

**Intégration de la variabilité des cours du bois dans les calculs
économiques du réseau AFI.
Du calcul d'options réelles à la prise en compte du gain lors des
opérations de martelage.**

Mémoire de fin d'études
Diplôme de la Formation des Ingénieurs Forestiers
Réalisé par **Sébastien ETIENNE** à l'ENGREF Nancy



F.I.F. - E.N.G.R.E.F.	TRAVAUX D'ELEVES
TITRE : Intégration de la variabilité des cours du bois dans les calculs économiques du réseau AFI. Du calcul d'options réelles à la prise en compte du gain lors des opérations de martelage.	Mots clés Volatilité, options financières, avenir incertain, analyse statistique de martelage.
M. Sébastien ETIENNE :	Promotion : 15^{ème} FIF
Caractéristiques 1.volume de 58 pages comprenant 6 annexes et une 1 biblio.	
CADRE DU TRAVAIL	
ORGANISME PILOTE OU CONTRACTANT : Laboratoire d'Economie Forestière ENGREF de Nancy Nom du responsable : M. Max BRUCIAMACCHIE Fonction: Enseignant Chercheur à l'ENGREF	
Tronc Commun <input type="checkbox"/> Stage en entreprise <input type="checkbox"/> Autres <input type="checkbox"/> Option <input type="checkbox"/> Stage à l'étranger <input type="checkbox"/> Spécialité <input type="checkbox"/> Stage fin d'études <input checked="" type="checkbox"/>	Date de remise :
Contrat Junior Entreprise	OUI X NON

SUITE A DONNER (réservé au Service des Etudes)	
Non consultable <input type="checkbox"/> si oui permanent <input type="checkbox"/> jusqu'à/..../....	Consultable et Diffusable <input type="checkbox"/>

RESUME

La sylviculture irrégulière vise à concentrer l'accroissement dans les tiges de qualité. Le réseau AFI a pour objectif d'aider les gestionnaires en leur fournissant des outils de gestion et des indicateurs pertinents. Certains ont une vocation économique. Aujourd'hui, ils sont établis en considérant les prix comme fixes, ce qui n'est pas conforme à la réalité. L'objet de notre étude est de trouver un indicateur intégrant la variabilité des prix.

Le réseau souhaite également disposer d'un outil statistique d'analyse des martelages, c'est-à-dire une démarche simple indiquant les critères pris en compte lors de ces opérations.

ABSTRACT

The irregular forestry treatment wants to concentrate the biological growth upon the high quality timber. The AFI network has the objective to help managers by giving them some managerial tools and some pertinent indicators. Someones have an economical vocation. At this time, they are made out by considering that prices are fixed. That fact is not conformable to the reality. This study wants to find an indicator which integrates the price variability.

The network also wishes to have a statistical tool for analysing the marking of trees, that means to have a simple efficient method which indicates the variables used during the marking operations.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Max BRUCIAMACCHIE, enseignant-chercheur à l'ENGREF et trésorier de l'Association Futaie Irrégulière. En m'accueillant au sein du Laboratoire d'Économie Forestière et en mettant à ma disposition toutes les données du réseau, il m'a permis de travailler dans des conditions optimales sur des sujets très intéressants. Sa disponibilité et ses nombreuses connaissances auront permis de concrétiser cette étude.

Un grand merci également à Julien TOMASINI, ingénieur forestier travaillant à la fois pour le cabinet de Monsieur LEFORESTIER et pour l'AFI. Ses explications et la mise à disposition de nombreux documents m'auront permis de progresser dans cette étude.

Enfin, je tiens à remercier Monsieur Michel CHAVET, expert forestier à Paris, pour m'avoir éclairé dans le domaine des options financières et pour l'ensemble de ses remarques et critiques constructives.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
1 LES PRINCIPES DE LA FUTAIE IRREGULIERE.....	2
1.1 DEFINITION D'UN PEUPEMENT IRREGULIER	2
1.2 PRINCIPE DU MODE DE TRAITEMENT.....	2
1.3 LES COUPES.....	2
1.3.1 Type de coupe :	2
1.3.2 Rotation.....	3
1.3.3 Les motifs de maintien ou de coupe.....	3
1.4 LA GESTION DU SOUS ETAGE ET LE RENOUVELLEMENT	4
1.5 LES TRAVAUX SYLVICOLES	4
1.6 LE SUIVI DE LA QUALITE.....	5
2 PRESENTATION DU RESEAU AFI-ENGREF.....	5
2.1 LE PROTOCOLE AFI.....	5
2.1.1 Organisation du réseau.....	5
2.1.2 Le protocole de mesures de niveau 3	6
2.1.2.1 Les mesures prises à l'échelle de l'arbre	6
2.1.2.2 Les mesures prises à l'échelle de la placette.....	7
2.1.3 Les dispositifs de l'AFI.....	7
2.1.4 Les grandes orientations du réseau (stratégie et perspectives).....	7
2.2 ÉTAT ACTUEL DU RESEAU ET APPORTS EN MATIERE SYLVICOLE.....	8
2.2.1 Apports dendrométriques	8
2.2.1.1 Le capital sur pied	8
2.2.1.2 Les accroissements	8
2.2.1.3 Gestion de la qualité.....	9
2.2.1.4 Houppiers et couverts	9
2.2.2 Bilan économique.....	9
2.2.2.1 Les flux financiers	9
2.2.2.2 L'évolution de la valeur du capital	10
2.2.3 Détail sur les volumes et valeurs de consommation.....	10
2.2.3.1 Vérification de la représentativité des placettes.....	10
2.2.3.2 La variabilité des prix unitaires	11
3 L'APPORT DE LA THEORIE FINANCIERE.....	12
3.1 NOTION SUR LES OPTIONS FINANCIERES	12
3.1.1 Définition de base et concepts.....	12
3.1.2 Notion sur les options réelles	14
3.1.3 La dynamique des actifs réels	14
3.1.3.1 Évaluation simple d'un call de report	15
3.1.3.2 La formule analytique d'évaluation de BLACK et SCHOLES	15
3.1.3.3 Le modèle du treillis binomial de COX, ROSS et RUBINSTEIN.....	16
3.2 APPLICATION AU DOMAINE FORESTIER.....	18
3.2.1 Exemples de calculs financiers.....	18
3.2.1.1 Par emploi du treillis binomial	18
3.2.1.2 Par emploi de la formule de BLACK et SCHOLES	19
3.2.2 Analyse de la volatilité des cours.....	21
3.3 APPLICATION AU RESEAU AFI.....	23
3.3.1 La prise en compte de la variation des cours.....	23
3.3.2 L'impact de la volatilité sur les coûts d'option	24
3.3.2.1 A l'échelle de l'arbre	24
3.3.2.2 A l'échelle d'un dispositif	28
3.3.3 Comportement des gestionnaires et discussion.....	29
4 ANALYSE DES STRATEGIES DES MARTELAGES.....	31
4.1 VARIABLES ET DISPOSITIFS ETUDIES.....	31
4.1.1 Les variables disponibles et utilisables	31
4.1.1.1 Les variables obtenues lors des inventaires	31
4.1.1.2 Les variables construites à posteriori.....	31

