilisé uniquement pour chauffer les bâtiments d'élevage (aviculture, atelier porcin).

6 exploitations utilisent la chaudière pour chauffer la maison et aussi pour d'autres usages, comme la piscine ou la fromagerie (figure N°6).

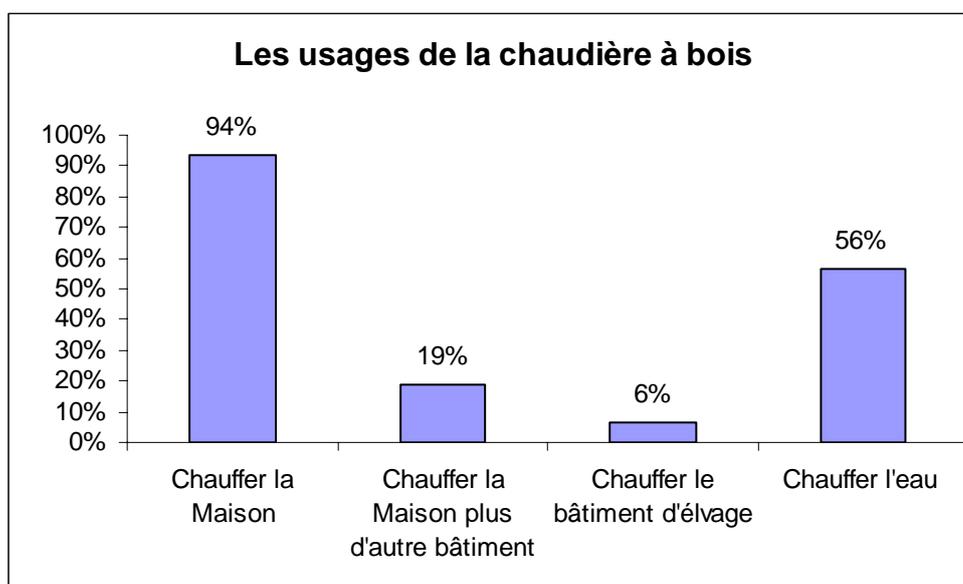


Figure N° 6 : Les différents types d'usages de la chaudière à bois par les agriculteurs.

- L'intérêt des agriculteurs pour installer une chaudière à bois déchiqueté :
On a demandé aux agriculteurs quelles étaient les raisons principales de leur choix pour une chaudière à bois: intérêt économique, écologique, autonomie énergétique de la ferme ou utilisation facile et accessibilité des combustibles.

L'intérêt économique est la première cause pour installer une chaudière chez 65.6% des agriculteurs. Pour 18.8% d'entre eux, les raisons écologiques sont plus importantes et constituent l'intérêt principal. L'autonomie énergétique est la troisième cause en faveur de la chaudière à bois (15.6% des cas). Les autres intérêts (l'utilisation facile et accessibilité des combustibles) ne sont pas cités par les agriculteurs.

La comparaison des motivations nous montre que les raisons économiques, écologiques et l'autonomie énergétique, sont les trois raisons principales pour l'installation d'une chaudière à bois (figure N° 7).

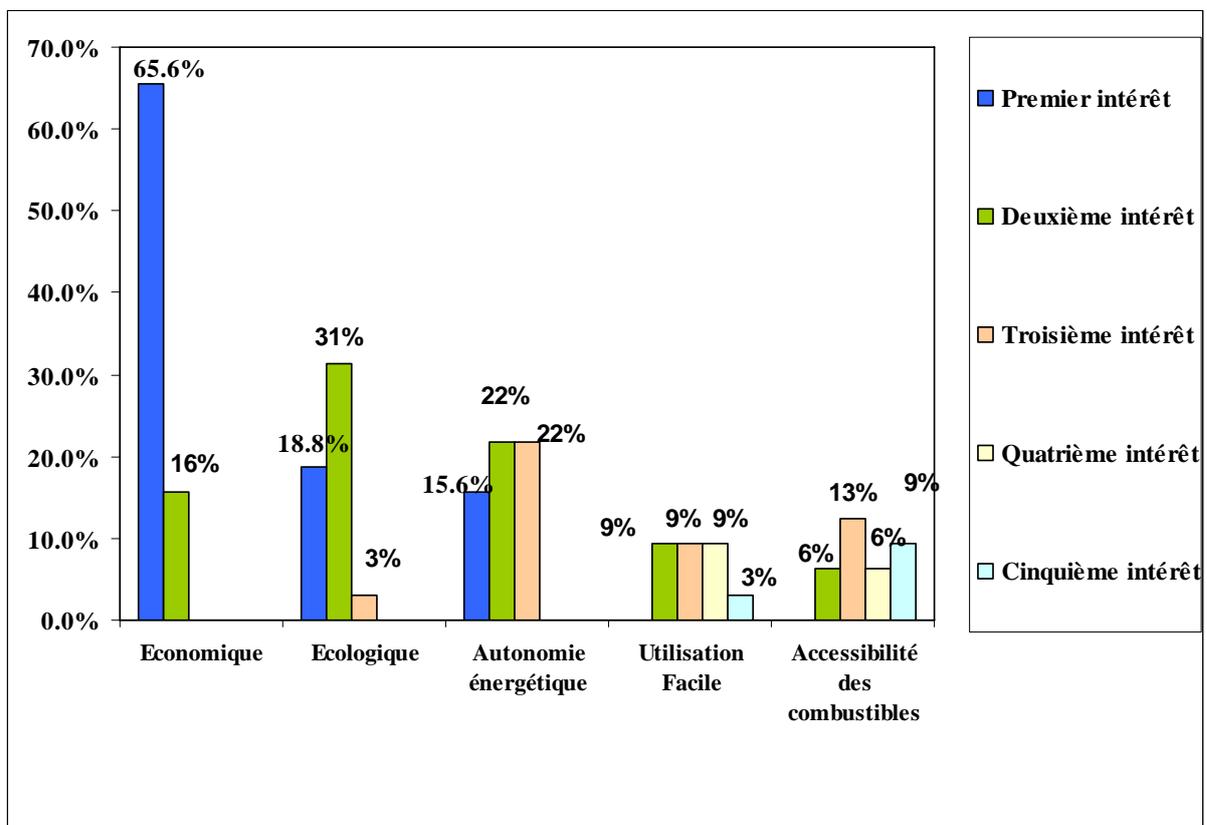


Figure N° 7 : **Importance de différentes raisons dans la décision des agriculteurs pour avoir la chaudière à bois.**

- La mécanisation des exploitations et la propriété des équipements nécessaires à la production de plaquettes (déchiqueteuse, grappin, tronçonneuse, nacelle) :
La tronçonneuse et le lamier sont les principaux matériels utilisés pour la coupe dans les 32 exploitations étudiées. 69% des agriculteurs utilisent seulement la tronçonneuse et 31% des agriculteurs utilisent le lamier et la tronçonneuse. Il n'y a pas d'utilisation d'autre matériel.

Quant à la propriété des équipements, la majorité des agriculteurs est dépendante des entreprises ou des CUMA (28 exploitations). Pour le chantier de coupe, 23 agriculteurs

utilisent la nacelle et parmi eux, 6 personnes ont leur propre nacelle. Les autres sont dépendants des CUMA ou des entreprises.

La déchiqeteuse est utilisée pour transformer le bois en plaquettes (copeaux). 55% des agriculteurs produisent les copeaux avec la machine d'une CUMA et 33% avec la machine d'une entreprise (figure N° 8). 2 agriculteurs utilisent leur propre machine et 2 autres organisent leurs chantiers avec la déchiqeteuse de ces deux personnes.

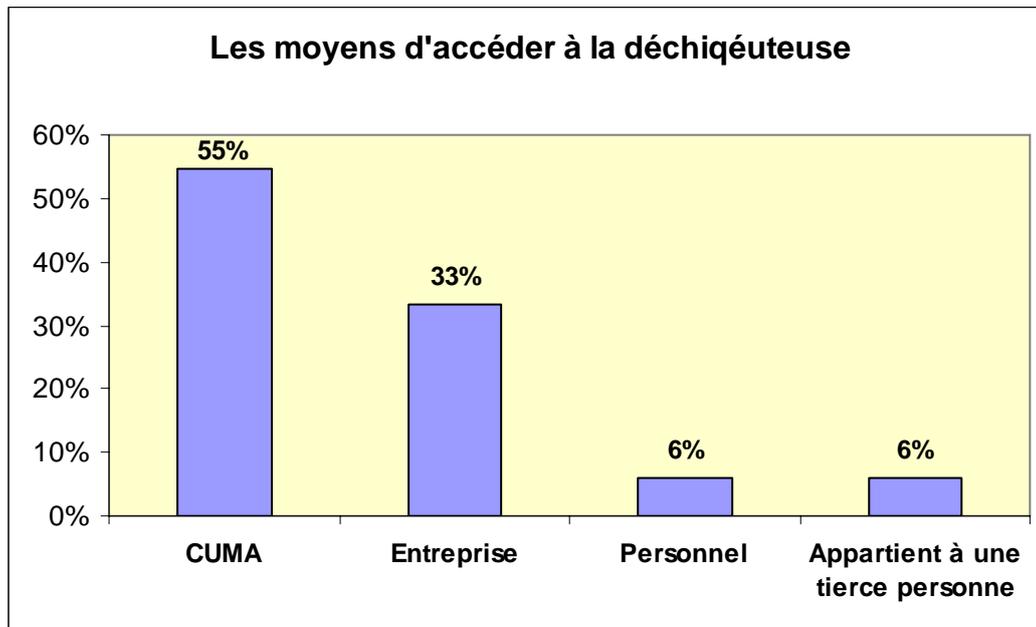


Figure N° 8 : La propriété de déchiqeteuse utilisée par les agriculteurs.

3.2 La caractérisation des exploitations agricoles en terme de production et de consommation de plaquettes (entretien et plantation des haies):

Une analyse en composante principale a été réalisée sur une matrice de données composée de 32 exploitations et trois variables de plantation et d'entretien des haies et la consommation de plaquettes. La variable de plantation de haies, est la longueur de haies plantées avec les essences forestières sur chaque exploitation. La variable d'entretien des haies correspond à la longueur des haies entretenues par les agriculteurs sur chaque exploitation. La variable de consommation de plaquettes est le volume de bois déchiqueté annuellement par les agriculteurs.

Le pourcentage cumulé de variance expliquée est de 77,61% pour les deux premiers axes. Pour l'axe 1, les variables de plantation des haies et de consommation des plaquettes s'opposent. L'axe 2 oppose la variable d'entretien de la haie à la plantation et à la consommation (figure N°9).

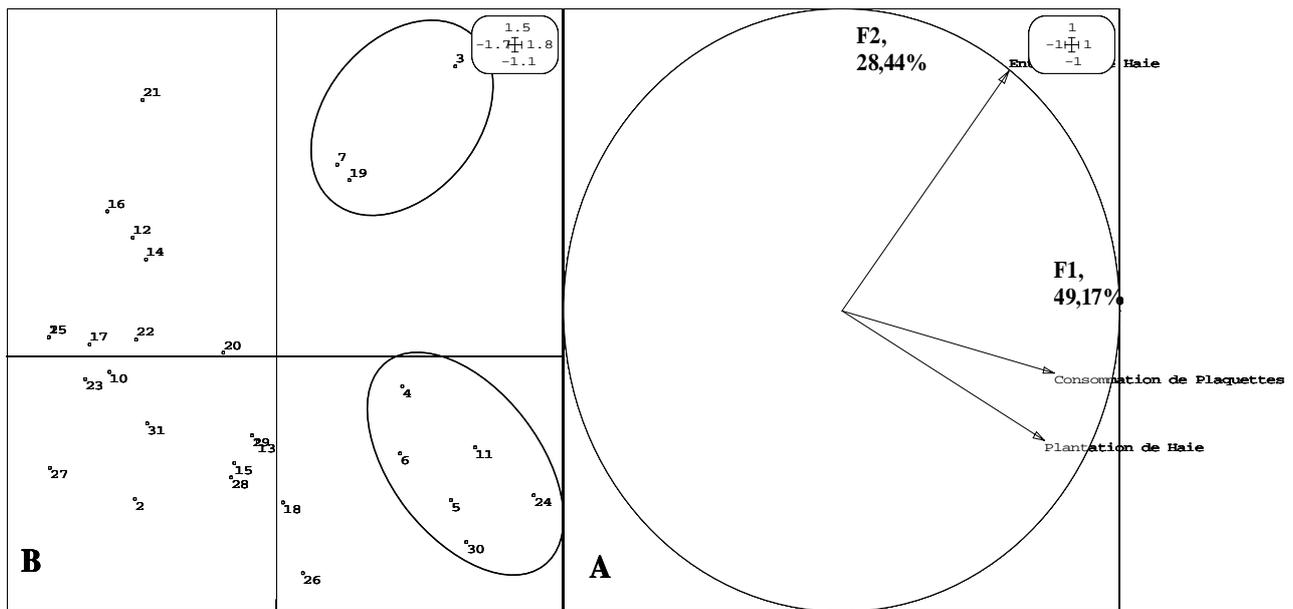


Figure N° 9 : Cercle de corrélation F1&F2 présentent les contributions relatives aux variables des haies (A). Présentation graphique des exploitations agricoles sur le plan factoriel F1&F2 (B).

Dans la partie haute à droit de la figure 10b, sont situées les exploitations ayant une consommation annuelle faible de plaquettes ($61\text{m}^3/\text{an}$) et une plantation faible de haie (1000 mètres) mais par contre, la densité des haies sur ces exploitations est importante (96 m/ha) et la longueur des haies entretenues annuellement est plus élevée (7833 mètres).

Les exploitations 4, 5, 6, 11,24 et 30 sont situées dans la partie basse à droit de la figure 8b, ont une consommation plus élevée de plaquettes ($86\text{ m}^3/\text{an}$) et aussi une plantation plus importante que dans le premier groupe (2013 mètre). Mais la longueur des haies entretenues et la densité des haies sont moins importantes que celles du premier groupe (successivement 3750 mètres et 72 m/ha).

Pour les autres exploitations, on a constaté que leur consommation annuelle de plaquettes est plus faible (en moyenne $61\text{ m}^3/\text{an}$) et la quantité des haies plantées (833 mètres) et la longueur des haies entretenues (en moyenne 3352 mètres/an) sont aussi moins importantes que dans les deux groupes précédents.