4.1.2	<i>Les dispositifs utilisables</i>	32
4.2	LES OUTILS STATISTIQUES DISPONIBLES.....	34
4.2.1	<i>Contraintes et besoins de l'analyse</i>	34
4.2.2	<i>La régression logistique</i>	34
4.2.2.1	Formulation mathématique du modèle de régression logistique.....	35
4.2.2.2	L'estimation du modèle : méthode du maximum de vraisemblance.....	35
4.2.2.3	Les tests de significativité :	35
4.2.3	<i>L'analyse factorielle discriminante barycentrique (AFDB)</i>	36
4.3	APPORT DES PREMIERS RESULTATS SUR LE CHOIX D'UN OUTIL STATISTIQUE	39
4.3.1	<i>L'outil statistique retenu</i>	39
4.3.2	<i>Stratégie d'analyse liée à l'A.F.D.B.</i>	40
4.3.2.1	Les analyses préalables.....	40
4.3.2.2	La stratégie d'analyse	42
4.4	SYNTHESE DES RESULTATS A L'ECHELLE DE L'ENSEMBLE DES DISPOSITIFS ETUDIES	42
4.4.1	<i>Les résultats globaux</i>	42
4.4.2	<i>Les variables les plus fréquentes</i>	44
4.4.3	<i>Les variables « oubliées » et les points particuliers</i>	45
4.5	SYNTHESE DES RESULTATS PAR DISPOSITIF	45
4.5.1	<i>Le dispositif de Chamberceau</i>	45
4.5.1.1	État initial	45
4.5.1.2	Commentaires sur la gestion préconisée.....	46
4.5.1.3	Analyse du martelage effectué.....	46
4.5.2	<i>Le dispositif de Gergy</i>	47
4.5.2.1	État initial	47
4.5.2.2	Commentaires sur la gestion préconisée.....	48
4.5.2.3	Analyse du martelage effectué.....	48
4.5.3	<i>Le dispositif de Quinquengrogne</i>	49
4.5.3.1	État initial	49
4.5.3.2	Commentaires sur la gestion préconisée.....	49
4.5.3.3	Analyse du martelage effectué.....	50
4.5.4	<i>Le dispositif de Renardières</i>	50
4.5.4.1	État initial	50
4.5.4.2	Commentaires sur la gestion préconisée.....	51
4.5.4.3	Analyse du martelage effectué.....	51
4.5.5	<i>Le dispositif de Remilly</i>	52
4.5.5.1	État initial	52
4.5.5.2	Commentaires sur la gestion préconisée.....	52
4.5.5.3	Analyse du martelage effectué.....	52
4.5.6	<i>Le dispositif de Grands Bois</i>	53
4.5.6.1	État initial	53
4.5.6.2	Commentaires sur la gestion préconisée.....	54
4.5.6.3	Analyse du martelage effectué.....	54
4.5.7	<i>Le dispositif de Marchenoir 2</i>	54
4.5.7.1	État initial	54
4.5.7.2	Commentaires sur la gestion préconisée.....	55
4.5.7.3	Analyse du martelage effectué.....	55
4.5.8	<i>Conclusion sur l'analyse statistique</i>	55
	CONCLUSION	56
	BIBLIOGRAPHIE	57
	LISTE DES ANNEXES	58

INTRODUCTION

L'Association Futaie Irrégulière (AFI) est une association ayant pour objectif de promouvoir la sylviculture irrégulière par l'étude de peuplements « types ».

Le suivi de ces dispositifs par le biais d'inventaires renouvelés tous les cinq ans permet d'accumuler une grande quantité de données qu'il s'agit de valoriser.

L'analyse de ces données est réalisée par les permanents de l'AFI, notamment Max BRUCIAMACCHIE et Julien TOMASINI, qui publient régulièrement des articles et des documents de synthèse. De nombreux stagiaires de l'ENGREF ont apporté leur contribution à l'établissement des indicateurs de gestion et aux outils d'analyse.

Le présent rapport vient compléter ces études et s'inscrit dans les préoccupations de l'AFI, notamment en matière de critères économiques.

Il comporte deux axes d'études qui seront abordés après une présentation des principes de la gestion irrégulière et du fonctionnement du réseau AFI.

Le premier de ces axes est la recherche d'une méthode permettant de quantifier les effets de la variabilité des prix du bois lors du calcul des indicateurs économiques. Cet axe s'inspire du domaine financier et a pour objectif de fournir aux gestionnaires des ordres de grandeurs de plus-values possibles liées à la fluctuation des valeurs du bois.

Le deuxième axe est l'établissement d'une méthode d'analyse statistique des martelages. Après la construction de variables pertinentes, l'intérêt est de pouvoir caractériser les choix de gestion effectués par le gestionnaire afin de pouvoir mettre en rapport les objectifs initiaux du dispositif et la réalité du terrain.

1 Les principes de la futaie irrégulière

1.1 Définition d'un peuplement irrégulier

Il existe de nombreuses définitions de ce mode de traitement (Bruciamacchie M., Turckheim B., 2005). Pour notre part nous retiendrons la définition suivante :

Un peuplement irrégulier se caractérise par un mélange de tiges de dimensions variées : semis, perches, petits bois (PB), bois moyen (BM) et gros bois (GB). Dès lors, il existe de nombreux types de peuplements irréguliers en fonction de leur structure, de leur composition en essences, de leur traitement sylvicole passé, et du contexte stationnel sur lequel ils se trouvent (sol, topographie, exposition...). De plus, il existe de nombreux facteurs internes de variabilité tel que le volume à l'hectare, les proportions d'essences ou de classes de diamètre.

1.2 Principe du mode de traitement

Ce mode de traitement permet de concilier la production continue de bois et la préservation du milieu, tout en se revendiquant très rentable d'un point de vue économique (BRUCIAMACCHIE et de TURCKEIM, 2005).

Les objectifs multiples liés à un tel traitement sont les suivants :

Utiliser des essences adaptées aux stations et qui possèdent une bonne capacité à réagir face aux modifications et aux aléas climatiques.

Obtenir des peuplements stables en assurant aux tiges une croissance optimale (leur garantir suffisamment de place pour qu'elles aient une architecture optimale). La stabilité passe également par le maintien d'une grande diversité d'espèces (résistance aux maladies, aux insectes...).

Garantir un étagement des strates où les tiges les plus jeunes sont éduquées par les plus anciennes.

Maintenir un mélange d'essences offrant au propriétaire une plus grande flexibilité face aux fluctuations des cours des bois.

Limiter autant que possible les dépenses sylvicoles en privilégiant les interventions économes en coût de gestion. Il faut également limiter les investissements, notamment en s'appuyant au maximum sur les processus naturels (régénération, élagage...).

Veiller à préserver les écosystèmes en s'attachant à protéger les sols, la faune et la flore (maintien d'arbres morts ou déperissants, conservation de bois morts au sol...). La préservation des paysages est également un objectif.

Ainsi, le traitement en futaie irrégulière vise en premier lieu à procurer des revenus soutenus par la production de bois d'œuvre de qualité, avec un renouvellement continu assurant, en quantité et en qualité, le remplacement des arbres exploités. Cela revient à concentrer l'accroissement biologique sur les tiges qui le valoriseront le mieux (BRUCIAMACCHIE et de TURCKEIM, 2005).

Tous ces objectifs mènent à exercer une sylviculture d'arbre et non plus de peuplement, avec ses normes fixées à priori.

1.3 Les coupes

1.3.1 Type de coupe :

La coupe va intéresser une parcelle entière et visera à récolter les arbres « qui ne payent plus leur place ».

Elle est de type jardinatoire et a pour but :

De récolter des arbres en fonction de leur valeur individuelle. Il s'agira d'intervenir au moment optimum lorsque la tige a un diamètre permettant un gain financier maximal. Les sacrifices d'exploitabilité (coupe d'un arbre de qualité n'ayant pas atteint son diamètre d'exploitabilité) seront évités.

De travailler au profit des meilleures tiges du peuplement, et cela dans toutes les catégories de diamètre. Le travail pourra favoriser les essences minoritaires.

Il s'agira de préconiser des interventions douces n'ouvrant pas trop le peuplement. Le prélèvement maximal ne dépassera pas 25 % du volume sur pied. L'objectif est de prélever l'accroissement biologique dès lors que l'on est à l'équilibre. Il sera préférable de raccourcir les rotations afin, dans les peuplements trop capitalisés, de ne pas prélever plus de 5 m²/ha par coupe.