3.3 Caractérisation des exploitations agricoles selon leurs caractéristiques structurales, la production et la main d’œuvre :

Pour caractériser les exploitations selon leur production végétale et animale, une analyse en composante principale a été faite sur la matrice de données des 32 exploitations. Les données qui constituent la matrice sont :

La superficie totale de l’exploitation	Sur.Tot
La superficie de prairie	S.Pra
La superficie de culture	A.Cut
La surface à chauffer avec la chaudière	Sur.chau
Le nombre d’unités de gros bétail	UGB
La quantité de main d’œuvre disponible sur l’exploitation	Main.dO-PT

D'après les résultats d'analyse, 54,85% de l'inertie sont portés par le premier axe et 21,22% par le deuxième axe (figure N° 10).

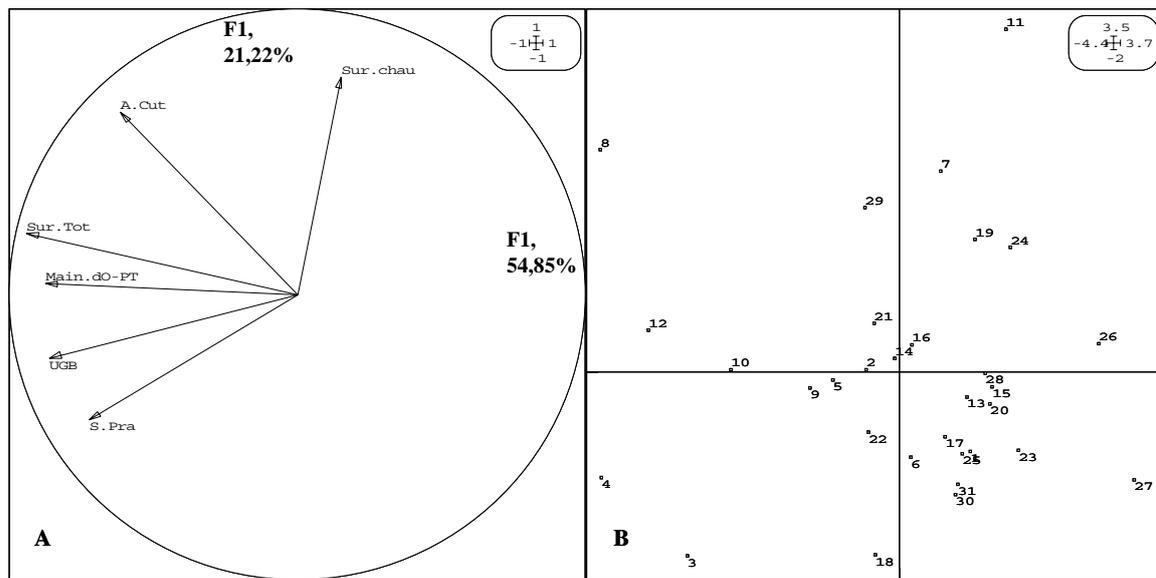


Figure N° 10 : Cercle de corrélation F1&F2 présente les contributions relatives aux variables des haies (A). Présentation graphique des exploitations agricoles sur le plan factoriel F1&F2 (B).

Le pourcentage cumulé de la variance expliquée est de 77,07% pour les deux premiers axes. L'axe F1 est déterminé par les variables superficie totale, surface de prairie, UGB et quantité de main d'œuvre. Il s'agit d'un axe d'intensification de la production animale dans les exploitations. La surface à chauffer caractérise l'axe F2 et elle est relativement indépendante de la taille, de la production et des autres caractéristiques des exploitations.

3.4 Relation entre les caractéristiques des exploitations agricoles et les caractéristiques des haies :

Afin de maximiser la co-variance entre les 2 espaces factoriels précédemment calculés, une analyse de co-inertie a été réalisée.

La validité de cette analyse est testée par un test de permutation de Monte-Carlo, qui est significatif à $P=0,006$.

Le cercle de corrélation réunit les variables caractérisant les exploitations et les variables caractérisant les haies (figure N°11).

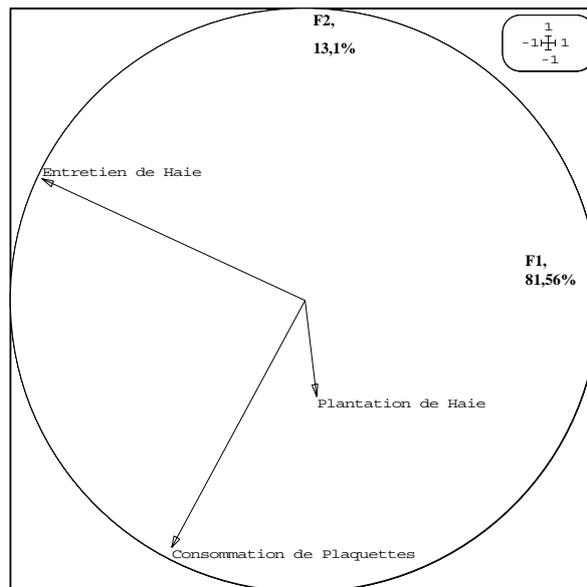


Figure N° 11 : Projection des variables sur plan factoriel de co-inertie.

Sur l'axe F1 de la co-inertie, on trouve : 77,8% de la variabilité du premier l'ACP sur les valeurs de la production et de la consommation de plaquettes, et 81,16% de l'inertie du deuxième l'ACP sur les paramètres caractérisant des exploitations agricoles.

La covariance résultante, portée par l'axe F1 de co-inertie est de 1,221, et la corrélation entre les deux ensembles sur F1 est de 0.6969.

Sur ce plan factoriel de co-inertie, on peut remarquer plusieurs tendances :

- Une relation entre la surface à chauffer et la consommation de plaquettes.
- La longueur de haies entretenues est liée à la superficie totale de l'exploitation et la superficie des cultures.
- Une relation existe entre le nombre d'UGB et la quantité de main d'œuvre (ce qui est logique il faut de la main d'œuvre pour la traite et le soin des animaux).
- La quantité de haies plantées est liée à la consommation de plaquettes et à la surface à chauffer et est indépendante de la surface de l'exploitation.

En conclusion la longueur de haies traditionnelles entretenues est proportionnelle à la surface de l'exploitation et à celle des parcelles cultivées (Chapitre 4, Paysage), indépendamment de la surface à chauffer. Les agriculteurs qui utilisent les plaquettes et qui ont fait une démarche de plantation l'ont fait vraisemblablement en fonction de la surface à chauffer. Il semblait donc pour eux que la production de bois est le facteur déclenchant de la plantation.

Sur l'axe 1 on a un gradient d'intensification de l'agriculture dans les exploitations (augmentation de la taille, des cultures, des UGB et de la main d'œuvre), sur l'axe 2 on a un gradient d'utilisation de plaquettes et de plantation de nouvelles haies.

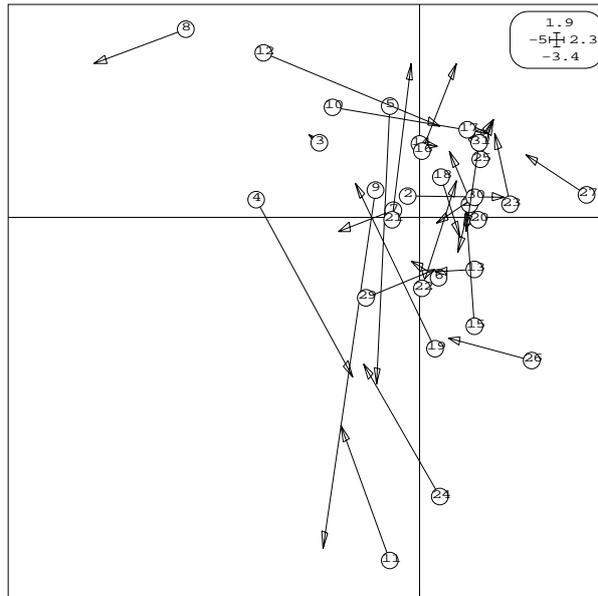


Figure N° 12 : Projection des exploitations agricoles sur plan factoriel de co-inertie.

La projection des exploitations agricoles sur le plan 1-2 de la co-inertie nous montre une distance importante entre ces deux jeux de données pour certaines exploitations. Les explications ci-dessous peuvent nous aider à comprendre cette différence entre les exploitations :

- Les exploitations rassemblées dans la partie positive du plan de co-inertie (haut à droite) sont les petites exploitations avec peu d'UGB, comme les exploitations numéro 17, 20 et 27. Elles sont plutôt en statut familial et EARL. Leur SAU n'est pas grande (en moyenne 45 ha) avec peu d'UGB (en moyenne 42). La surface à chauffer de ces exploitations est faible donc la consommation de plaquettes est la moins importante.
- En haut et à gauche du plan factoriel, se situent les exploitations de statut de GAEC (les cas 3, 4, 8, 9, 10, 12) avec une SAU de 100 ha en moyenne, un nombre élevé d'UGB (en moyenne 142). Mais par contre ces caractéristiques ne sont pas cohérentes avec leur consommation de bois, la surface à chauffer et la plantation de haies. Par exemple l'exploitation numéro 9 est une grande ferme de 81 hectares avec 110 UBG, et qui a installé une chaudière puissante pour chauffer aussi la fromagerie. C'est pour cela que la consommation de plaquettes est considérable dans cette ferme.

3.5 Plantation de haies, espèces plantées et gestion:

Sur ces 32 exploitations étudiées, 33400 mètres de haies ont été plantés de 1991 à 2008 soit 15,7 mètres par hectares. Mais on voit une variabilité importante entre les exploitations de 0 mètre de haies plantées sur quelques exploitations jusqu'à 5700 mètres sur d'autres (la densité des haies plantées varie entre 0 et 100m/ha).

Les espèces les plus plantées sont le châtaignier, le chêne et le noisetier. Ces trois espèces sont les espèces dominantes qui constituent 25600 mètres de ces haies plantées (soit 77% du linéaire planté).

Le châtaignier est l'essence la plus plantée sur 53% des haies nouvelles, le chêne est dominant dans 29% des haies et le noisetier est dominant sur 9% des haies plantées (figure N° 13).

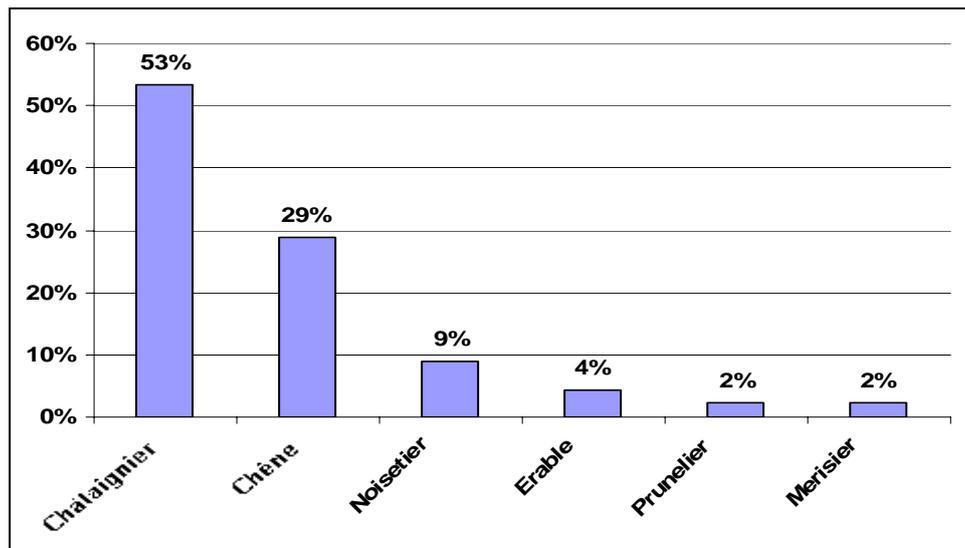


Figure N° 13 : Les espèces arborées les plus plantées sur les haies de 32 exploitations agricoles.

En terme de traitement des arbres et des haies, il n'y a pas de traitement traditionnel comme l'émondage (ragosse). Par contre, le recépage lié à la récolte est le traitement majeur dans les haies plantées. Il est appliqué sur 60% des haies plantées de toutes essences, en deuxième position, l'élagage est appliqué sur 40% des nouvelles haies.

Le châtaignier et le chêne sont les deux espèces qui sont toujours plantées ensemble sur une haie, mais la succession de type de traitement pour les deux espèces est intéressante. Dans la majorité des haies, le châtaignier est l'espèce dominante et son type principal de traitement est le recépage (figure N° 14). Dans ces haies le chêne est élagué.

100% des noisetiers sont recépés. Ce taux est 71% pour le châtaignier et seulement 31% pour le chêne (figure 14). Le type de traitement principal pour le chêne est l'élagage dans 69% des haies (figure N° 14).

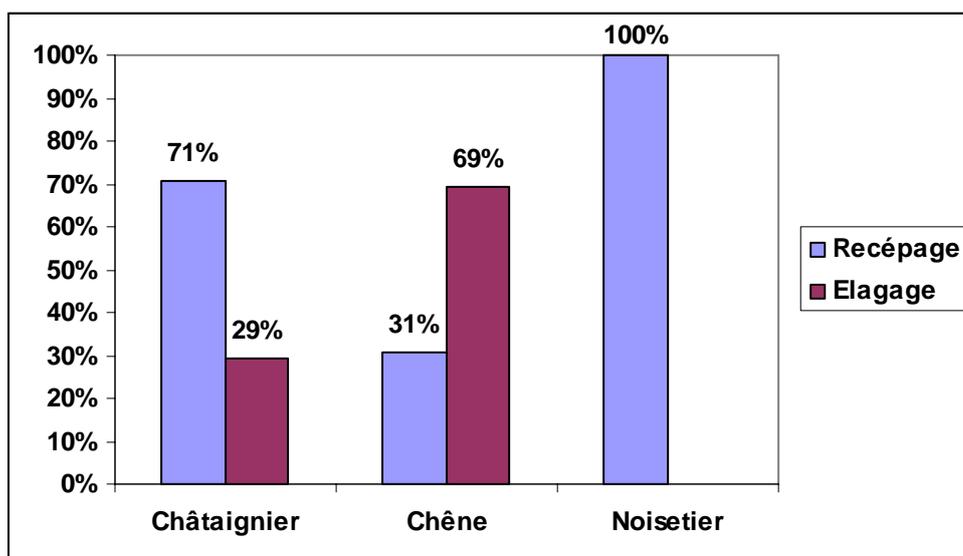


Figure N° 14 : Les types de traitements majeurs pour les trois espèces les plus plantées.

4. Discussion

Notre étude nous a permis d'identifier quelques caractéristiques des exploitations agricoles qui utilisent des chaudières à bois déchiqueté.

Ces exploitations n'ont pas de statut juridique particulier, on y retrouve des EARL, des GAEC et des exploitations individuelles en nombre équivalent. Ceci montre que l'installation d'une chaudière à bois déchiqueté est intéressante pour tous les types d'exploitation (figure N° 14).

Parmi les exploitations enquêtées la part des EARL et des GAEC est bien plus importante que la part qu'elles représentent sur l'ensemble du département. Cela indique que ce type d'exploitants est plus enclin à s'équiper d'une chaudière à bois déchiqueté que les agriculteurs ayant une exploitation familiale. Ceci peut, peut être, être dû à la taille de l'exploitation qui est en générale plus grande et permet de mieux amortir l'investissement d'installation de la chaudière et des bâtiments de stockage.

Thenail (1996) en étudiant 70 ménages agricoles en nord d'Ille-et-Vilaine, mentionne que le niveau de consommation de bois ne semble pas lié au système de production de l'exploitation agricole.

Bien que ces exploitations présentent une grande diversité de la taille (de 5 à 180 hectares), elles ne représentent pas pour autant la diversité des exploitations du département d'Ille-et-Vilaine.

Dans le département, près de la moitié des exploitations sont des exploitations de petite taille (moins de 30 ha) tandis que seulement 13% des exploitations équipées de chaudière à bois déchiqueté se situent dans cette classe (figure N° 15). Par contre les exploitations de grande surface (plus de 30 ha) sont davantage équipées de chaudières. On peut donc, affirmer que l'utilisation de la chaudière est plus intéressante pour les exploitations ayant une superficie plus importante, en proposant les explications suivantes :

- La prévision et la production de bois : pour les grandes exploitations la fourniture des plaquettes est plus simple car la quantité de haies est suffisante.
- Le pouvoir économique : les grandes exploitations ont plus, tendance à utiliser les chaudières car elles peuvent plus facilement financer son acquisition; le prix de l'achat et de l'installation de la chaudière et le coût du chantier de déchiquetage.
- La mécanisation : les grandes exploitations sont plus mécanisées, donc la gestion des chantiers d'émondage (besoin de la nacelle) et des chantiers de déchiquetage est plus facile pour elles.

Dans une autre étude en Ille-et-Vilaine, Thenail (1996) a trouvé que les plus gros consommateurs de bois exploitent une surface agricole utile comprise entre 20 et 60 ha. Bien qu'elle ait étudié la consommation de bois non déchiquetés, deux études présentent des résultats comparables.

La majorité des exploitations est autonome en ce qui concerne la production des plaquettes (79%). Les autres (6 exploitations) sont celles qui n'ont pas une grande quantité de haies ou pour lesquelles la consommation de plaquettes est très élevée. Ces dernières utilisent aussi la chaudière pour chauffer des gîtes ou des bâtiments d'élevage (2 exploitations). Mais en terme d'utilisation de chaudière, le chauffage la maison est le principal usage.

On suppose que l'autonomie de la production des plaquettes et surtout la ressource disponible sur les exploitations (les haies anciennes) est un facteur important dans la prise de décision par rapport à l'installation de la chaudière en effet, 79,4% des plaquettes consommées sont issues des haies anciennes, autrement dit, les haies anciennes jouent encore un rôle dans l'économie des ménages agricoles.

L'achat des plaquettes ne comprend pas une quantité importante du bois consommé (1,2%), ce qui est logique, car nous sommes en paysage bocager et ces exploitations ont une quantité importante de haies. Par contre l'exploitation des haies des voisins est courante (en fournissant 8,5% des plaquettes consommées). Les autres agriculteurs demandent souvent aux personnes ayant une chaudière de déchiqueter et utiliser pour leur propre besoin la totalité des branches ou les petites branches issues des chantiers d'émondage (après avoir récolté les bûches). Cette démarche évite aussi le gaspillage, surtout, quand les agriculteurs brûlent les petites branches.

Une relation forte entre la surface à chauffer et la consommation de plaquette a été observée ($R^2 = 0,68$), celle-ci est logique, car en augmentant la taille des maisons, la consommation de plaquettes augmente aussi. La longueur de haies traditionnelles entretenues est proportionnelle à la surface de l'exploitation et à celle des parcelles cultivées, indépendamment de la surface à chauffer. Les agriculteurs qui utilisent les plaquettes et qui ont fait une démarche de plantation l'ont fait vraisemblablement en fonction de la surface à chauffer. Il semblait donc pour eux la production de bois est donc bien le facteur déclenchant de la plantation pour ces agriculteurs.

Parmi les différentes raisons émises par les agriculteurs pour installer des chaudières à bois déchiqueté, la principale est l'intérêt économique pour 65,6% des agriculteurs. Cette raison s'explique par l'augmentation du prix de pétrole et autres combustibles fossiles dans les 5 dernières années. Utiliser le bois issu de la ferme est devenu moins coûteux et plus rentable. Cette raison économique peut expliquer l'augmentation du nombre de chaudières installées en Ile-et-Vilaine depuis 2003 (figure 15).

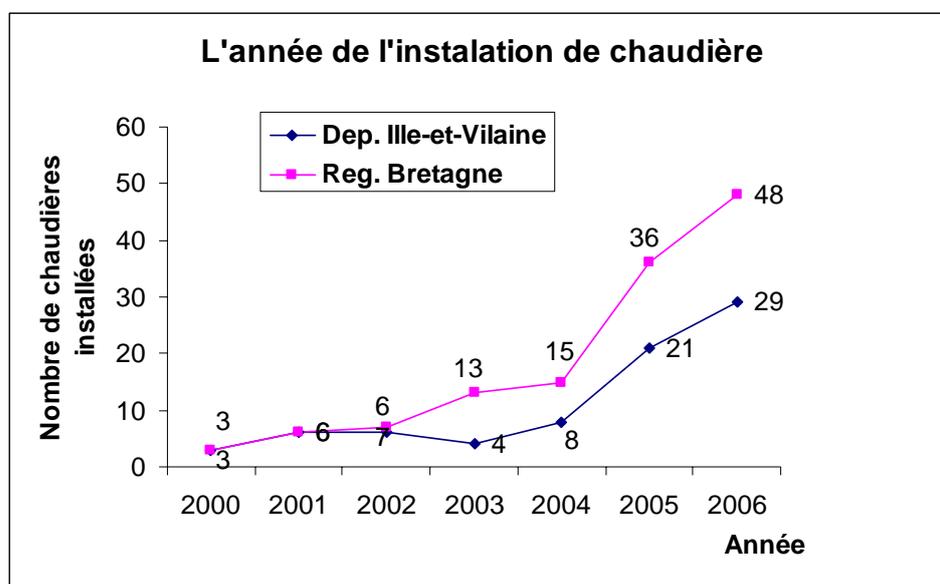


Figure N° 15 : Nombre de chaudières installées au cours des dernières années (source : l'Association AILE).

En plus de l'intérêt économique, l'intérêt écologique (la moindre diffusion des gaz à effet de serre), l'autonomie énergétique des fermes et l'accessibilité du bois, sont les autres raisons intéressantes pour les agriculteurs.

Les chantiers de coupe (coupe à blanc, élagage, émondage) sont principalement réalisés individuellement par les agriculteurs et la main d'œuvre disponible sur l'exploitation.

Le coût d'achat d'un lamier et d'une déchiqueteuse, ne permet pas à tous les agriculteurs de s'équiper de ce matériel. 88% d'entre eux sont dépendants d'une CUMA ou d'une entreprise. Ici on peut comprendre le rôle moteur des CUMA dans le développement de cette technique de chauffage. Les CUMA en fournissant la déchiqueteuse pour 54% des agriculteurs, le grappin pour 65% et la nacelle pour 45% et jouent un rôle essentiel. Quand on regarde la localisation des chaudières installées en Ile-et-Vilaine (figure 16), on réalise qu'elles sont localisées autour de quatre communes dans lesquelles il existe une CUMA, une entreprise ou un tiers équipé de déchiqueteuse. Cet aspect est important pour développer la filière de bois déchiqueté.

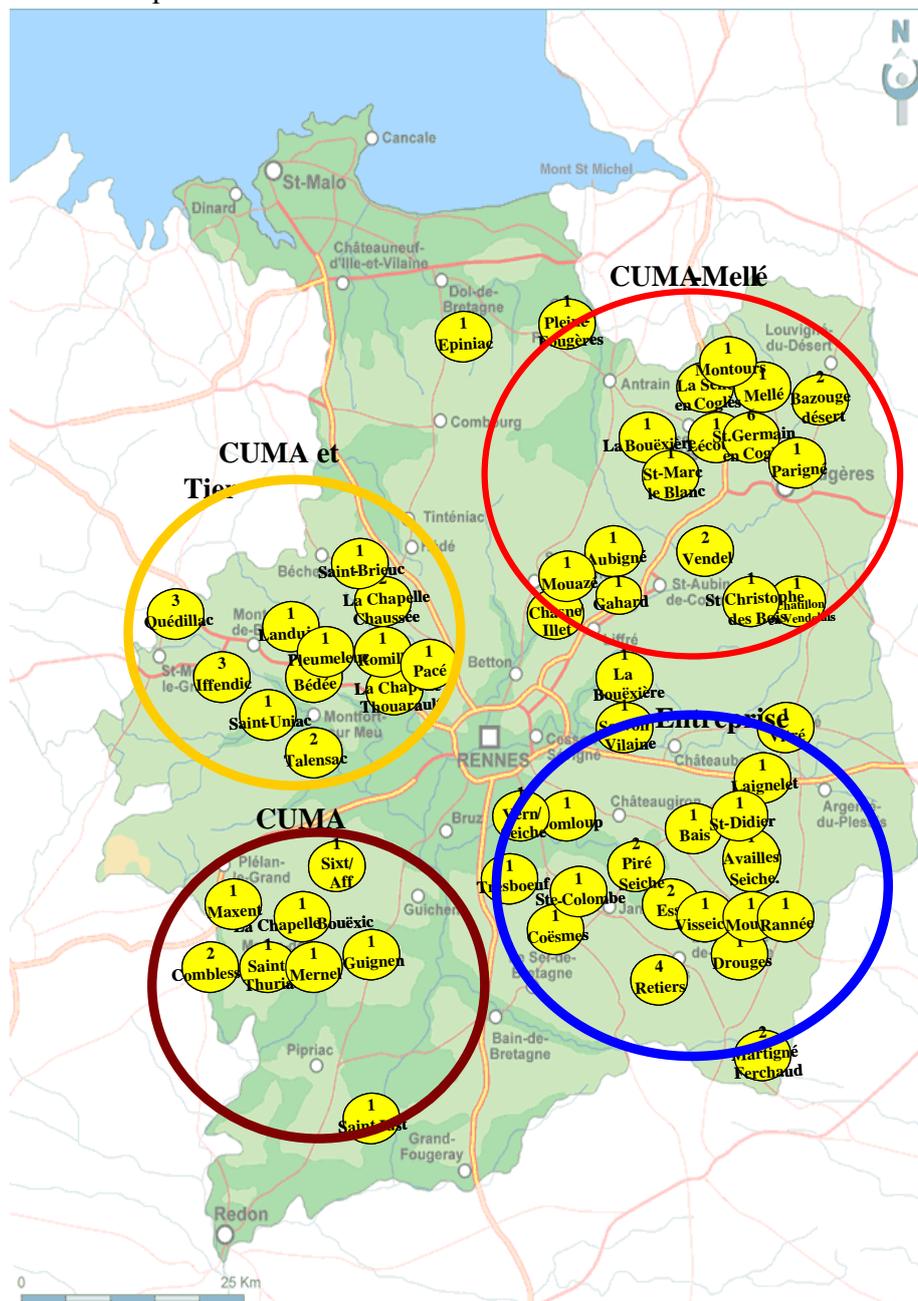


Figure 16 : Dispersion des 75 chaudières installées en Ile-et-Vilaine (les gros disques représentent la zone d'utilisation d'une déchiqueteuse et les disques jaunes représentent le nombre de chaudières installées dans chaque commune).

La plantation des haies sur les exploitations n'est pas faite de manière homogène (varie entre 0 à 100 m/ha) donc il est pertinent de savoir pourquoi certains agriculteurs sont plus intéressés à planter de haies d'autres. Dans cette étude nous n'avons pas posé cette question aux agriculteurs.

Le châtaignier est l'espèce la plus plantée par les agriculteurs (dominante dans 53% des haies plantées, figure 11). Ils pensent que cette espèce pousse très vite et qu'elle est ainsi intéressante en terme de production. Les résultats du chapitre consacré à l'étude à l'échelle de la haie confirment que les haies de châtaignier traitées en cépée, produisent plus que les autres essences.

Le recépage est le traitement majeur pour les essences utilisées pour la production de plaquettes (châtaignier, noisetier). On peut dire que conduire les haies en cépée est plus simple, moins chères et plus rentable que d'autres types de traitement (élagage ou émondage).

Le châtaignier a un autre point positif, celui de l'architecture de ses brins. L'angle fermé des brins de châtaignier avec la tige centrale, favorise l'entrée des brins dans la déchiqueteuse, c'est pour ça que les agriculteurs ont tendance aussi à planter le châtaignier (figure 11) et à le traiter majoritairement en cépée (figure 12).

On peut se concentrer sur un autre aspect intéressant de la plantation de différentes essences, à savoir la rentabilité des haies. Les chênes plantés et élagués sont toujours associés à des châtaigniers traités en cépée. Les arbres élagués sont utilisés pour la production du bois d'œuvre, tandis que les cépées sont utilisées pour la production de plaquettes. La plantation de différentes essences avec différents traitements, est favorable pour les agriculteurs, car elles fournissent le bois déchiqueté (pour les essences les plus productives et à croissance rapide) mais aussi une réserve de bois de valeur.

Des traitements traditionnels comme l'émondage n'ont été pas fait sur les arbres car c'est un mode de traitement, destiné à la production de fagots et donc en décalage avec les objectifs actuels des haies.

La diversité des haies nouvelles en terme de nombre d'espèces plantées ou le mode de traitement effectué est intéressante pour maintenir la biodiversité dans le paysage.

On a vu que des haies nouvelles ne jouent pas de grand rôle dans la production des plaquettes (4,7% de la totalité des plaquettes consommées sont issues des haies nouvelles). Les raisons suivantes nous expliquent pourquoi ces haies ne sont pas encore intéressantes pour la production des plaquettes :

- La jeunesse des haies : les haies plantées sont encore très jeunes (maximum 15 ans d'années), donc elle ne donnent pas une grande quantité de bois.
- Le type de traitement: une grande partie de ces haies nouvelles est élaguée des branches latérales, et ces petites branches ne donnent pas une quantité importante de bois.
- Beaucoup de ces haies ne sont pas entretenus depuis leur date de plantation.