Les trouées seront le résultat de l'exploitation d'un ou de deux gros bois. Leur création ne doit pas avoir un caractère systématique.

Les taches de semis seront élargies en privilégiant les interventions dans les zones situées au sud et à l'ouest afin d'accroître l'apport oblique de la lumière.

Tous ces objectifs sont des guides de sylviculture mais non des normes. Plusieurs adaptations sont possibles. Par exemple le diamètre d'exploitabilité n'exclut pas le maintien de gros bois de fort diamètre. Ils peuvent être intéressants d'un point de vue économique.

Ce type de traitement nécessite un contrôle à posteriori pour appréhender les caractéristiques du peuplement (surface terrière, capital, régénération, qualité, répartition des catégories de diamètre, accroissements...). Le recueil de ces données passera souvent par la réalisation d'inventaires (en plein ou statistiques) et par l'emploi, si elle existe, d'une typologie.

1.3.2 *Rotation*

Le choix d'une rotation est conditionné par la station, le niveau de matériel sur pied, l'état du peuplement, les essences présentes (accroissement, richesse...) et les possibilités de commercialisation.

On peut retenir comme guide la fourchette de 6 à 10 ans (parfois 3 ans dans le cas d'une phase de transition avec une essence qui pousse vite tel le douglas). Les rotations les plus longues seront réservées pour les peuplements les plus pauvres afin de garantir la reconstitution du capital.

Pour les peuplements en équilibre, l'intérêt est de prélever l'accroissement biologique afin de ne pas capitaliser. Dans tous les cas, la rotation doit permettre de commercialiser suffisamment de bois pour réaliser des lots attractifs.

Notons que si les rotations sont espacées, il pourra être judicieux de prévoir un passage intermédiaire afin de pouvoir intervenir suffisamment tôt sur la régénération et le sous-étage.

1.3.3 *Les motifs de maintien ou de coupe*

Il s'agit ici de définir les raisons pouvant guider le gestionnaire dans ses choix. Il pourra :

Récolter les tiges arrivées à maturité avant qu'elles ne se déprécient.

Améliorer en favorisant une tige proche de meilleur potentiel, mieux adaptée à la station ou peu représentée dans le peuplement.

Enlever des arbres dépérissants, malades ou tarés et susceptibles de contaminer les voisins. S'il n'y a pas de risques pour les congénères, ces tiges pourront être conservées au titre de la biodiversité faunistique.

Assurer la régénération en mettant en lumière des semis acquis ou des perches d'avenir.

Mais le travail du gestionnaire ne se résume pas au choix des tiges à prélever. Plusieurs notions doivent le convaincre de laisser sur pied les tiges qui peuvent assurer :

La production future du peuplement.

L'éducation d'arbres de haute qualité se situant à proximité. Le rôle éducatif peut se porter également sur les semis et les perches.

La protection d'arbres de qualité à proximité. Leur rôle est alors de prévenir les coups de soleil et les dégâts de débardage, d'éviter l'apparition de gourmands et de protéger du vent. Une attention particulière sera à porter aux éventuels brins frotteurs.

Une régénération de qualité optimale en maintenant, comme semenciers, les tiges qui présentent une morphologie intéressante sur la station concernée.

Une diversité dans le peuplement en conservant les arbres d'essences rares ou les arbres dépérissants, creux ou à grosses branches afin de maintenir une grande mosaïque d'écosystèmes pour la faune et la flore associées.

Un équilibre durable du peuplement en recherchant le meilleur équilibre possible entre les structures de diamètre et les strates.

1.4 La gestion du sous-étage et le renouvellement

Le taillis : avec le sous-étage, il assure la production de bois de chauffage. Cependant il assure également un rôle sylvicole d'éducation et, en conséquence, il ne devra pas subir de coupes totales afin d'obtenir un dosage optimal de la lumière.

La lumière devra être suffisamment diffuse pour garantir la croissance de la régénération sans que la végétation concurrente n'envahisse le sol.

Les brins de taillis seront prélevés s'ils gênent le développement des perches et des petits bois ou s'ils frottent sur des tiges de qualité.

Dans tous les cas, le lot de bois de chauffage doit être commercialisable.

La coupe de taillis sera, si possible, couplée avec l'exploitation du bois d'œuvre.

Le taillis sera maintenu en faible proportion, de l'ordre de 2 à 3 m²/ha. Il pourra à terme être relayé par des perches et des petits bois.

La régénération : les processus naturels seront à privilégier dès lors que les essences en place constituent une bonne voie de valorisation de la station forestière. Ainsi, les variétés locales, adaptées au climat, seront maintenues.

La régénération naturelle se réalisera par une coupe de gros bois dont l'enlèvement fournira suffisamment de lumière diffuse au sol. Le travail sur semis acquis est à préconiser.

En cas de résultat insuffisant en quantité comme en qualité, il pourra être procédé à des enrichissements ponctuels par plantation dans de petites trouées.

Noter que la gestion irrégulière et la régénération naturelle ne sont possibles qu'en cas de gestion cynégétique rigoureuse.

1.5 Les travaux sylvicoles

Avec ce traitement sylvicole, les travaux onéreux en plein seront évités. Les interventions seront toujours diffuses et ponctuelles. Cette finesse d'action ne se conçoit qu'avec le recours à une main d'œuvre qualifiée.

Les travaux de dégagement, de dépressage et d'élitage sont ici des opérations sélectives réservées au seul profit des tiges d'avenir.

Les précautions suivantes deviennent particulièrement importantes dans une gestion irrégulière :

L'exploitation doit être respectueuse des sols et des tiges de valeur restées sur pied. Toujours réalisée en conditions météorologiques favorables, elle veillera également au respect des perches et des taches de régénération.

Les rémanents d'exploitation ne seront pas brûlés mais dispersés sur le sol pour assurer un retour lent des éléments minéraux, voire pour protéger la régénération ou recréer des habitats particuliers. Ils pourront judicieusement être disposés sur les cloisonnements d'exploitation pour limiter les dégâts portés au sol.

L'implantation de cloisonnements d'exploitation s'appuyant sur le réseau existant est impérative. Si leurs orientations ne sont pas obligatoirement strictement parallèles, leurs espacements devront être de 20 à 25 mètres avec une largeur minimale de 3 mètres. Ces cloisonnements serviront utilement pour un suivi plus précis et moins coûteux des peuplements.

La désignation d'arbres d'avenir peut se révéler utile si le peuplement possède une catégorie de bois en forte proportion. L'intérêt sera très fort, par exemple, dans un peuplement dominé par des petits bois qui n'ont pas tous une qualité satisfaisante.

1.6 Le suivi de la qualité

La valeur d'un arbre se concentre dans les premiers mètres du tronc. On la détermine par l'observation de critères tels que la rectitude, la présence de nœuds, de branches vivantes ou de singularités.

Selon le degré de précision souhaité, on peut attribuer une des catégories existantes A, B, C, D ou procéder à des regroupements (de type A-B/C-D).

De la détermination de la qualité découle l'optimisation d'une production se concentrant sur les tiges ayant de meilleurs prix unitaires et donc de meilleures promesses de gain.

Ainsi, la sylviculture irrégulière s'attache à concentrer l'accroissement biologique sur les tiges de qualité tout en garantissant un peuplement stable, mélangé en essences comme en catégories de diamètre. Certains peuplements gérés selon ce mode de traitement ont une part en volume de qualité A+B supérieure à 20 % et donc une part en valeur supérieure. Ce patrimoine est soumis à de fortes variations de valeur liées à la fluctuation des cours. C'est ce qui explique que l'on s'intéressera dans ce document aux impacts d'une variabilité des cours du bois sur les revenus nets du propriétaire.