Elles sont néanmoins souvent constituées d'essences qui se prêtent à la coupe à blanc et à une exploitation future sous forme de bois déchiqueté. Donc, il faut attendre encore quelques années pour valoriser une quantité importante de bois de ces haies.

Les haies traditionnelles sont entretenues en fonction de la surface de l'exploitation et de celle des parcelles cultivées, comme le montrent les résultats obtenus dans le chapitre 4 (le paysage). Ce facteur n'est pas lié à d'autres variables comme par exemple la consommation de plaquettes, la surface à chauffer ou encore la plantation de haies.

Les explications suivantes peuvent expliquer ce comportement des agriculteurs :

- ❖ Les haies traditionnelles sont gênantes pour les cultures (passages des engins agricoles, l'ombrage sur les cultures...), elles sont donc entretenues plus fréquemment (Javelle 2007, Baudry et Jouin 2003).

- ❖ Certains agriculteurs, ayant une consommation élevée de bois ou un faible linéaire de haies sur leur exploitations, achètent des copeaux ou exploitent les haies d'autres exploitations : le lien entre l'entretien des haies entretenues et la consommation de plaquettes est moins fort.

La quantité de haies plantées est liée à la surface à chauffer, et non à la superficie de la ferme ou la superficie en prairies sur l'exploitation. C'est à dire que les agriculteurs ont tendance à satisfaire leur besoin en plaquettes dans les années à venir en plantant des haies en fonction de la surface qu'ils ont à chauffer.

5. Conclusion

En région Bretagne et dans le département d'Ille-et-Vilaine les ressources en bois disponibles pour les agriculteurs (les bois des haies) sont abondantes. Notre démarche nous a montré qu'il y a une tendance à utiliser le bois énergie. L'accessibilité des ressources en bois chez les agriculteurs, l'autonomie énergétique, les raisons écologiques sont les raisons principales pour installer des chaudières. La subvention de l'état et l'intégration dans la filière à bois décheté ont accéléré cette tendance.

Le bois énergie est une source énergétique d'avenir. Répondant à des enjeux environnementaux et économiques de plus en plus forts, il peut jouer un rôle important dans l'économie rurale, la gestion et l'aménagement du territoire.

Conclusion

Conclusion

Les travaux présentés dans cette étude ont été menés dans le cadre du programme de recherche intitulé « Paysages et Développement Durable » du ministère chargé de l'environnement.

Nous avons pu évaluer la biomasse arborescente du bocage en nous basant sur des équations de régressions de biomasse qui sont largement utilisées par les forestiers (Canadel, 1988 ; Pinkard et Beadle, 1998 ; Xiao et Ceulemans, 2004 ; Laar, 2007). Il est cependant nécessaire de prendre en compte la variabilité de la production aux niveaux supérieurs au brin pour estimer la biomasse au niveau du paysage.

1. Evaluation de la biomasse aux différents niveaux :

1.1 Le brin:

A ce niveau, on a essayé de prédire la biomasse des branches de chênes et des brins de châtaignier. En étudiant la corrélation entre les différents facteurs (l'âge de brin, la longueur et la circonférence à la base) et la biomasse des brins. La meilleure corrélation est celle avec la circonférence, et permet d'estimer la biomasse à partir de la circonférence.

A ce niveau, nous avons pu aborder le premier élément nécessaire mais insuffisant quand même, pour approcher la réalité de la biomasse ligneuse du bocage. Comme la mesure de toutes les branches n'est pas réalisable au niveau d'un paysage nous avons cherché à établir des relations plus générales aux niveaux supérieurs.

1.2 L'arbre (chêne émonde):

L'arbre est un élément principal de l'organisation de la biomasse ligneuse du paysage. Notre objectif était d'étudier la variabilité de la production de biomasse des arbres par rapport aux caractéristiques de l'arbre, de la haie et du milieu, et d'établir un modèle de production au niveau de l'arbre.

En mesurant la circonférence à la base de toutes les branches de 183 chênes émondés (60 tonnes) et en appliquant le tarif préparé au niveau précédent, nous avons réussi à estimer la biomasse des branches de chaque arbre. La méthode de « billons successif » nous a également permis de calculer le gisement du tronc.

Nous avons étudié la réponse de la biomasse aux variations de la structure de la haie (distance entre les arbres) et de l'occupation du sol des parcelles adjacentes. La présence de prairies dans les successions culturales des parcelles adjacentes est un facteur favorable à la production de biomasse. En effet les arbres en bordure de prairie sont plus hauts et plus gros que ceux en bordure de culture. Nous avons donc proposé d'utiliser la fréquence de prairie dans notre modèle, cette variable n'est cependant pas toujours accessible. Sur la zone atelier de Pleine-Fougères, une base de données riche et une série de photographies aériennes annuelles nous ont permis de prendre ce facteur en compte.

1.3 La haie

Au niveau de la haie, nous avons étudié la variabilité inter haie de la production de bois. La biomasse à ce niveau, a été réellement mesurée sur le terrain (en volume de plaquettes et en poids). La mesure en poids est plus précise qu'en volume, mais cela nécessite un équipement spécifique (peson mobile) qui n'a pas toujours été accessible. Pour réaliser cette étape, un planning très organisé selon le temps des agriculteurs et le chantier d'émondage et de déchetage et la collaboration des organismes actifs dans ce domaine, sont indispensables.

Nous avons mesuré la production de biomasse en volume et en poids et nous avons effectué des analyses de co-inertie afin de trouver les liens entre la production en biomasse, les caractéristiques de la haie (structure, composition floristique, traitement) et le milieu (sol et géologie, occupation de sol, la position de haie sur la pente et bassin versant).

Parmi les différents facteurs liés à la productivité d'une haie, le type de haie, le pourcentage de ramosse, le pourcentage de cépée et le type de traitement ont une influence significative. Par contre, nous n'avons pas mis en évidence d'effet significatif des facteurs du milieu sur la production de bois.

Pour modéliser la productivité de biomasse ligneuse d'une haie, il aurait été nécessaire d'échantillonner un plus grand nombre de haies. Nos échantillons peu nombreux et la grande variabilité des mesures ne nous ont pas permis de modéliser la biomasse ligneuse des haies.

Il faudrait poursuivre les mesures de biomasse pour pouvoir étudier le rôle des différents facteurs et modéliser la biomasse. Les méthodes utilisant le calcul d'information mutuelle entre une variable dépendante (biomasse) et un ensemble de variables indépendantes (milieu) seraient appropriées pour ce genre d'études (Burel et Baudry, 1984).

1.4 Le paysage

Au niveau du paysage, nous avons considéré l'hétérogénéité du bocage et l'évolution du réseau de haies (suppression et émondage) au cours du temps (une période de 11 ans). L'interprétation des photographies aériennes nous a montré un déclin considérable de la longueur annuelle des haies émondées sur les trois sites.

Cette étude confirme la relation entre la présence des haies et le type d'occupation de sol, les haies sont souvent présentes entre deux parcelles de prairie permanente. On peut remarquer qu'en général, les haies sont plus présentes au bord de parcelle de prairie qu'au bord de parcelle cultivée. Les émondages sont moins fréquents entre deux parcelles de prairie que en bordure de culture.

Pour étudier les liens entre l'émondage des haies et les caractéristiques des exploitations agricoles, nous avons choisi 29 exploitations dans cette zone d'étude distribuées selon 6 systèmes de production agricole. Les résultats montrent une relation significative entre le type de système de production et le taux d'émondage. Les exploitations après cessation de la production laitière sont celles où le taux d'émondage est le plus fort. L'utilisation du bois pour chauffer la maison est significativement lié à la densité des haies sur l'exploitation et au taux d'émondage des haies.

A ce niveau, nous avons estimé la production de bois dans la zone atelier de Pleine-Fougères. De 1996 à 2006 la longueur des haies émondée a été de 94 km, donc la production de bois produit est estimée à 216 tonnes. La potentialité de production de bois de l'ensemble des haies sur la zone atelier est évaluée à 550 tonnes.

2. Etude socio-économique de la production de bois et de la plantation des haies:

L'intérêt de cette partie était d'aborder l'aspect socio-économique de la production et de la consommation des plaquettes dans les exploitations agricoles afin d'étudier la tendance des agriculteurs à utiliser une chaudière à bois déchiqueté et l'influence de l'utilisation de bois déchiqueté sur le renouvellement et la plantation des haies.

L'enquête effectuée auprès de 32 agriculteurs en Ille-et-Vilaine nous a montré l'intérêt des agriculteurs, surtout ceux ayant une exploitation grande et mécanisée, à utiliser le bois énergie avec une chaudière automatique à bois déchiqueté. La plantation de haies chez ces agriculteurs est importante.

3. Discussion sur les niveaux d'études:

La théorie de la hiérarchie que nous avons utilisée pour définir les niveaux d'étude de biomasse ligneuse de paysage, semble bien cerner une approche de la biomasse du bocage. Nous avons défini 4 niveaux d'études et nous avons défini la biomasse ligneuse comme variable à expliquer pour chaque niveau. A chaque niveau, nous avons intégré de nouvelles variables explicatives.

Au premier niveau, nous avons étudié la biomasse avec les paramètres de l'individu. Au second niveau, des variables du milieu et de la compétition ont été mises en question. Au troisième niveau, l'hétérogénéité structurale et floristique de la haie et le traitement des arbres sont abordés. Au niveau du paysage, l'hétérogénéité de la distribution spatiale des haies et l'hétérogénéité temporelle de l'émondage sont prises en considération.

Nous avons vu qu'en principe, chaque niveau est indépendant, mais les résultats d'un niveau inférieur sont utilisables à un niveau supérieur. Par exemple nous avons construit le tarif de biomasse pour les branches (niveau I); ce tarif a été utilisé au deuxième niveau (niveau de l'arbre). Les données de l'arbre ont été utilisées pour estimer la biomasse des haies et du réseau de haies dans le paysage.

A propos des méthodes utilisées et les mesures effectuées, on peut dire que les mesures sur les branches (circonférence, le poids) sont nécessaires pour établir le tarif. Pour le niveau 2, mesurer la circonférence de toutes les branches peut être remplacé par le pesage de toutes les branches ce qui serait plus précis, mais cette méthode est difficile à mettre en œuvre. Dans cette étude nous avons mesuré les branches car nous n'avons pas trouvé de chantier d'émondage de chênes.

La productivité en biomasse d'une haie est plus facile à cerner, en mesurant le volume ou le poids des plaquettes produits. Il faut noter qu'il s'agit ici de la productivité, et non pas de la production, car une partie de la biomasse, selon la structure de la haie et le type de traitement, reste en place. Les haies traitées en cépée font exception puisque tout le stock de biomasse est récolté. Pour les haies constituées d'arbres de haut jets ou coupelles et de ragosses, une partie de la biomasse est stockée dans les troncs et les branches non coupées.

L'évaluation de cette biomasse est hors de notre étude et n'est pas considérée, la plupart du temps, dans les plans bois énergie.

Au quatrième niveau, la mesure de la biomasse au sein du paysage est difficile à cerner, pour deux raisons, d'une part l'hétérogénéité du paysage (la structure des haies arborées et arborescentes, le type d'essence etc.) et d'autre part le manque de données précises sur le linéaire et la structure des haies

4. Plantation des haies, production du bois et réhabilitation du bocage :

La plantation de haies est nécessaire au maintien des réseaux bocagers. Il y a de nombreuses initiatives pour favoriser la plantation de haies et beaucoup de recherche et de réflexion autour de ce sujet. Les agriculteurs sont les principaux acteurs des plantations et la valorisation de la biomasse peut être un atout pour la restauration du bocage.

L'utilisation des haies plantées comme une source d'énergie est une opportunité pour les agriculteurs qui décident de planter. Dans cette étude, on a vu que les haies nouvelles ont une bonne capacité à produire des plaquettes. D'autre part les agriculteurs ayant installé une chaudière automatique à bois déchiqueté ont tendance à planter. Il faut cependant veiller à conserver la multifonctionnalité des haies et assurer d'autres fonctions comme le maintien de la biodiversité, la lutte contre l'érosion et la régulation des circulations d'eau et de nutriments.

L'utilisation de différentes essences arborées et arborescentes comme on l'a vu dans l'enquête socio-économique (chêne, châtaignier, noisetier), en respectant différents types de traitement sur les arbres (cépée, élagage) et différentes durées de rotation de traitement, peuvent assurer la multifonctionnalité des haies. Il nous semble que donner une fonction économique au bocage est la meilleure façon d'assurer sa pérennité, par conséquence de conserver son intérêt paysager.

Références Bibliographiques

- Allaby, M. (1998). A Dictionary of Ecology. New York, Oxford University Press (UK).
- Allen, T. F. H. and T. B. Starr (1982). Hierarchy: Perspectives for Ecological Complexity. Chicago, University Chicago Press.
- Antoine, A. (2001). From past to present: the changing of the functions of hedges in England and West of the France. Bocages, woodlands and enclosures. Hedgerows of the World: their ecological functions in different landscapes, University of Birmingham IALE (UK).
- Antoine, A. (2006). The "bocage" of the West of France : A landscape built and used by the men. I. 2006 and X. I. E. H. Congress. Helsinki: Helsinki, août 2006. Session 108 : Economic history and lanscape history.
- Auclair, D. and E. Maerten (1986). "Biomass Estimation of Hedgerow Trees." Annals of Forest Science **43**(1): 57-65.
- Bachelay, G., D. Chevallier, et al. (1984). Le chauffage au bois déchiqueté de bâtiments ruraux. L'expérience de Marchesieux. Caen, Chambre Régionale d'Agriculture de Normandie.
- Barr, C. J. and M. K. Gillespie (2000). "Estimating hedgerow length and pattern characteristics in Great Britain using Countryside Survey data." Journal of Environmental Management **60**(1): 23-32.
- Bartelink, H. H. (1998). "A model of dry matter partitioning in trees." Tree Physiology **18**(2): 91-101.
- Baudry, J. (1985). Utilisation des concepts de Landscape Ecology pour l'analyse de l'espace rural: occupation du sol et bocage. Rennes, Université de Rennes I. **Thèse de doctorat d'état**: 495.
- Baudry, J., R. G. H. Bunce, et al. (2000). "Hedgerows diversity: An international perspective on their origin, function and management." Journal of Environmental Management **60**(1): 7-22.
- Baudry, J. and A. Jouin, Eds. (2003). De la haie au bocage : organisation, fonctionnement et gestion. Paris, INRA Editions, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable.
- Baudry, J. and S. Perichon (2007). Les haies et les bocages dans le monde: éléments de comparaison. Bocage & Sociétés, Rennes, Presses Universitaires de Rennes.
- Bazin, P. and D. Chevalier (1985). Etude des potentialités et de la valorisation des ressources des haies bocagères de Basse-Normandie. Caen, Association régionale Biomasse Normandie: 54.
- Bazin, P., R. Jégat, et al. (1995). L'entretien courant des haies bocagères : Les grands modèles d'entretien des haies. Paris, IDF (Institut pour le développement forestier).
- Bazin, P. and T. Schmutz (1994). "La mise en place de nos bocages en Europe et leur déclin." Revue Forestiere Francaise **46**: 115-118.
- Beets, P. N. and D. S. Pollock (1987). "ACCUMULATION AND PARTITIONING OF DRY MATTER IN PINUS-RADIATA AS RELATED TO STAND AGE AND THINNING." New Zealand Journal of Forestry Science **17**(2-3): 246-271.
- Behre, C. E. (1935). "Factors Involved in the Application of Form-Class Volume Tables." Journal of Agricultural Research **51**(8): 669-713.
- Bichard, D. (1982). Essai sur les relations entre milieu et productivité du chêne vert au Luberon. Faculté des sciences et techniques St-Jerome. Marseille, Université de droit d'économie et des sciences d'Aix-Marseille. **PhD**: 85.
- Biomasse Normandie, A. (1999). "Bois énergie:Chaufferies à alimentation automatique." ADEME édition.
- Bonin, G. and M. Roux (1978). "Utilisation de l'analyse discriminante dans l'étude écologique des de l'Apennin méridional." Biometrie et Ecologie **N°1**: 37-43, Paris.

- Bragg, D. C., D. W. Roberts, et al. (2004). "A hierarchical approach for simulating northern forest dynamics." *Ecological Modelling* **173**(1): 31-94.
- Burel, F. (1989). "Landscape structure effects on carabid beetles spatial patterns in Western France." *Landscape Ecology* **2**: 215-2226.
- Burel, F. and J. Baudry (1984). Production en Biomasse des Cépées du Bocage Marchésieux (Manche). Rennes, Centre Régional d'Etudes Biologiques et Sociales: 78.
- Burel, F. and J. Baudry (1990). "Structural dynamic of a hedgerow network landscape in Brittany France." *Landscape Ecology* **4**(4): 197-210.
- Burel, F. and J. Baudry (1999). *Ecologie du Paysage: Concepts, méthodes et applications*. Paris, TEC & DOC.
- Cailliez, F. (1980). Estimation des volumes et accroissements forestiers. *Estimation des volumes*. FAO-Forêts. Rome. **1**: 98.
- Callot, G., H. Chamayou, et al. (1988). Les interactions sol-racine, incidence sur la nutrition minérale, INRA: 310.
- Chamberlain, D. E., J. A. Vickery, et al. (2001). The effect of hedgerow characteristics on the winter hedgerow bird community. *Hedgerows of the World: Their Ecological Functions in Different Landscapes*. C. Barr and S. Petit. Lymm, Iale (Uk), Int Assoc Landscapeecol: 197-206.
- Chandrashekhara, U. (2007). "Effects of pruning on radial growth and biomass increment of trees growing in homegardens of Kerala, India." *Agroforestry Systems* **69**(3): 231-237.
- Chevallier, D. (1983). La haie bocagère en Normandie:évaluation quantitative de la biomasse ligneuse et analyse de la productivité de la haie-taillis, à partir de mesures effectuées à Marchésieux. Rennes, Association normande d'économie rurale appliquée, Centre régional d'études biologiques et sociales: 18.
- Chiffot, V. (2003). Interactions entre feuillus précieux et culture intercalaire en système agroforestier. *l'Institut National de la Recherche Agronomique*. Toulouse. Ms.C.
- Corbit, M., P. L. Marks, et al. (1999). "Hedgerows as habitat corridors for forest herbs in central New York, USA." *Journal of Ecology* **87**(2): 220-232.
- Cornillon, P.-A. and É. Matzner-Løber. (2006). *Regression: theory and applications* / Paris, Springer.
- Coutel, J.-P. (1991). Contribution à l'Analyse de la Biomasse Arborescente du bocage de l'Avesnois (59). *UFR science de la vie et de l'environnement*. Rennes, Université Rennes 1: 162.
- Crow, T. (1983). "Comparing biomass regressions by site and stand age for red maple." *Canadian Journal of Forest Research* **13**(2): 283-288.
- de Blois, S., G. Domon, et al. (2002). "Factors affecting plant species distribution in hedgerows of southern Quebec." *Biological Conservation* **105**(3): 355-367.
- De Caix, C. (1994). "Pay de foyer sans feu." *Cahier AGRESTE* **20**: 41-47.
- De Corlieu, T. (1999). "Exploitation forestière : Près d'un agriculteur sur deux a récolté du bois en 1997." *Cahier AGRESTE* **37**: 23-28.
- De Parcevaux, S. and G. Guyot "Bioclimatologie et aménagement du bocage." *Bull. Tech. Inform. (FRA)* 353-355 **1980**: 631-656.
- Décourt, N. (1971). "Comparaison des équations de régression. Application au cubage des peuplements d'épicéa commun." *Annales Of Forest Sciences* **28**: 51-58.
- Delelis, A. (1981). "Redécouvrir les haies dans le Nord Pas-de-Calais. II - Importance économique des haies et brise-vent." *Nord Nature* **14**: 21-25.
- Dodge, Y. and V. Rousson (2004). *Analyse de régression appliquée*. Paris.
- Doledec, S. and D. Chessel (1994). "Co-inertia analysis: an alternative method for studying species: environment relationships." *Freshwater biology* **31**(3): 277-293.

- Domwski, K. and M. Koziakiewicz (1990). "Influence of a shrub corridor on movements of passerine birds to a lake littoral one." Landscape Ecology **4**: 98-108.
- Douté, M. (2005). Animation du plan bois énergie Bretagne en agriculture. Rennes, Aile, ADEME: 64.
- Dray, S., D. Chessel, et al. (2003). "Co-inertia analysis and the linking of ecological tables." Ecology **84**: 3078-3089.
- Duvigneaud, P. (1971). Concepts sur la productivité primaire des écosystème forestiers. la Productivité des Ecosystèmes forestiers dans le monde, Bruxelles.
- Duvigneaud, P. and P. Kestemont (1977). Productivité Biologique en Belgique. Gembloux:SCOPE, Section belge PBI, 617P.
- Forman, R. T. T. and J. Baudry (1984). "Hedgerows and hedgerow networks in landscape ecology." Environmental Management **8**(6): 495-510.
- Gartner, B. L. (1995). Plant stems: physiology and functional morphology San Diego, CA, Academic Press, cop. .
- Ghazavi, G. (2008). Quantification spatiale et temporelle de l'impact d'une haie sur les différents termes du bilan hydrique. Unité mixte de recherche Inra "Sol, agro et hydrosystème, spatialisation". Rennes, Agrocampus de Rennes **PhD**: 196.
- Gregoire, T. G., H. T. Valentine, et al. (1995). "Sampling methods to estimate foliage and other characteristics of individual trees." Ecology **76**: 1181-1194.
- Guibal, F. and V. Bernard (2002). Approche dendrochronologique de l'évolution récente du système bocager armoricain. Équilibres et ruptures dans les écosystèmes durant les 20 derniers millénaires: durabilité et mutation. H. Richard and A. Vignot. Besançon, Presses Universitaires Franc-Comtoises: 463-471.
- Guyot, G. (1983). "Les effets des brise-vent et des aménagement régionaux sur le microclimat." In INRA Avignon: Bioclimatologie. Manuel sur l'utilisation des brise-vent dans les zones arides: 89-150.
- Guyot, G. (1997). Climatologie de l'environnement. De la plante aux écosystème Climatologie de l'environnement. G. Guyot. Paris, Masson.
- Guyot, G. and B. Seguin (1976). Influence du bocage sur le climat d'une petite région. Les bocages: histoire, écologie économie, Université Rennes.
- Herlin, I. L. S. and G. L. A. Fry (2000). "Dispersal of woody plants in forest edges and hedgerows in a Southern Swedish agricultural area: the role of site and landscape structure." Landscape Ecology **15**(3): 229-242.
- Hesse, s. (1997). Gestion des Haies et production de Bois de Feu. Ecole Nationale d'Ingenieurs des Travaux Agricoles de Bordeaux. Bordeaux, Ecole Nationale d'Ingenieurs des Travaux Agricoles de Bordeaux: 88.
- Hodges, J. L., D. Krech, et al. (1975). STATLAB: An Empirical Introduction to Statistics. New York, Mc Graw Hill.
- Hopkins, W. G. and S. Rambour (2003). Physiologie végétale. Bruxelles.
- Inventaire forestier national, I. (1999). Ille-et-Vilaine, 2ème inventaire forestier du département, 1995. Ministère-de-l'agriculture-et-de-la-pêche, Inventaire Forestier National (IFN): 121.
- Inventaire forestier national, I. (2007). La forêt française - Les résultats issus des campagnes d'inventaire 2005 et 2006: 142.
- Javelle, A. (2007). Perceptions de la biodiversité par des agriculteurs sur une zone atelier du nord-est de la Bretagne et évaluation de leur rencontre avec des chercheurs en environnement. UMR 6553, Ecobio. Rennes, Université de Rennes1. **PhD**: 356.
- Jongman, R. H. G., C. F. J. ter Braak, et al. (1995). Data analysis in community and landscape ecology. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Joubert, A., P. Arousseau, et al. (1996). Les Sols d'Ille-et-Vilaine. Rennes: 46.

- Ketterings, Q. M., R. Coe, et al. (2001). "Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests." Forest Ecology and Management **146**(1-3): 199-209.
- King, D. A., S. J. Davies, et al. (2005). "Tree growth is related to light interception and wood density in two mixed dipterocarp forests of Malaysia." Functional Ecology **19**(3): 445-453.
- Kozak, A. (1970). A simple method to test parallelism and coincidence for curvilinear, multiple linear and multiple curvilinear regressions. 3rd Conference of the Advisory Group of Forest Statisticians, Section 25, Vienna, International Union of Forest Research Organizations.
- Kozlowski, T. T., P. J. Kramer, et al. (1991). The physiological ecology of woody plants. San-Diego, Academic Press.
- Laar, A. and A. Akça (2007). Forest Mensuration. Dordrecht, The Netherlands., Springer.
- Laurance, W. F., P. M. Fearnside, et al. (1999). "Relationship between soils and Amazon forest biomass: A landscape-scale study." Forest Ecology and Management **118**(1-3): 127-138.
- Le Du-Blayo, L., J. Baudry, et al. (2004). Impact des politiques de rebocagement sur la qualité écologique du réseau bocager, L'aménagement et l'entretien du milieu rural par les exploitations agricoles.
- Le Du-Blayo, L., J. Baudry, et al. (2004). Impact des politiques de rebocagement sur la qualité écologique du réseau bocager, l'aménagement et l'entretien du milieu rural par les exploitations agricoles. Colloque international Ministère de l'aménagement du Territoire et de l'Environnement et CEMAGREF "De la connaissance des paysages à l'action paysagère. Bordeaux.
- Lefevre, J. C. (1986). Des arbres et des hommes. Le bocage, la haie, le bois. Journées interrégionales, Saint-Hilaire-du-Harcouët Manche, DRAF, Ministère de l'Environnement et Ministère de l'Agriculture.
- Lepš, J. and P. Šmilauer (2003). Multivariate Analysis of Ecological data using CANOCO. Cambridge, Cambridge University Press.
- Levin, S. A. (1992). "The Problem of Pattern and Scale in Ecology: The Robert H. MacArthur Award Lecture." Ecology **73**(6): 1943-1967.
- Liagre, F. (2006). Les Haies Rurales: Rôles, Création, Entretien.
- Loetsch, F., F. Zöhrer, et al. (1973). Forest inventory. Munich.
- Loubère, M., L. Saint-André, et al. (2004). "Relationships between stem size and branch basal diameter variability in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karsten) from two regions of France." Annales of Forest Science(61): 525-535.
- Luan, J., R. I. Muetzelfeldt, et al. (1996). "Hierarchical approach to forest ecosystem simulation." Ecological Modelling **86**(1): 37-50.
- Marshall, E. J. P., M. J. Maudsley, et al. (2001). Effects of management on the biodiversity of English hedgerows. Hedgerows of the World: Their Ecological Functions in Different Landscapes. C. Barr and S. Petit. Lymm, Iale (Uk), Int Assoc Landscapecol: 361-365.
- Martin, B. and G. Rovéra (1998). "L'entretien des haies garant de leur diversité." Revue de géographie alpine **1**: 19-32.
- McCollin, D. (2000). "Editorial: Hedgerow policy and protection - changing paradigms and the conservation ethic." Journal of Environmental Management **60**(1): 3-6.
- Meiffren, I. and C. Ruscassie (2004). Le bois de feu en Ile-de-France :Un bel avenir. Synthèse de l'étude réalisée par SOLAGRO/BVA pour le compte de l'ARENE Ile-de-France et de la délégation régionale de l'ADEME, ADEME: 15.