2 Présentation du réseau AFI-ENGREF

En 1990, le groupe initiateur de l'Association Futaie Irrégulière (AFI) a souhaité lancer un processus d'étude pour expliquer les méthodes de gestion forestière basées sur la mise à profit de la dynamique naturelle et pour en établir des valeurs sylvicoles « guides ». L'installation d'un réseau de placettes fut menée sous le contrôle de l'ENGREF et rendue possible par l'appui administratif et financier des CRPF, SERFOB et des élus des régions Bourgogne et Franche-Comté.

Le 7 février 1991 fut créée l'AFI, association de type 1901 ayant pour objectif la promotion de la sylviculture irrégulière.

2.1 Le protocole AFI

2.1.1 Organisation du réseau

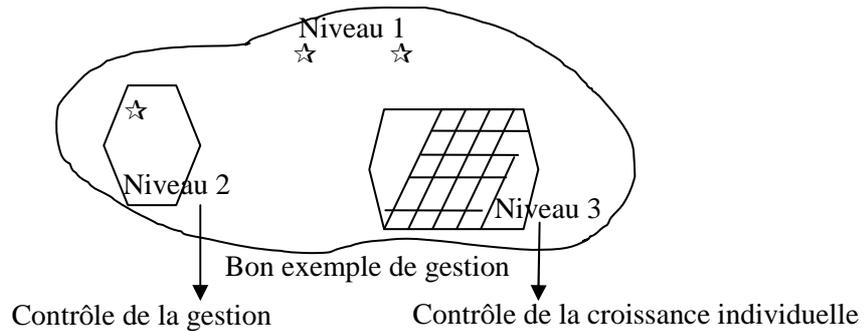
Le réseau, constitué de forêts ou de parcelles, est structuré en trois niveaux :

Le niveau 1 : il est constitué de forêts, de parcelles ou de peuplements qui peuvent être considérés comme de bons exemples de gestion irrégulière. Il peut également être constitué de placettes permettant de suivre un problème technique particulier. Dans ce premier niveau, les informations recueillies seront assez légères, le but étant de conserver une image chiffrée d'une zone jugée pédagogique. A l'issue du recensement, les peuplements les plus intéressants feront partie du deuxième niveau.

Le niveau 2 : Il est constitué de forêts ou de parcelles dans lesquelles est effectué un suivi dendrométrique (évolution de la composition en essences, production par catégories de produits) et économique (temps consacré, équilibre recettes/dépenses). Le but est d'analyser la rentabilité économique de la sylviculture. Certaines d'entre elles feront l'objet de mesures complémentaires et constitueront le troisième niveau.

Le niveau 3 : c'est le réseau de placettes de mesure. Sur ces forêts et parcelles de référence, des placettes permanentes seront mises en place. Elles permettront un suivi individuel des principales caractéristiques des arbres (diamètre, hauteur, caractéristiques du houppier...), ainsi qu'un suivi de la régénération. Chaque placette sera décrite au niveau stationnel. Certaines d'entre elles pourront être utilisées pour d'autres analyses du milieu (richesses spécifiques, importance du bois mort) et des conditions de croissance (selon les conditions microclimatiques).

Toutes les placettes de ce niveau font l'objet d'un protocole de mesures spécifique.



2.1.2 Le protocole de mesures de niveau 3

Chaque dispositif accueille 10 placettes installées de manière systématique et aléatoire selon un maillage qui s'adapte à la taille des parcelles (celles-ci devant avoir une surface de 4-5 ha afin d'éviter la remesure d'un arbre sur deux placettes différentes).

Les placettes sont à angle fixe. Ce type d'échantillonnage permet :

- De s'affranchir de l'imprécision liée à la mesure de la surface et de régler assez facilement le problème de la pente du terrain.
- D'assurer une bonne représentativité des mesures.
- D'extrapoler directement les mesures à l'échelle du peuplement.
- De mesurer une quinzaine d'arbres en moyenne (prise rapide des mesures).

Le facteur relascopeur très généralement retenu est le 1. Ainsi, sont comptabilisées les tiges dont le diamètre en cm est supérieur à deux fois la distance en mètres au centre de la placette. Lorsque la tige est proche du diamètre précomptable, on l'indique comme « arbre limite » et on la mesure.

Le centre des placettes est matérialisé à l'aide d'un piquet métallique suffisamment enfoncé afin que sa présence ne soit pas détectable lors des martelages.

La fréquence de mesure est fixée à cinq ans.

2.1.2.1 Les mesures prises à l'échelle de l'arbre

Les mesures suivantes sont prises sur le terrain :

Azimuth : angle, en grade, entre le Nord et la ligne virtuelle passant par le centre de la placette et le centre de la tige.

Distance : celle séparant le centre de la placette du centre de la tige.

Essence.

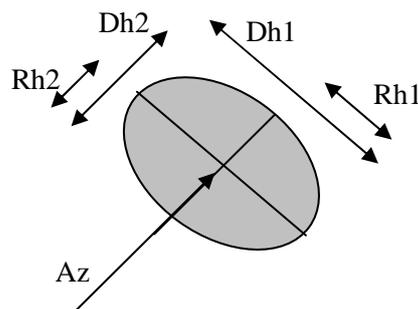
Diamètre : il est le résultat de la moyenne de deux mesures, l'une parallèle à l'azimut, l'autre perpendiculaire.

Qualité : estimée sur les trois premiers mètres de la grume et répartie dans l'une des quatre classes A, B, C et D.

Hauteur totale.

Hauteur houppier large : c'est la hauteur à laquelle le houppier est le plus large.

Dimension du houppier : 2 rayons et 2 diamètres sont mesurés sur la projection au sol des houppiers. Ces mesures sont systématiquement prises selon ce schéma :



2.1.2.2 Les mesures prises à l'échelle de la placette

D'autres mesures se focalisent sur :

Le taillis où l'on relève le nombre de brins par essence, le diamètre et la hauteur moyenne. Les mesures sont faites à vue d'œil.

Les perches (brins isolés d'au moins 30 cm de ses voisins et dont le diamètre à 1m30 est compris entre 7,5 et 17,5 cm). Sont relevés : l'essence, le diamètre, la hauteur totale et la qualité (répartie en 4 classes : A = perche d'avenir, B = récupérable, C = douteux et incertain et D = nul et sans avenir).

La régénération dont la présence est étudiée sur trois sous-placettes de 1,5 m de rayon (dont l'implantation répond systématiquement au même schéma). Le nombre d'individus rencontré est indiqué par essence, par classe de hauteur et de diamètre. Les classes se répartissent de la manière suivante :

- Semis de hauteur inférieure à 0,5 m
- Classe 1 : semis de hauteur comprise entre 0,5 et 1,5 m.
- Classe 2 : semis de hauteur supérieure à 1,5 m et de diamètre inférieur à 2,5 cm.
- Classe 3 : semis de hauteur supérieure à 1,5 m et de diamètre compris entre 2,5 et 7,5 cm.

Enfin, d'autres renseignements sont collectés tels que la surface, le gestionnaire, la description du milieu naturel, le bilan de la gestion passée et le suivi économique.

2.1.3 Les dispositifs de l'AFI

Il existe actuellement 76 parcelles de référence. Parmi ces dispositifs, 38 ont fait l'objet d'une seconde mesure et 11 d'entre eux ont même connu une troisième mesure. C'est ainsi plus de 10 000 arbres qui sont suivis. Leurs thématiques, problématiques particulières figurent en annexes 1, 2 et 3.

Les dispositifs sont répartis dans la grande moitié Nord de la France, le but étant d'essayer de couvrir au mieux les conditions stationnelles des différentes régions partenaires.