- Mercier, P., D. Chessel, et al. (1992). "COMPLETE CORRESPONDENCE-ANALYSIS OF AN ECOLOGICAL PROFILE DATA TABLE - A CENTRAL ORDINATION METHOD." Acta Oecologica-International Journal of Ecology **13**(1): 25-44.
- Merot, P. (1976). Hydrologie de deux bassin versants. Les bocages:histoire, écologie, économie, Rennes, Université rennes.
- Merriam, H. G. and A. Lanoue (1990). "Corridor use by small mammals:field measurements for three experimental types of *Peromyscus leucopus*." Landscape Ecology **4**: 123-131.
- Meynier, A. (1970). Les Paysages Agraires. Paris, Armand Colin.
- Michel, N., F. Burel, et al. (2006). "How does landscape use influence small mammal diversity, abundance and biomass in hedgerow networks of farming landscapes?" Acta Oecologica **30**(1): 11-20.
- Michel, N., F. Burel, et al. (2007). "Role of habitat and landscape in structuring small mammal assemblages in hedgerow networks of contrasted farming landscapes in Brittany, France." Landscape Ecology **22**(8): 1241-1253.
- Minitab, I. (2007). Minitab 15 statistical software, College, PA.
- Monjuvent, G. (1978). Le Drac;morphologie, stratigraphie et chronologie quaternaire d'un bassin alpin. Grenoble, Institut Dolomieu, USTMG: 431.
- Nair, P. K. R. (1990). Classification of Agroforestry Systems. Agroforestry: Classification and Management. K. G. MacDicken and N. T. Vergara. New York, John Wiley and Sons: 382.
- Niklas, K. J. (1993). "The Allometry of Plant Reproductive Biomass and Stem Diameter." American Journal of Botany **80**(4): 461-467.
- Niklas, K. J. (2004). "Plant allometry: is there a grand unifying theory?" Biological Reviews **79**(4): 871-889.
- O'Neill, R. V., D. L. DeAngelis, et al. (1986). A Hierarchical Concept of Ecosystems. Princeton, Princeton University Press.
- Otto, H.-J. (1998). Ecologie Forestière. Paris, Institut Pour le développement Forestier.
- Ouin, A., M. Martin, et al. (2008). "Agricultural landscape connectivity for the meadow brown butterfly (*Maniola jurtina*)." Agriculture, Ecosystems & Environment **124**(3-4): 193-199.
- Ovington, J. D. (1957). "Dry-matter production by *Pinus sylvestris* L. ." Annals of Botany **XXI**(82): 288-314.
- Pardé, J. (1980). "Forest Biomass." Forestry Abstracts **41**(8): 343-362.
- Pardé, J. and J. Bouchon (1982). Dendrométrie. Nancy, France, ENGREF.
- Pastor, J., J. D. Aber, et al. (1984). "Biomass prediction using generalized allometric regressions for some northeast tree species." Forest Ecology and Management **7**(4): 265-274.
- Pichancourt, J.-B., F. Burel, et al. (2006). "Assessing the effect of habitat fragmentation on population dynamics: An implicit modelling approach." Ecological Modelling **192**(3-4): 543-556.
- Pihan, J. (1976). Bocage et érosion hydrique des sols en Bretagne. Les bocages:histoire, écologie, économie, Rennes, Université Rennes.
- Pilcher, J. (1996). "Dendrochronological insights into past oak growth." Annals of Forest Science **53**(2-3): 663-670.
- Pinkard, E. A. and C. L. Beadle (1998). "Aboveground biomass partitioning and crown architecture of *Eucalyptus nitens* following green pruning " Canadian Journal of Forest Research **28**: 1419-1428.
- Pivot, J. M., J. C. Chardron, et al. (1995). Méthode d'estimation des haies, Calcul de la valeur d'échange des bois sur pied. Rennes, France, Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt: 45.

- Pointereau, P. (2001). Development of the space occupied by hedgerows in France over the past 40 years: the contribution and limits of statistical data. Hedgerows of the world, their ecological functions in different landscapes, University of Birmingham, IALE (UK).
- Pointereau, P. (2004). "L'arbre et le paysage : enjeux environnementaux et reconnaissance de la multifonctionnalité." Séance de l'académie d'Agriculture du 31 mars 2004.
- Pointereau, P. and D. Bazile (1995). Arbres des champs, haie alignements, prés vergers ou l'art du bocage. Toulouse, Solagro.
- Rae, A. M., P. J. Tricker, et al. (2007). "Adaptation of tree growth to elevated CO₂: quantitative trait loci for biomass in Populus." New Phytologist **175**(1): 59-69.
- Rivière, J.-M., S. Tico, et al. (1992). Méthode de Tarière Massif Armoricaïn, Caractérisation des sols. Rennes, INRA: 20.
- Rondeux, J. (1999). La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Gembloux (Belgique), Les Presses agronomiques de Gembloux.
- Rouvinen, S., T. Kuuluvainen, et al. (1997). Spatiaalisen metsikkötiedon mittaus takymetrilla ja MEKRI-ohjelmalla. , University of Forestry, Faculty of Forestry. **Research Notes** **56**.
- Roy, V. and S. de Blois (2008). "Evaluating hedgerow corridors for the conservation of native forest herb diversity." Biological Conservation **141**(1): 298-307.
- Saxe, H., D. S. Ellsworth, et al. (1998). "Tree and forest functioning in an enriched CO₂ atmosphere." New Phytologist **139**(3): 395-436.
- Soltner, D. (1991). L'arbre et la haie, pour la production agricole, pour l'équilibre écologique et le cadre de vie rurale. ANGERS Adulte
- terBraak, C. J. F. and P. Smilauer (2002). CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5).
- Thenail, C. (1996). Exploitations agricoles et territoires: contribution à la structuration de la mosaïque paysagère. Université de Rennes 1. Rennes. **PhD**: 374.
- Thenail, C. and C. Codet (2003). Systèmes techniques de gestion des bordures de champs en exploitation agricole, et intégration des haies nouvelles. Bocagement, reconstitution et protection du bocage. Evaluation des politiques publiques de paysagement du territoire. H. Lamarche. Paris, CNRS, INRA, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable: 25.
- Thibaut, A., H. Claessens, et al. (1998). "The construction of volume tables for black alder [Alnus glutinosa (L.) Gaertn.] trees growing in even-aged stands of the Southern Belgium." Biotechnol. Agron. Soc. Environ. **2**(3): 203-213.
- Thioulouse, J., D. Chessel, et al. (1994). "ADE 4 : a multivariate analysis and graphical display software. , ." Statistics and Computing **7** 75-83.
- Thioulouse, J., M. Simier, et al. (2004). "Simultaneous analysis of a sequence of paired ecological tables." Ecology **85**(1): 272-283.
- Torquebiau, E. F. (2000). "A renewed perspective on agroforestry concepts and classification." Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie **323**(11): 1009-1017.
- Tritton, L. M. and J. W. Hornbeck (1982). Biomass equations for major tree species of the Northeast. Gen. Tech. Report NE-69. , USDA Forest Service: 46
- Ung, C.-H., F. Raulier, et al. (2001). Estimating forest biomass using scale linkage from tree to satellite spectral signal. Third North American Forest Ecology Workshop . Issue of scale- from theory to practice. Third North American Forest Ecology Workshop . Issue of scale- from theory to practice. Duluth, Minnesota: June 24-27.
- Valentine, H. T., L. M. Tritton, et al. (1984). "Subsampling trees for biomass, volume, or mineral content." For. Sci. **30**: 673-681.

- Van, T. K., M. B. Rayachhertry, et al. (2000). "Estimating above-ground biomass of *Melaleuca quinquenervia* in Florida, USA." Journal of Aquatic Plant Management **38**: 62-67.
- Wang, C. (2006). "Biomass allometric equations for 10 co-occurring tree species in Chinese temperate forests." Forest Ecology and Management **222**(1-3): 9-16.
- Wang, J. R., A. L. Zhong, et al. (1995). "Aboveground biomass and nutrient accumulation in an age sequence of aspen (*Populus tremuloides*) stands in the Boreal White and Black Spruce Zone, British Columbia." Forest Ecology and Management **78**(1-3): 127-138.
- Waring, R. H. and S. W. Running (2007). Forest ecosystems: analysis at multiple scales. Amsterdam, Elsevier/Academic Press.
- West, P. W. (2003). Tree and Forest Measurement. Berlin, Germany, Springer.
- White, J. T. (1980). Histoire d'une haie, Centurion nature.
- Young, H. E. (1971). IUFRO Working Group on Forest Biomass Studies. Orono, University of Maine, College of Life Sciences and Agriculture.
- Young, H. E. (1976). A summary and analysis of weight table studies. IUFRO Proc. S4.01, Oslo, pp. 251-282.
- Zianis, D. and M. Mencuccini (2004). "On simplifying allometric analyses of forest biomass." Forest Ecology and Management **187**: 311-332.
- Zianis, D. and K. Radoglou (2006). "Comparison between empirical and theoretical biomass allometric models and statistical implications for stem volume predictions." Forestry **79**(4): 477-487.

List des tableaux

Chapitre I

Tableau 1 : Les résultats de séchage des échantillons de Chêne et Châtaignier dans l'étuve après les premières 24 heures.	24
Tableau 2 : Les coefficients de corrélation de Pearson des variables explicatives (Circonférence, longueur et age) de la biomasse (poids sec) de chêne.	26
Tableau 3 : Régression pas à pas ascendante avec 3 variables explicatives (circonférence, longueur, age).	26
Tableau 4 : Les coefficients de corrélation de Pearson des variables explicatives (Circonférence, longueur et age) avec la variable à expliquer, la biomasse (poids sec) de châtaignier.	27
Tableau 5 : Résultats de régression pas à pas ascendante avec 3 variables explicatives (circonférence, longueur, age) pour le châtaignier.	27
Tableau 6 : résultats des différents types d'équations allométriques pour les deux essences étudiées	30
Tableau 7 : Le tarif de la biomasse préparé pour Chêne (à gauche, circonférence considérée >10 cm) et Châtaignier (à droite, circonférence considérée >14 cm).	31
Tableau 8 : Résultat de test de tarif de chêne sur 3 haies (dont 32 arbres d'émondes) dans la commune de Médréac.	35
Tableau 9 : Résultat de la mesure de la biomasse des brins de châtaignier sur 7 haies pour tester la validité le tarif de châtaignier dans différentes communes en Ile-et-Vilaine.	36

Chapitre II

Tableau 1 : les caractéristiques générales des sites d'études.	44
Tableau 2 : les caractéristiques générales des haies et des arbres étudiées dans la zone atelier de Pleine-Fougères.	47
Tableau 3 : Description des variables de l'arbre, la haie et du milieu, recueillies pour les points d'échantillonnages.	51
Tableau 4 : Caractéristiques dendrométriques des arbres ayant servi à construire les tarifs de cubage.	55
Tableau 5 : Répartition des arbres en fonction de la circonférence à 1,3 m (c) et de la hauteur totale (h).	58
Tableau 6 : Résultats de différents types d'équation pour établir le tarif.	59
Tableau 7 : Le tarif du cubage pour les troncs de chêne (volume en m ³).	60
Tableau 8 : les caractéristiques générales de 39 haies étudiées	61
Tableau 9 : Coefficients de corrélation entre les caractéristiques des arbres et leur biomasse annuelle.	68
Tableau 10 : Relations entre la biomasse annuelle et des variables explicatives reliées aux arbres.	68
Tableau 11 : Caractéristiques des houppiers des arbres isolés et des arbres en compétition.	69
Tableau 12 : Comparaison des caractéristiques des arbres isolés et non isolés (le diamètre, la hauteur et le volume des deux groupes d'arbres ne sont pas différents, en revanche la production de biomasse des arbres isolés est considérablement supérieure à celle des arbres en compétition.)	70

Tableau 13: Résultats d'analyse d'ANOVA pour détecter les différences entre les caractéristiques des arbres en fonction de différents types d'occupation du sol.	72
Tableau 14 : Matrice des coefficients de corrélation calculés pour les variables dendrométriques prises deux à deux.	72
Tableau 15: Analyse des valeurs propres de la matrice de corrélation	73
Tableau 16: le résultat de DCA test.	77
Tableau 17: Les résultats de test de Monte-Carlo	77
Tableau 18: Parts de la variabilité des données « Arbres » expliquées par les facteurs environnementaux.	78
Tableau 19: Variables environnementales ayant des effets sur la biomasse des arbres (= « conditional effects » de la RDA, c'est-à-dire influence de chaque variable connaissant celles des variables précédemment prises en compte).	78

Chapitre III

Tableau 1: Nombre des haies étudiées dans les communes suivies.	93
Tableau 2 : Description des variables décrivant les arbres et les branches, recueillies sur les haies étudiées.	103
Tableau 3 : Description des variables structurales des haies étudiées.	103
Tableau 4 : Description des variables environnementales des haies étudiées.	104
Tableau 5 : Description des variables de productivité des haies.	104
Tableau 6 : La description des haies étudiées.	110
Tableau 7: Description statistiques des classes issues de la classification hiérarchique par la moyenne des variables continues	113
Tableau 8: Analyse des valeurs propres de la matrice de corrélation	116
Tableau 9: Coefficients de corrélation calculés pour les variables de productivité des haies.	117
Tableau 10: Analyse des valeurs propres de la matrice de corrélation	119
Tableau 11: Les rapports de corrélation de chaque variable avec les trois premiers axes de l'ACM.	121
Tableau 12: Le résultat de co-inertie	

Chapitre IV

Section 1

Table1: The general characteristics of sites of the study area	132
Table 2: Rate of hedgerows pruning in study area	134

Section 2

Tableau 1 : La longueur des haies émondées dans la zone atelier.	144
Tableau 2 : Répartition des haies continues et discontinues dans la zone atelier de Pleine-Fougères.	145
Tableau 3 : Le nombre d'arbres sur 38 haies discontinues recensées.	145
Tableau 4 : Le nombre d'arbres sur 43 haies continues recensées	146
Tableau 5 : La quantité de la production du bois dans la zone atelier.	146

Tableau 6 : Le potentiel de la production du bois dans la zone atelier. 147

Partie 2

Chapitre V

Tableau 1 : Utilisation du bois dans les 32 exploitations enquêtées 154

Tableau 2 : La différenciation des types d'exploitations agricoles selon leur statut juridique et par rapport à la densité des haies. 158

List des figures

Introduction Page

Figure 1: Carte de la zone atelier de Pleine-Fougères et des sites A, B et C. 9

Chapitre I

Figure 1: Histogramme des circonférences de branches de chêne	21
Figure 2: Pourcentage de la perte de l'humidité des rondelles de Chêne après heures d'étuvage à 105° c.	24
Figure 3: Histogramme de pourcentage de la perte de l'humidité des échantillons de châtaignier dans l'étuve, après les premières 24 heures.	25
Figure 4 : Le nuage de points de la biomasse des brins de châtaignier en fonction de leur circonférence à la base.	28
Figure 5 : Le nuage de points de la biomasse des brins de châtaignier en fonction de leur longueur.	28
Figure 6 : Le nuage de points de la biomasse des brins de châtaignier en fonction de leur âge.	29
Figure 7 : Graphique représentant de biomasse en fonction de circonférence pour les petites branches.	32
Figure 8 : Les courbe de régression de chêne et de châtaignier.	34

Chapitre II

Figure 1 : Carte géographique de la zone atelier et les sites d'études B et C (Carte IGN, 1/25 000).	43
Figure 2 : Carte géologique de la zone atelier (Carte géologique BRGM de Dol-de-Bretagne, 1/50 000)	44
Figure 3 : Présentation cartographique de toutes les haies échantillonnées	46
Figure 4 : La projection horizontale du houppier sur le sol et mesure de la largeur et de la longueur du houppier de chaque arbre.	49
Figure 5 : Application de la méthode des billons successifs sur l'arbre émonde sur pied.	50
Figure 6: Biomasses des branches des arbres de chêne en fonction de la durée d'émondage	
Figure 7: La distribution de la biomasse sec dans différents parties du Hêtre (Bartelink 1998) .	62
Figure 8 : Courbes de production et accroissement en volume (d'après Parde et Bouchon, 1982).	65
Figure 9 : La distribution des arbres (la biomasse des branches) en fonction de l'age des branches	66
Figure 10 : Valeurs des biomasses des Chênes à 12 ans.	67
Figure 13: Moyenne annuelle de la production de biomasse des arbres isolés et des arbres non isolés.	70
Figure 14 : Cercle des corrélations entre différents variables de l'arbre, issue de ACP	73
Figure N° 15 : Nuages de projection des valeurs de chacune des variables caractérisant les arbres (axe vertical, 6 variables) sur le premier axe factoriel (F1) de l'ACP (axe horizontal). Ajustement d'une droite de régression (méthode des moindres	74

carrés) montrant le gradient de décroissance progressive de ces variables sur l'axe F1.

Figure N° 16: Représentation graphique des observations sur les plans factoriels F1&F2 de l'ACP. 75

Figure 17 : Représentation graphique du gradient des variables d'arbres dans le plan factoriel F1 - F2 de l'RDA. 79

Figure 18: Représentation graphique de la biomasse annuelle des arbres dans le plan factoriel F1-F2 de la RDA. 80

2 Chapitre III

Figure 1 : Répartition des forêts en France, données 2005-2006, taux de boisement moyen est 28,6% pour France, et 12% pour Bretagne, source IFN, 2007. 87

Figure2 : Densité surfacique par maille de 100 km² des haies en France, Source, IFN 2007. 88

Figure 3 : Classification des 38 haies étudiées selon le type de traitement. 92

Figure 4 : Distribution des haies étudiées selon l'essence la plus présentée dans la haie. 92

Figure 5 : Distribution des haies étudiées selon la situation dans le bassin versant. 92

Figure 6: Dispersion des 38 chantiers de bois déchiqueté dans 16 communes étudiées en Département Ille-et-Vilaine 94

Figure 7 : Le dendromètre BLUME-LEISS 96

Figure 8 : Mesure de diamètre à 1m30 à l'aide d'un compas forestier. 97

Figure 9 : Pesage de la production du bois par le peson mobile. 99

Figure 10 : L'écran de saisie de la base des données, réalisé pour gérer et stocker les données de la production des haies. 101

Figure 11: Histogramme de pourcentage de la perte de l'humidité des échantillons de plaquettes dans l'étuve, après les premières 24 heures. 107

Figure 12 : Statistique descriptive des variables quantitatives de 38 haies étudiées. (cf. tableau N° 6). 108

Figure 13: Composition en essences dominantes, mode de traitement, type de haie, position sur le bassin versant et orientation des différentes haies étudiées (cf. tableau N° 6). Pour les types, voir section 4-1. 109

Figure 14 : Représentation graphique des variables structurales dans plan factoriel de l'AFC 111

Figure 15 : Position des haies et des classes identifiées par CAH dans le plan factoriel de l'AFC. 112

Figure 16: Proportions des modalités de recouvrement arboré dans les 4 classes de type de haie. 114

Figure 17: Proportions des modalités de perméabilité dans les 4 classes de type de haie. 114

Figure 18: Cercle de corrélation entre les variables de la productivité des haies (VOL.ANN/100ml =Production annuelle de plaquette en mètre cube, sur une longueur de 100m, PF.ANN/100ml =Poids frais des plaquettes sur une longueur de 100m, produit annuellement, PS.ANN/100ml =le poids sec des plaquettes sur une longueur de 100m, produit annuellement). 116

Figure 19: Projection des haies sur le plan factoriel F1-F2. 118

Figure 20: Projection des haies dans plans factoriels F1&F2.	120
Figure 21: Représentation graphique des variables structurales des haies sur le plan factoriel F1-F2 avec identification des modalités de chaque variable.	120
Figure 22: Projection des axes F1&F2 des variables de productivité des haies sur plan factoriel de co-inertie (à gauche) et projection des axes F1, F2&F3 des variables structurales des haies sur plan factoriel de co-inertie.	123
Figure 23: La projection des variables structurales des haies sur plan factoriel de co-inertie.	123
Figure 24: Projection des haies vues par les caractéristiques des haies (cercle à la base du vecteur) et vues par leur production (pointe de la flèche) sur plan factoriel de co-inertie	124

3 Chapitre IV

Figure 1: percentage of hedgerows as field margins related to the adjacent land use types in the three contrasted landscapes	132
Figure 2: “ragosses” trees, shapes varying with time since last pruning	133
Figure 3: Annual length of pruned hedgerows in study area	135
Figure 4: density of pruned hedgerows according to adjacent land use	136
Figure 5: average density of pruned hedgerows according to type of farming system	137

4 Partie 2

Chapitre V

Figure 1: La localisation des exploitations agricoles enquêtées (Ille-et-Vilaine).	155
Figure 2 : Le taux des exploitations agricoles selon la taille	156
Figure 3 : Le taux de type d’exploitations agricoles selon statut juridique.	157
Figure 4 : La taille des exploitations agricoles selon leur statut juridique	157
Figure 5 : Le taux des différentes sources disponibles pour les agriculteurs dans la fourniture des plaquettes en bois.	159
Figure 6 : Les différents types d’usages de la chaudière à bois par les agriculteurs.	159
Figure 7 : Importance de différentes raisons dans la décision des agriculteurs pour avoir la chaudière à bois.	160
Figure 8 : La propriété de déchiqueteuse utilisée par les agriculteurs.	161
Figure 9 : Cercle de corrélation F1&F2 présentent les contributions relatives aux variables des haies (A). Présentation graphique des exploitations agricoles sur le plan factoriel F1&F2 (B).	162
Figure10 : Cercle de corrélation F1&F2 présente les contributions relatives aux variables des haies (A). Présentation graphique des exploitations agricoles sur le plan factoriel F1&F2 (B).	163
Figure 11 : Projection des variables sur plan factoriel de co-inertie	164
Figure 12 : Projection des exploitations agricoles sur plan factoriel de co-inertie.	165
Figure 13 : Les espèces arborées les plus plantées sur les haies de 32 exploitations agricoles.	166
Figure 14 : Les types de traitements majeurs pour les trois espèces les plus plantées.	166

Figure 15 : Nombre de chaudières installées au cours des dernières années (source : l'Association AILE). 168

Figure 16 : Dispersion des 75 chaudières installées en Ille-et-Vilaine (les grosses disques représentent la zone d'utilisation d'une déchiqueteuse et les disques jaunes représentent le nombre de chaudières installées dans chaque commune). 169

Annexes

Chapitre I :

Annexe1 :		Résultats Régression Multiple, Cas le chêne			
Var dép. :	Poids	R Multiple =	.93790694	F =	559.2486
		R ² =	.87966942	dl =	2,153
Nb d'obs. :	156	R ² ajusté =	.87809647	p =	0.000000
		Erreur-type de l'estim. :	4.137361447		
Ord.Orig :	-13.05378237	Err.-Type:	1.150971	t(153) =	-11.34 p = 0.0000
		Cir bêta=.	.786	Lon bêta=.	.163
(bêta significatifs en surbrillance)					

Annexe2 :		Résultats Régression. Multiple, Cas le Châtaignier			
Var dép. :	Biomasse	R Multiple =	.94426888	F =	703.5637
		R ² =	.89164372	dl =	2,171
Nb d'obs. :	174	R ² ajusté =	.89037640	p =	0.000000
		Erreur-type de l'estim. :	8.106305211		
Ord.Orig :	-23.18528447	Err.-Type:	1.490161	t(171) =	-15.56 p = 0.0000
		Circonférence bêta=.	.952	Longueur bêta=.	-.02
(bêta significatifs en surbrillance)					

Annexe 3 :

N° de Haie	N° de l'arbre	Poids frais des branches	Poids sec mesuré	Poids sec estimé (tarif)	
Haie 1	1	360	208,8	225,5	1,08
Haie 1	2	340	197,2	211,0	1,07
Haie 1	3	253	146,74	161,41	1,10
Haie 1	4	380	220,40	238,03	1,08
Haie 1	5	256	148,48	161,84	1,09
Haie 1	6	145	84,10	92,51	1,10
Haie 1	7	90,65	52,58	57,50	1,09
Haie 1	8	141,44	82,04	88,56	1,08
Haie 1	9	413,42	239,79	265,23	1,11
Haie 1	10	179,48	104,10	118,44	1,14

Haie 1	11	265,0	153,70	194,41	1,26
Haie 1	12	562,0	325,96	369,63	1,13
Haie 1	13	320	185,60	206,02	1,11
Haie 2	1	179,82	106,09	113,52	1,07
Haie 2	2	148,09	87,37	96,11	1,10
Haie 2	3	132,01	77,89	88,01	1,13
Haie 2	4	204,21	120,49	142,17	1,18
Haie 2	5	309,97	182,89	197,52	1,08
Haie 2	6	169,50	100,01	109,01	1,09
Haie 2	7	191,03	112,71	126,23	1,12
Haie 3	1	350	206,5	225,09	1,09
Haie 3	2	250	147,5	166,68	1,13
Haie 3	3	189	111,51	122,68	1,1
Haie 3	4	360	212,40	235,76	1,11
Haie 3	5	425	250,75	283,35	1,13
Haie 3	6	336	198,24	214,10	1,08
Haie 3	7	340	200,6	218,65	1,09
Haie 3	8	368	217,12	232,32	1,07
Haie 3	9	456	269,04	301,32	1,12
Haie 3	10	245	144,55	159,01	1,10
Haie 3	11	211	124,49	139,43	1,12
Haie 3	12	189	111,51	124,89	1,12
Moyenne de 3 Haies	32 arbres	273,7	159,2	177,7	1,108

Chapitre II :

2.1.1.1 Annexe 1 : Fiche de description de haie

Fiche de description de haie

Page :1

Localisation			
Date :	Commune :	Site/Lieu dit :	Propriétaire :
Haie n° :	Typologie correspondant n° :	Longueur totale de haie :	Longueur étudiée :
N.SIG :	Photo n° :	Orientation de la haie :	Auteur :

Position Topographique :		Recouvrement :					
Plateau	<input type="checkbox"/>	Orientation dans la pente :		Strate arbo.(>4m)	Strate arbus. (1-4 m)	Strate herb. (0-1m)	
Sommet de versant	<input type="checkbox"/>	Perpendiculaire	<input type="checkbox"/>	Recouvrement*			
Bas de versant	<input type="checkbox"/>	30 à 40 °	<input type="checkbox"/>		Canopée	Zone inculte	Talus/fossé
Bord de cours d'eau	<input type="checkbox"/>	Parallèle	<input type="checkbox"/>	Largeur			
Pourcentage de la pente :				Perméabilité totale:*			

Climat et Sol			
Direction du vent		L'impact du vent	Faible <input type="checkbox"/> Moyenne <input type="checkbox"/> Forte <input type="checkbox"/>
????du vent		Caractéristiques du Sol	Profondeur (cm)
Précipitation(mm)			Hydromorphie
Hauteur Max.			Type du sol
Hauteur Domin.			Substrat

Utilisation des parcelles adjacentes					
Côté A			Côté B		
Route		Chemin	Route		Chemin
Ruisseau		Bois	Ruisseau		Bois
Prairie		Culture	Prairie		Culture
Bâtiment		Autre	Bâtiment		Autre

Caractéristiques de talus et fossé		
Fossé	Côté A	Côté B
Profondeur		
Largeur		
Hauteur du talus		
Largeur du talus		
Type d'entretien de la haie		

Observation :

* Recouvrement croissant et Perméabilité croissante. Les codes suivants correspondent au pourcentage de recouvrement : (perméabilité 0 = 0% : Haie imperméable (mur)

0	1	2	3	4	5
0%	1-10%	10-25%	25-50%	50-75%	>75%

Page 2

Données des arbres										
Haie N° :		Date :			Commune :		Site/Lieu dit :			
Nb	Essence	Diamètre à 1.3 m	Hauteur de tronc	Intervalle (m)	Mode de traitement *	Age de dernière coupe	Canopée			
							Largeur (Parallèle à la haie)		Longueur (Perpendiculaire à la haie)	
							Lar.1	Lar.2	Long.1	Long.2
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										

* Mode de traitement : H (Haut jet), R(Ragolle), T(Têtard), C(Cépée), Ab(Abattre), Au(Abattu)

Annexe 4 : Résultat d'analyse de régression entre la biomasse et l'âge des branches

Regression Analysis: Biomass .Branches Total versus Age de Branche					
The regression equation is					
Biomass.Branches Total = - 5.1 + 29.1 Age de Branche					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	-5.05	68.92	-0.07	0.942	
Age de Branche	29.070	5.922	4.91	0.000	
S = 156.550 R-Sq = 11.7% R-Sq(adj) = 11.3%					

Annexe 5 : Le résultat ANOVA (arbres isolés va arbres non isolés)**ANOVA à un facteur contrôlé :****La biomasse annuelle des Arbres Isolés et des Arbres non Isolés**

Source	DL	Somme des carrés	CM	F	P
Facteur	1	904	904	5,99	0,016
Erreur	129	19462	151		
Total	130	20366			

S = 12,28 R carré = 4,44 % R carré (ajust) = 3,70 %

Niveau	N	Moyenne	Ecarte Type
Arbres Isolés	37	30,65	13,28
Arbres non Isolés	94	24,81	11,88

Limites de confiance = 95 % distinctes pour la moyenne en fonction de l'écart type regroupé

Niveau	Confidence Interval
Arbres Isolés	(-----*-----)
Arbres non Isolés	(-----*-----)
	-----+-----+-----+-----+-----
	24,5 28,0 31,5 35,0

Ecart type regroupé = 12,28

Annexe 5 : Résultats de test d'ANOVA pour différencier la production de biomasse en unité de volume de tronc des arbres en fonction de l'occupation du sol

2.1.1.1.1.1 ANOVA à un facteur contrôlé : *Cult/Cult-BiAV; Pr/cult-BiAV; Pr/Pr-BiAV;*

BiAV = Biomasse annuelle ne unité de volume de tronc

Cult/Cult = Culture/Culture-BiAV

Pr/Pr = Prairie/Prairie-BiAV

Pr/Cult = Prairie/Culture-BiAV

Source	DL	Somme des carrés	CM	F	P
Facteur	2	710	355	2,60	0,077
Erreur	167	22802	137		
Total	169	23512			