Les types de peuplements : ce sont principalement des peuplements feuillus et mélangés, composés en majorité de chênes sessiles, pédonculés et de hêtres (en fait 26 essences feuillues et 8 résineuses sont présentes). Souvent issus d'anciens taillis sous futaie, ils sont caractérisés par une dominance des bois moyens et des gros bois.

Les contextes stationnels : le réseau couvre une grande gamme de stations, des plus riches aux plus pauvres. Le regroupement des dispositifs peut se baser sur les types de sols et les conditions climatiques locales. Ces types sont les suivants :

- Les sols calcaires où le facteur déterminant est le climat (avec notamment le déficit hydrique estival).
- Les sols marneux.
- Les sols limono-argileux profonds où la réserve utile permet de s'affranchir des données climatiques mais où le gradient trophique est prépondérant.
- Les sols mésotrophes et hydromorphes classés selon le gradient trophique.
- Les sols caillouteux à éléments grossiers acides.
- Les sols acides pouvant être sableux.

Leurs contextes stationnels (thématiques) sont en annexes 1 et 2.

2.1.4 Les grandes orientations du réseau (stratégie et perspectives)

Le réseau est un outil de démonstration au sens statistique du terme. Il n'a pas vocation à fixer des modalités de gestion mais laisse les gestionnaires libres de leurs actions, les mesures effectuées devant permettre de caractériser leur gestion.

Les premiers dispositifs retenus illustraient des peuplements jugés dignes d'intérêt car présentant des modalités de bonne gestion en irrégulier. A côté de cela, d'autres dispositifs illustrant des problématiques particulières s'y sont ajoutés.

L'évolution actuelle tend à recenser et à retenir de nouveaux dispositifs situés dans le Nord et l'Ouest de la France afin d'augmenter les cas de figure et de diversifier les résultats obtenus (tel que les niveaux de matériel à l'hectare qui peuvent être foncièrement différents).

Pour l'avenir, et afin de ne pas rendre le réseau ingérable du fait d'un volume de travail trop important, l'ajout de nouveaux sites sera plus restrictif (originalité stationnelle, problématique précise intéressant de grandes surfaces). La localisation des nouveaux dispositifs figure en annexe 3.

Enfin, parmi les dispositifs existants, il sera procédé à une identification de ceux qui pourront être considérés comme « vitrine » et dans lesquels les efforts de l'AFI seront concentrés.

2.2 État actuel du réseau et apports en matière sylvicole

2.2.1 Apports dendrométriques

Les éléments présentés ci-après sont le résultat de l'analyse des mesures prises sur les dispositifs. Ils figurent dans les livrets techniques disponibles pour chaque dispositif AFI (BRUCIAMACCHIE et al, 2005).

La présentation suivante s'attache à résumer les principales données dendrométriques obtenues dans ce cadre.

2.2.1.1 Le capital sur pied

Le but du réseau est de fournir des niveaux de matériel à l'hectare qui permettent à la fois d'optimiser la production, d'assurer une bonne répartition en structure et d'avoir une régénération suffisante.

Les principales informations recueillies aboutissent aux conclusions suivantes :

- L'ensemble des gestionnaires travaille avec des niveaux de surface terrière des précomptables compris entre 12 et 20 m²/ha.
- Pour le chêne en contexte acide et/ou hydromorphe, l'installation d'une régénération diffuse ou en trouée s'obtient avec des niveaux de matériel à l'hectare de 12 à 15 m²/ha (accompagné de 2 à 3 m²/ha de taillis et 1 à 2 m²/ha de perches). La régénération apparaît plus délicate dans des contextes plus eutrophes. Ces données doivent être nuancées selon le climat local (fréquence des glandées...) et la pression du gibier.
- Pour le hêtre, hors contexte hydromorphe, la régénération s'obtient lorsque le matériel à l'hectare est compris entre 14 et 17 m²/ha.
- Dans tous les cas, il semble qu'il existe une corrélation inverse entre la densité du taillis et des perches et l'abondance de la régénération.
- Les taux de prélèvement sont de 15 à 25 % du matériel sur pied (avec la limite du prélèvement maximum de 5 m²/ha) alors que les rotations varient de 7 à 15 ans.

2.2.1.2 Les accroissements

Accroissement sur le diamètre : en futaie irrégulière, l'accroissement sur le diamètre est indépendant du diamètre de l'arbre et cela quels que soient le contexte stationnel et le niveau d'accroissement des arbres (BALLAND, 2004).

Les niveaux moyens obtenus vont de 0,3-0,5 cm/an pour le chêne pédonculé en contexte hydromorphe à 0,8-0,9 cm/an pour le chêne sessile en contexte limono-argileux profond.

Accroissement en surface terrière : les mesures sont hétérogènes et varient de 0,4 à 0,8 m²/ha/an. Il est lié au cru des arbres précomptables et au passage à la futaie. Les valeurs suivent une certaine logique stationnelle mais l'influence principale est liée à l'intensité du passage à la futaie.

Taux d'accroissement en surface terrière : c'est le rapport entre l'accroissement en surface terrière total et le niveau de matériel sur pied initial. Globalement, ces taux sont compris entre 3 et 5 % et sont fonction de la structure du peuplement ainsi que du passage à la futaie. Les valeurs permettent de caractériser la capacité de réaction des individus.

2.2.1.3 Gestion de la qualité

Le réseau permet de suivre l'évolution de l'importance des bois de qualité A+B en surface terrière. Ces qualités, mesurées sur les trois premiers mètres de la grume, sont réparties selon les catégories de diamètre et les contextes stationnels.

L'intérêt se situe également dans le suivi de l'accroissement des individus de qualité A+B. Le calcul effectué est alors :

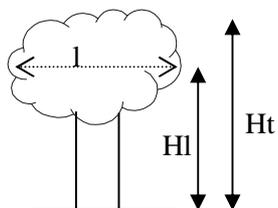
- Soit la part de l'accroissement en surface terrière des individus de qualité A+B par rapport à l'accroissement total. C'est « l'accroissement A+B ».
- Soit la part de l'accroissement en surface terrière des individus de qualité A+B ramenée à la surface terrière initiale des individus de qualité A+B. C'est le « taux d'accroissement A+B ».

Le suivi de ces indicateurs permet de caractériser la concentration progressive de l'accroissement sur les arbres de qualité. Il ne nécessite pas de connaître le niveau de qualité de départ (donnée liée à la gestion antérieure). C'est l'accroissement A+B qui dépend le moins de la gestion passée.

Dans le réseau AFI, les dispositifs ont actuellement des accroissements A+B variant de 19 à 38 %. Les taux d'accroissement A+B varient quant à eux de 0,5 à 2 %.

2.2.1.4 Houppiers et couverts

Deux mesures servent à caractériser un houppier :



Ht : hauteur totale

Hl : hauteur correspondant à la plus grande largeur du houppier.

Au dessus de Hl, on trouve la part de houppier qui reçoit le plus de lumière.

Alors que Ht peut varier de 10 mètres entre les stades petits bois et gros bois, Hl varie dans une moindre mesure (4 m en moyenne). Ainsi une gestion optimale devra s'attacher à favoriser la croissance en hauteur tant que la perche n'a pas atteint la hauteur Hl (en moyenne 15 mètres). Ensuite, il s'agira, par éclaircies progressives, de permettre le développement du houppier.

A partir de la mesure des houppiers peut se calculer le coefficient de couvert Cch :

$$Cch = \frac{\text{surface projetée au sol du houppier}}{\text{surface terrière de l'arbre}}$$

Ce coefficient, dépendant de l'essence, peut décroître rapidement avec la prise de diamètre et se stabiliser vers 40 cm. C'est le cas du hêtre, de l'érable sycomore, du charme, du tilleul et de la majorité des résineux. Il peut également ne diminuer que faiblement avec le diamètre : c'est le cas des chênes, du frêne, du merisier et du pin sylvestre.