S = 11,69 R carré = 3,02 % R carré (ajust) = 1,86 %

Niveau	N	Moyenne	EcTyp
Cult/Cult-BiAV	44	26,77	13,51
Pr/Pr-BiAV	57	23,27	11,79
Pr/cult-BiAV	69	21,65	10,27

Limites de confiance = 95 % distinctes pour la moyenne en fonction de l'écart type regroupé

Niveau	Confiance
Cult/Cult-BiAV	(-----*-----)
Pr/Pr-BiAV	(-----*-----)
Pr/cult-BiAV	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----

21,0 24,0 27,0 30,0

Ecart type regroupé = 11,69

ANOVA à un facteur contrôlé : *Cult/Cult-BiAV; Pr/cult-BiAV*

Source	DL	Somme des carrés	CM	F	P
Facteur	1	705	705	5,21	0,024
Erreur	111	15021	135		
Total	112	15726			

S = 11,63 R carré = 4,48 % R carré (ajust) = 3,62 %

Niveau	N	Moyenne	EcTyp
Cult/Cult-BiAV	44	26,77	13,51
Pr/cult-BiAV	69	21,65	10,27

Limites de confiance = 95 % distinctes pour la moyenne en fonction de l'écart type regroupé

Niveau	Confiance
Cult/Cult-BiAV	(-----*-----)
Pr/cult-BiAV	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----

21,0 24,0 27,0 30,0

ANOVA à un facteur contrôlé : *Cult/Cult-BiAV; Pr/Pr-BiAV*

Source	DL	Somme des carrés	CM	F	P
Facteur	1	304	304	1,92	0,169
Erreur	99	15625	158		
Total	100	15929			

S = 12,56 R carré = 1,91 % R carré (ajust) = 0,92 %

Niveau	N	Moyenne	EcTyp
Cult/Cult-BiAV	44	26,77	13,51
Pr/Pr-BiAV	57	23,27	11,79

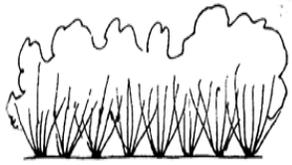
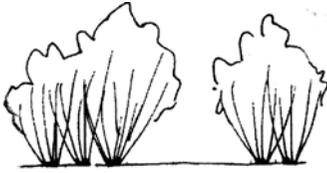
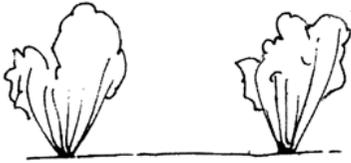
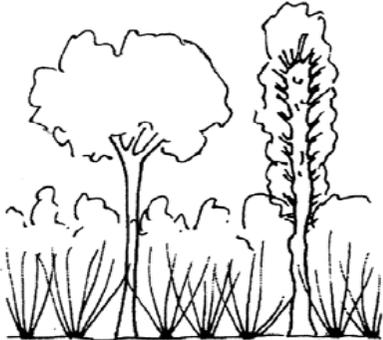
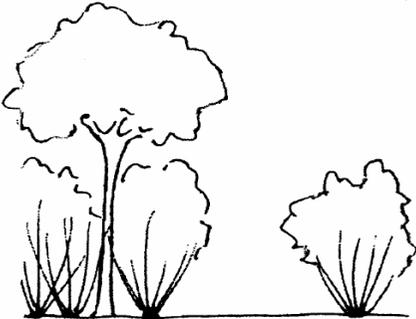
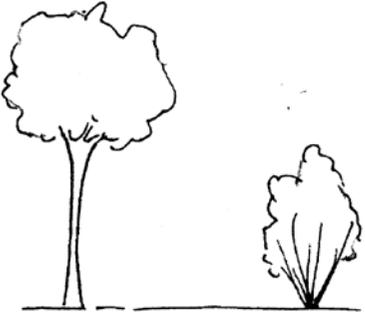
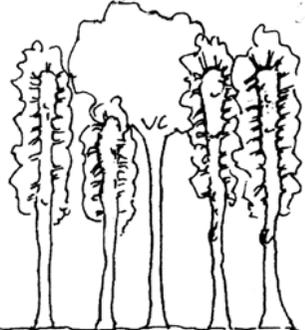
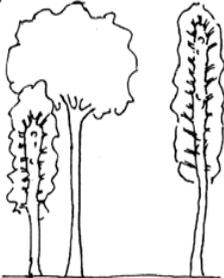
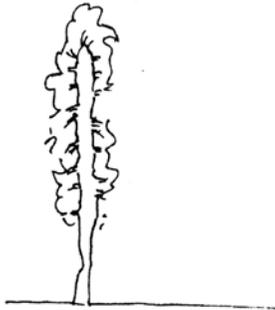
Limites de confiance = 95 % distinctes pour la moyenne en fonction de l'écart type regroupé

Niveau	Confiance
Cult/Cult-BiAV	(-----*-----)
Pr/Pr-BiAV	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----

Chapitre III :

Annexe N° HA1 : Les illustrations de chaque type de haie.

<p>Type 1-Taillis de bonne qualité</p> 	<p>Type 2-Tallis de moyenne qualité</p> 	<p>Type 3- Tallis de médiocre qualité</p> 
<p>Type 4-Haut jet/Emonde avec taillis de bonne qualité</p> 	<p>Type 5-Haut jet/Emonde avec taillis de moyenne qualité</p> 	<p>Type 6-Haut jet/Emonde avec taillis de médiocre qualité</p> 
<p>Type 7-Haut jet/Emonde de bonne qualité</p> 	<p>Type 8-Haut jet/Emonde de moyenne qualité</p> 	<p>Type 9-Haut jet/Emonde de médiocre qualité</p> 

Annexe N° HA 2: La fiche de terrain pour récolter des données

Fiche de description de haie et chantier de bois déchiqueté

Page 1

Localisation			
Date :	Commune :	Site/Lieu dit :	Propriétaire :
Haie n° :	Typologie correspondante* :	Longueur totale de haie :	Longueur totale :
Parcelle n° :	Coordonnées de la haie :	Coordonnées Lambert :	Altitude :

Position Topographique :		Recouvrement :			
Plateau <input type="checkbox"/>	Orientation dans la pente :		XXXX (4m)	XXXXXX (7-8m)	XXXXXX (10-12m)
Bords de versant <input type="checkbox"/>	Perpendiculaire <input type="checkbox"/>	Recouvrement*			
Bas de versant <input type="checkbox"/>	30 à 40° <input type="checkbox"/>	Courbes	XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX
Bords de cours d'eau <input type="checkbox"/>	Parallèle <input type="checkbox"/>	Langues ?			
Pourcentage de la pente :		Perméabilité totale*			

Climat et Sol			
Direction du vent		L'impact du vent	Faible <input type="checkbox"/> Moyen <input type="checkbox"/> Fort <input type="checkbox"/>
Vitesse du vent		Caractéristiques du sol	Profondeur (cm)
Précipitation (mm)			Humidité
Hauteur Max.			Type d'usol
Hauteur Moy.			Substrat

Utilisation des parcelles adjacentes					
Cote A			Cote B		
Route	Chemin		Route	Chemin	
Parcours	Stade		Parcours	Stade	
Préau	Cultures		Préau	Cultures	
Bâtiment	Autre		Bâtiment	Autre	

Caractéristiques de talus et fosse		
Fosse	Cote A	Cote B
Profondeur		
Largeur		
Hauteur du talus		
Largeur du talus		
Type d'entretien de la haie		

Données sur le chantier de bois déchiqueté			
Volume de bois déchiqueté (m³)		Volume 100 ml de bois (m³)	
Poids frais de bois déchiqueté (kg)		Poids frais 100 ml de bois (kg)	
Teneur en matière sèche (%)		Poids sec 100 ml de bois (kg)	
Poids sec de bois déchiqueté (kg)		La production de copeaux (kg/m²)	

* Recouvrement croissant et Perméabilité croissante. Les codes suivants correspondent au pourcentage de recouvrement : (perméabilité à 0 = 0% - Haie imperméable (mur))

0	1	2	3	4	5
0%	5-10%	10-25%	25-50%	50-75%	> 75%

Type de haie	7	1= haie de cépée de bonne qualité, 2= haie de cépée de moyenne qualité, 3= haie de Haut-jet/émondée+cépée de bonne qualité, 4= haie de Haut-jet/émondée+cépée de moyenne qualité, 5= haie de Haut-jet/émondée+cépée de médiocre qualité, 6= haie de Haut-jet/émondée de bonne qualité, 7= haie de Haut-jet/émondée de moyenne qualité
Pourcentage de Recouvrement	3	1=25% < Rec.<50%, 2=50% < Rec.<75%, 3=75% < Rec.<100%,
Pourcentage de Perméabilité	4	1=10% < Per.<25%, 2=25% < Rec.<50%, 3=50% < Rec.<75%, 4=75% < Rec.<100%,
Largeur de canopée	4	1= 0-5m, 2=5-10m, 3=10-15m, 4=15-20m
Hauteur maximale	4	1= 0-5m, 2=5-10m, 3=10-15m, 4=15-20m
Hauteur dominante	3	1= 0-5m, 2=5-10m, 3=10-15m

Annexe :**Classification de hydromorphy de sol selon la profondeur de sol.****❖ Sols Profonds (plus de 80 cm)**

- **SOL SAIN**
 - **Classe 0 : Absence, couleur homogène sans tâches.**
 - **Classe 1 : Tâches d'oxydoréduction de faible intensité à une profondeur supérieure à 80 cm.**
 - **Classe 2 : Tâches d'oxydoréduction de forte intensité à une profondeur supérieure à 80 cm.**
- **SOL PEU HYDROMORPHE**
 - **Classe 3 : Tâches d'oxydoréduction de faible intensité à une profondeur comprise entre 40 et 80 cm.**
- **SOL MOYENNEMENT HYDROMORPHE**
 - **Classe 4 : Tâches d'oxydoréduction de forte intensité à une profondeur comprise entre 40 et 80 cm.**
- **SOLS HYDROMORPHE**
 - **Classe 5 : Tâches d'oxydoréduction de faible intensité dès la surface.**
 - **Classe 6: Tâches d'oxydoréduction de forte intensité dès la surface.**
 - **Classe 7 : Pseudogley généralisé.**
 - **Classe 8 : Pseudogley généralisé avec gley en profondeur.**
 - **Classe 9 : Pseudogley généralisé avec gley à faible profondeur.**

❖ Sols moyennement profonds (40-80 cm)

- **SOL SAIN**
 - **Classe 0 : Absence, couleur homogène sans tâches.**
- **SOL PEU HYDROMORPHE**

- Classe 3 : Tâches d'oxydoréduction de faible intensité à une profondeur comprise entre 40 et 80 cm.
 - SOL MOYENNEMENT HYDROMORPHE
 - Classe 4 : Tâches d'oxydoréduction de forte intensité à une profondeur comprise entre 40 et 80 cm.
 - SOL HYDROMORPHE
 - Classe 5 : Tâches d'oxydoréduction de faible intensité dès la surface.
 - Classe 6: Tâches d'oxydoréduction de forte intensité dès la surface.
 - Classe 7 : Pseudogley généralisé.
 - Classe 8 : Pseudogley généralisé avec gley en profondeur.
- Classe 9 : Pseudogley généralisé avec gley à faible profondeur.

❖ Sols peu profonds (moins de 40 cm)

- SOL SAINA
 - Classe 0 : Absence, couleur homogène sans tâches.
- SOL PEU HYDROMORPHE
 - Classe 3 : Tâches d'oxydoréduction de faible intensité à une profondeur comprise entre 40 et 80 cm.
- SOL HYDROMORPHE
 - Classe 5 : Tâches d'oxydoréduction de faible intensité dès la surface.
 - Classe 6: Tâches d'oxydoréduction de forte intensité dès la surface.
 - Classe 7 : Pseudogley généralisé.
 - Classe 8 : Pseudogley généralisé avec gley en profondeur.
 - Classe 9 : Pseudogley généralisé avec gley à faible profondeur.

Chapitre V :

Annexe X:

Le questionnaire socioéconomique

Annexe X :

Tableau de conversion des catégories d'animaux en unité de gros bétail

ESPÈCE ANIMALE	CATÉGORIE ANIMALE	UNITÉ	COEFFICIENT de conversion en unité de gros bétail
Bovins	Vache laitière (1)	Animal présent	1
	Mâle et femelle de plus de 24 mois dont vache allaitante (2)	Animal présent	0,75
	Mâle et femelle de 6 à 24 mois	Animal présent	0,5
	Mâle ou femelle < 6 mois dont veau de boucherie	Animal présent	0,05
Porcins	Truie et verrat	Animal présent	0,17
	Porcelet	Animal produit	0,0047
	Porc charcutier	Animal produit	0,032
VOLAILLES ET PALMIPÈDES		UNITÉ EXPRIMÉE en 1 000 animaux	COEFFICIENT de conversion en unité de gros bétail
Caille et coquelet		Animal produit	0,15
Poulet standard et perdrix		Animal produit	0,35
Poulet label, pintade et canette		Animal produit	0,61
Canard, chapon, dinde, faisan, poularde		Animal produit	1
Palmipèdes à foie gras (canard et oie)		Animal produit	1,3
Oie à rôtir, pigeon (couple)		Animal produit	3,6
Caille pondeuse et reproductrice		Animal présent	0,5
Poulette œufs et reproductrice		Animal présent	1
Canard, cane, faisan, perdrix, pintade reproductrice		Animal présent	3
Poule pondeuse et reproductrice		Animal présent	4
Cane de Barbarie, dinde et oie reproductrices		Animal présent	8

VU :

VU :

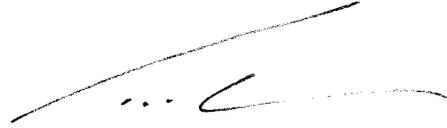
Le Directeur de Thèse
(Nom et Prénom)

François BUREL



Le Responsable de l'École Doctorale

LAGADEC Y.



DT UR/2008/S/M n°134

VU pour autorisation de soutenance

Rennes, le 12 novembre 2008

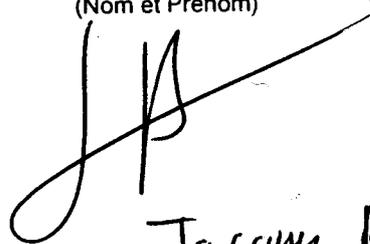
Le Président de l'Université de Rennes 1

Guy CATHELINEAU



VU après soutenance pour autorisation de publication :

Le Président de Jury,
(Nom et Prénom)



Jacques BANDRY