Notons qu'à surface terrière égale, les bois moyens et les gros bois prennent moins de place que les petits bois.

2.2.2 Bilan économique

2.2.2.1 Les flux financiers

L'objectif du réseau AFI est ici de fournir des ordres de grandeur de recettes et de dépenses afin d'avoir des indications sur les besoins en trésorerie pour une gestion en futaie irrégulière.

Les données recueillies à l'échelle de la parcelle sont :

- L'année de départ du suivi.
- Les informations sur les coupes (rotation, année de réalisation, type, intensité, mode d'exploitation et prix de vente).
- Les autres recettes : chasse, subventions...
- Les informations sur les dépenses : travaux, frais fixes...

Le travail consiste ensuite à retenir les dispositifs représentatifs et à homogénéiser les données. L'étude montre que les dépenses globales sont de l'ordre de 30 €/ha/an sans jamais dépasser les 50 €/ha/an. Les frais de gestion représentent plus de la moitié de ces coûts. Les dépenses en travaux sont souvent inférieures à 1 heure/ha/an.

Les recettes brutes sont très variables (de 30 à 600 €/ha/an). Elles dépendent des circonstances particulières (vente de chablis, coupes sanitaires, décapitalisation) ou du capital sur pied.

A partir de la connaissance des dépenses et recettes, il est possible d'établir un compte d'exploitation pour chaque dispositif et de calculer un résultat net.

Ce travail montre que tous les dispositifs présentent un bilan positif et que les niveaux de réinvestissement sont en général inférieurs à 25 % (les recettes sont égales à quatre fois les dépenses).

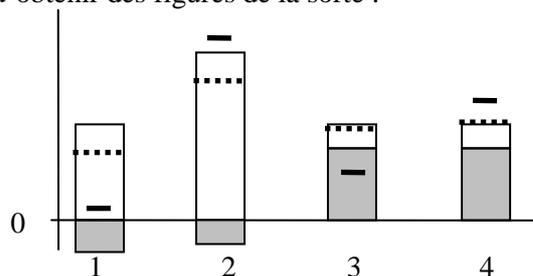
2.2.2.2 L'évolution de la valeur du capital

Ces données sont extrapolées des inventaires sur des placettes permanentes réalisés tous les cinq ans (BRUCIAMACCHIE et al, 2005). Les comparaisons permettent de suivre les évolutions de la valeur de consommation VC et de la valeur potentielle VP (la signification et le mode de calcul de ces valeurs techniques sont donnés à la page 32 du présent document). **Ces valeurs sont obtenues à partir de prix unitaires fixes** (les prix de chacune des essences selon les classes de diamètre ont fait l'objet d'une concertation avec les gestionnaires de l'AFI).

Les résultats obtenus ne sont évidemment interprétables qu'à l'échelle du dispositif étudié et ne permettent pas de réaliser des comparaisons.

L'intérêt est de suivre l'évolution et de vérifier que la valeur se concentre dans les gros bois de qualité et que la valeur du sous-étage régresse.

Il est possible de comparer l'évolution du capital avec le compte d'exploitation, ce qui permet d'obtenir des figures de la sorte :



Histogramme gris : évolution de la valeur de consommation du capital sur pied.

Histogramme blanc : résultat net du compte d'exploitation.

Trait pointillé : somme du résultat net et de l'évolution de la VC.

Trait continu : somme du résultat net et de l'évolution de la VP.

Quatre cas se distinguent :

- 1- Dispositif ayant connu la tempête et où la VC décroît. La vente des chablis donne un résultat positif mais les tiges touchées n'étaient pas à maturité et c'est le potentiel futur de la parcelle qui est touché.
- 2- Dispositif connaissant une décapitalisation volontaire ôtant les tiges de mauvaise qualité (la VP est supérieure à la VC).
- 3- Dispositif en lente capitalisation mais où les coupes ne sont pas assez nombreuses pour valoriser les tiges de qualité (la VP est toujours inférieure à la VC).
- 4- Dispositif illustrant la bonne gestion de la qualité. Les coupes ont valorisé les meilleurs individus tout en permettant au capital sur pied de s'accroître.

2.2.3 Détail sur les volumes et valeurs de consommation

2.2.3.1 Vérification de la représentativité des placettes

Le traitement des données des placettes permanentes doit refléter au mieux la réalité du terrain.

Des études précédentes ont montré la fiabilité des placettes permanentes comme outil de prédiction de la surface terrière du peuplement et du taux de prélèvement lors de coupes (BALLAND, 2004).

Le même type de raisonnement est réalisé ici pour tester la fiabilité en matière de volume exploité et de prix unitaires déclarés.

Pour savoir si les écarts constatés étaient significatifs, il a été procédé à la réalisation d'un test de comparaison de moyennes (t de Student). La procédure bilatérale a été retenue pour valider l'hypothèse d'égalité des moyennes au seuil de 10 % avec un nombre degré de liberté de 10 (avec n=11 natures de produits étudiés).

Rappelons que cette hypothèse se vérifie si le t observé est inférieur à 1,38.

Les différences calculées le sont par rapport aux valeurs estimées.

Dispositif	Nature des produits	Année de coupe	Volume déclaré (m ³ /ha)	Volume estimé (m ³ /ha)	Différence	t obs	PU réel	PU estimé	Différence	t obs
03 Chamberceau	Chêne-Hêtre BM	1999	7,0	7,0	0%	0,00	16,8	18,7	-10%	0,82
	Chêne-Hêtre GB	1999	11,2	11,6	-3%	0,20	54,9	65,7	-16%	1,62
05-Gergy	Chêne	2000	11,5	12,0	-4%	0,21	52,0	52,5	-1%	0,02
06- Quinquengrogne	Hêtre PB	2000	4,9	4,8	1%	0,03	6,0	7,4	-19%	1,54
	Hêtre BM	2000	3,7	3,4	8%	0,26	12,0	19,0	-37%	1,75
08-Renardières	Chêne	2001	15,2	15,9	-4%	0,18	94,2	78,5	20%	0,85
12-Grand Bois	Hêtre BM	2002	3,3	3,4	-3%	0,06	13,8	15,6	-12%	0,94
54-Marchenoir	Chêne B	2002	3,2	3,2	1%	0,05	213,0	204,0	4%	2,72
	Chêne C	2002	3,7	3,4	9%	0,26	58,0	58,0	0%	0,01
	Chêne D	2002	2,6	2,4	7%	0,15	38,0	16,0	138%	5,34
09-Remilly	Chêne	2004	16,8	15,6	8%	0,44	78,2	81,6	-4%	0,40

Tableau 1 : Validité des placettes statistiques sur les volumes.

Les résultats sont concluants en ce qui concerne les volumes. Les écarts sont relativement faibles (et ceci d'autant plus que le volume estimé est obtenu à l'aide d'un tarif de cubage pour les bois sur pied alors que la valeur déclarée correspond à un cubage bord de route). Pour tous les dispositifs, le t observé est inférieur à 1,38. Ces écarts de moyennes ne sont donc pas significatifs.

En ce qui concerne les prix unitaires, outil de détermination de la valeur de consommation, les résultats sont plus disparates. La moitié des écarts ne sont pas significatifs au seuil de 10 %. Les autres sont significatifs (ils figurent en gras dans le tableau précédent).

Ainsi il apparaît clairement que les placettes permanentes rendent compte de la surface terrière et des volumes du peuplement mais pas des prix unitaires des bois qui les composent. Il existe donc bien un facteur d'opportunité lié à la commercialisation, facteur qui nous appartiendra de mettre en évidence.

2.2.3.2 La variabilité des prix unitaires

L'analyse statistique précédente montre que l'utilisation des moyennes de prix AFI peut produire des écarts significatifs par rapport à la réalité commerciale.

Les raisons de ces écarts peuvent être :

- ↳ L'effet post-tempête avec son corollaire la chute des prix. C'est le cas notamment à la Quinquengrogne et à Chamberceau.
- ↳ L'effet d'une chute durable des cours suite à des modifications du marché. L'exemple ici est la baisse des prix du hêtre détectée sur le dispositif de Grand Bois.
- ↳ L'effet d'opportunité permettant de valoriser ponctuellement un produit. L'exemple de la très belle commercialisation des chênes de qualité D du dispositif de Marchenoir l'illustre parfaitement.

Ces données introduisent la notion d'avenir incertain. Peut-on continuer à estimer que les cours des bois sont constants ou devons nous essayer d'intégrer la variabilité des prix dans les calculs économiques du réseau Association Futaie Irrégulière (AFI).

3 L'apport de la théorie financière

La majorité des calculs économiques du domaine forestier considère que les prix unitaires du bois dépendent de l'essence considérée, du diamètre du produit commercialisé et de sa qualité. En réalité, ils dépendent aussi du marché. Dans le cas de l'achat, de la vente d'une forêt ou bien dans le cas du calcul de l'indemnité liée à un préjudice, les experts forestiers calculent des moyennes mobiles des prix unitaires moyens afin de lisser les variations annuelles. Par contre lors des ventes de bois, les prix dépendent de l'année en cours. Ainsi, lorsque l'on calcule un bilan financier, on a à la fois un revenu net qui est fonction des cours annuels du bois, et une évolution du capital qui est calculée à partir de prix lissés.

La mesure de l'impact de ces deux sources de prix unitaires dans les différents calculs d'estimations forestières nous a conduit à nous intéresser à ceux réalisés dans un domaine qui valorise la fluctuation : la finance.

3.1 Notion sur les options financières

3.1.1 Définition de base et concepts

Dans le domaine financier, une décision d'investissement se fonde sur la recherche d'un compromis entre une rentabilité que l'on souhaite la plus forte possible et un risque que l'on espère le plus faible possible. Traduire en termes scientifiques ce dilemme est l'objet de la théorie financière.

Ces notions d'arbitrage, de choix possibles, ont fait naître la notion d'option. L'ingénierie financière a établi différents contrats d'options, c'est-à-dire une formalisation des choix en condition d'incertitude par le biais d'un engagement financier (QUITTARD-PINON, 1994).

Tout d'abord, définissons la nature ainsi que les principales caractéristiques des contrats classiques d'options (NAVATTE, 1998). Il existe deux contrats d'options différents :

- Les options d'achat (calls) qui donnent à leur porteur le droit mais non l'obligation d'acheter un actif donné (actif sous-jacent, actif support) à un prix déterminé à l'avance (prix d'exercice).
- Les options de vente (puts) qui donnent à leur détenteur le droit de vendre un actif donné à un prix déterminé à l'avance.

Inhérente à ces principes, se dégage une notion de flexibilité, une couverture des risques liée à la possibilité en cas de perte de ne pas exercer l'option. C'est la concrétisation des notions de spéculation et d'arbitrage (choix).

Une autre distinction concerne le temps de validité de l'option. Elle est *européenne* si son détenteur ne peut exercer son droit d'achat ou de vente qu'à une date unique précisée à l'avance. Si elle peut être exercée à tout moment avant (et le jour de) sa date de validité, l'option est dite *américaine*.

L'actif sous-jacent à l'option peut être de nature très diverse : une action, une obligation, un bon du trésor, une matière première, une devise, un contrat...

Au moment de l'acquisition du contrat d'options, l'acheteur verse au vendeur une prime dont le montant est égal à la valeur du marché de l'option, résultant de l'équilibre entre l'offre et de la demande au moment de la transaction. Cette prime peut être interprétée comme le prix de l'assurance contre les pertes potentielles occasionnées par une évolution défavorable du sous-jacent.

Exemple simplificateur mais illustratif :

Je souhaite acheter une maison dont la valeur négociée aujourd'hui est de 200.000 € (prix du sous-jacent). Je signe un contrat d'options d'achat devant me permettre d'acheter ce bien dans 3 mois (date de validité) au prix convenu de 200.000 € (devenant ainsi le prix d'exercice) et pour cela je verse 10% (les arrhes). Cette somme est la prime ou valeur de l'option d'achat. Imaginons une forte variation du marché, au bout des 3 mois, si le bien vaut moins de 180.000 €

(200.000 moins 10%), j'ai le choix de ne pas honorer le contrat. Je perds la prime mais j'évite de perdre plus à cause du marché.

Les diagrammes dits de Bachelier vont nous aider à clarifier ces notions et la dynamique qui en résulte (CHAVET, 2004). Auparavant, tentons de résumer les possibilités élémentaires qui s'offrent à l'acheteur.

Posons S_T : le niveau du cours de l'actif à l'instant T et X : le prix d'exercice.

	t = 0	t à expiration (t=T)
		$S_T < X$ $S_T > X$
Acheteur d'un call de valeur de prime « Prime0 »	<ul style="list-style-type: none"> • Paie la prime Prime0 • Obtient le droit d'exercer l'option 	<ul style="list-style-type: none"> • N'exerce pas l'option • Perte = Prime0 • Exerce son option et achète le sous-jacent • Profit brut = $S_T - X$ • Profit net = $S_T - X - \text{Prime0}$

Graphiquement, nous pouvons représenter l'évolution de ces choix de la manière suivante :

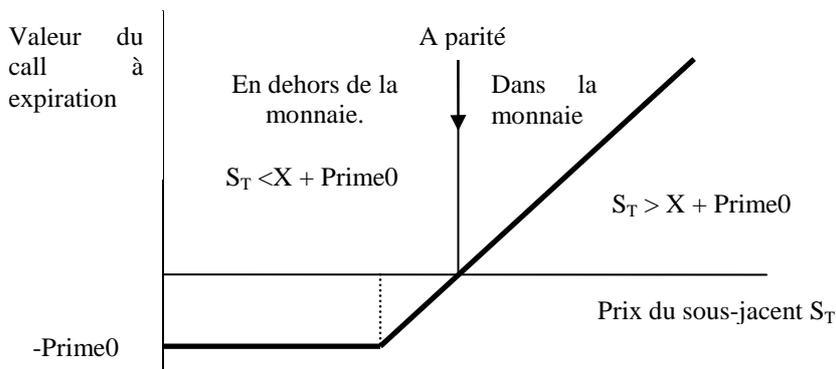


Diagramme 1 : représentation de Bachelier

- En dehors de la monnaie : l'évolution du cours du sous-jacent ne compense pas le prix d'exercice fixé et la prime versée. L'option ne sera pas réalisée.
- Dans la monnaie : les cours sont suffisamment à la hausse pour compenser le prix d'exercice et la prime. L'option est réalisée au moment jugé opportun par l'acheteur.

La valeur de l'option varie au cours du temps. La capacité de déterminer avec précision les valeurs des options à tout moment est alors essentielle. Il est possible, moyennant l'emploi des modèles théoriques et du raisonnement dit d'arbitrage, d'établir le juste montant de la prime d'option. Nous verrons ces calculs par la suite.

Intuitivement, les actifs ont une valeur qui n'est jamais négative. Cependant il existe une probabilité infime que cette valeur tende, sinon vers l'infini, au moins vers de très hauts niveaux. La distribution de ces valeurs est donc de type lognormal (DELBARADE, 1995).

Posons S_T : le niveau du cours de l'actif à l'instant T

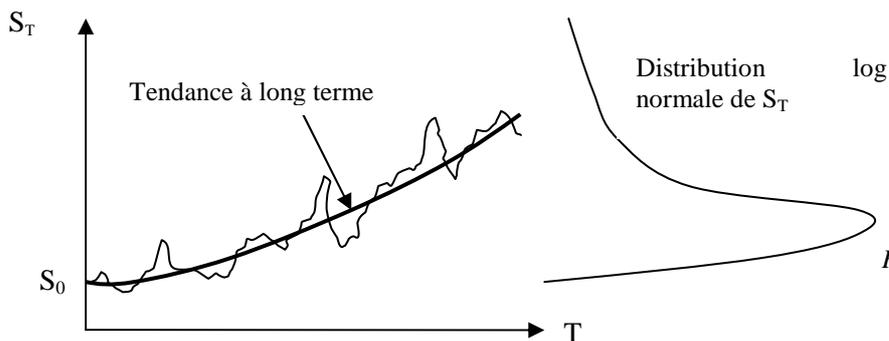


Figure 2 : Evolution du cours en fonction du temps

La moyenne de S_T s'écrit : $E(S_T) = S_0 e^{\mu T}$

La variance s'écrit :

$$\text{Var}(S_T) = e^{2\mu T}(e^{\sigma^2 T} - 1)$$

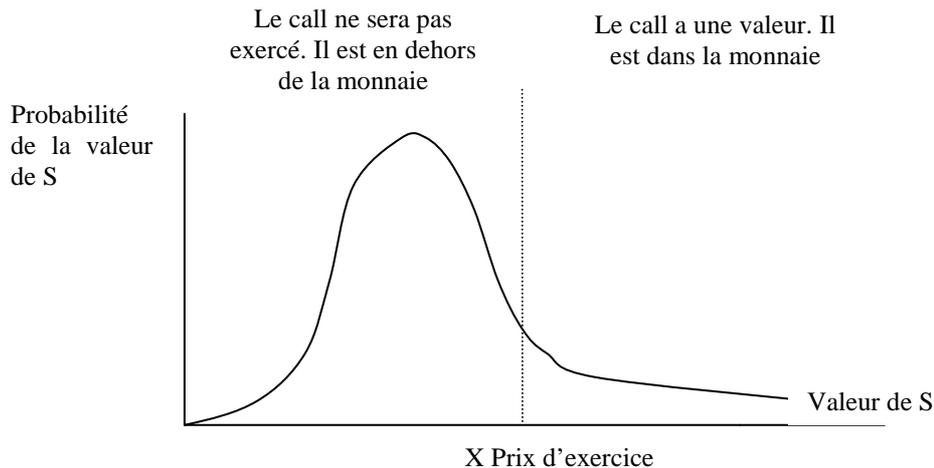


Figure 3 : Probabilité que le cours prenne la valeur S

3.1.2 Notion sur les options réelles

Les options sont dites « réelles » quand elles concernent des ressources naturelles (pétrole, or, bois...). Le sous-jacent devient donc la réserve constituée par la ressource dont la valeur repose sur deux variables : la quantité exploitable et le prix unitaire de la ressource. Les actifs sont alors dits « réels ». La théorie des options réelles est utilisée pour évaluer les choix des investissements privés et publics. Dans le même esprit que précédemment, la valeur des options réelles dépend essentiellement de cinq variables (CHAVET, 2004) :

La valeur du sous-jacent : c'est la valeur du support.

Le prix d'exercice : c'est le prix que l'on paie à terme pour avoir le droit d'exercer l'option (d'acheter le sous-jacent).

La durée d'expiration de l'option : elle influence directement la valeur de l'option car elle augmente la probabilité de voir les cours monter.

L'écart type de la valeur du sous-jacent (volatilité) : en oscillant, la valeur du sous-jacent peut monter fortement et la valeur de l'option s'accroît.

Le taux d'intérêt sans risque : c'est le meilleur taux des placements sûrs, il correspond au rendement des obligations d'État.

L'avantage principal de la méthode des options réelles réside dans le fait qu'elle permet de prendre en compte la flexibilité, la volatilité des revenus et l'existence de choix stratégiques tout au long de la vie du projet et de valoriser ces éléments.

La principale différence avec le concept d'options financières classiques repose sur le mode d'évaluation des actifs. Un actif financier s'appuie sur un sous-jacent transigé tous les jours sur les marchés financiers tandis qu'un actif réel fait l'objet de transactions plus restreintes et a un cours qui varie moins dans le temps (DIXIT et PINDYCK, 1993).

3.1.3 La dynamique des actifs réels

Le modèle d'évaluation des actifs réels constitue, en fait, le cœur d'une théorie de la valeur dans un environnement risqué.

L'évolution du prix du sous-jacent s'effectue autour d'une tendance déterministe, provoquée par le passage du temps, à laquelle s'ajoutent continuellement des déviations aléatoires de type gaussien, d'autant plus fortes que la volatilité est élevée.

L'évaluation d'options réelles peut se réaliser de manière élémentaire.

3.1.3.1 Évaluation simple d'un call de report

Cela consiste à évaluer le coût d'un report d'investissement. Le projet serait l'achat d'une parcelle de forêt (4.000 €) et la vente des bois dans l'année (250 m³ à 20€ le m³). Les prix unitaires sur la période ont 50% de chance de monter à 30€ ou de descendre à 10€.

Le Bénéfice Net Actualisé du projet, s'il est réalisé tout de suite, est :

$$BNA_1 = -4000 + \left(\frac{0,5 \times 30 + 0,5 \times 10}{1,04} \right) \times 250 = 807 \text{ €}$$

Avec les options réelles, l'acheteur aura le choix de reculer ou d'avancer l'achat selon les cours. S'il attend un an, le nouveau BNA peut se formuler de la sorte :

$$\begin{aligned} BNA_2 &= 0,5 \times \max\left(\frac{-4000 + 30 \times 250}{1,04}\right) + 0,5 \times \max\left(\frac{-4000 + 10 \times 250}{1,04}\right) \\ &= 0,5 \max(3365) + 0,5 \max(-1442) \\ &= 1.682 \text{ €} \end{aligned}$$

La valeur de l'option de report d'un an est alors

$$BNA_2 - BNA_1 = 1682 - 807 = 875 \text{ €}$$

Ce modèle simple (simpliste) a le mérite de valoriser la flexibilité de l'acheteur. C'est la probabilité à la hausse qui valorise l'option.

L'évolution des actifs est ici évaluée « à dire d'expert » et aboutit ici à des prévisions d'évolution de type « le prix à x% de chances de passer à X€ ». Existe-t-il des modèles mathématiques capables d'appréhender ces variations ?

3.1.3.2 La formule analytique d'évaluation de BLACK et SHOLES

La méthode d'évaluation par arbitrage des contrats optionnels a été proposée pour la première fois par Fischer BLACK et Myron SHOLES (1973). La formule analytique pour les options a été aussitôt acceptée par les praticiens.

L'actif sous-jacent a un cours qui est modélisé dans le temps par un processus aléatoire (variable aléatoire) ou S_t est solution de l'équation :

$$dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t dB_t \quad \text{avec :}$$

μ : coefficient de dérive

σ : volatilité de l'actif

dB_t : accroissement d'un processus de Wiener dans lequel B_t est un mouvement brownien.

La construction du modèle a nécessité la formalisation des hypothèses suivantes :

- ✓ Il n'y a pas de coûts de transaction
- ✓ L'acquisition d'information est gratuite

- ✓ Les actifs sont parfaitement divisibles
- ✓ Le marché est accessible en continu. Son taux de rendement r est connu et constant dans le temps.
- ✓ Seul le prix de l'actif sous-jacent est une variable stochastique qui affecte la valeur de l'option de manière aléatoire.

Le prix d'une option d'achat (d'un call européen C) est donné par la formule suivante :

$$C = SN \left(\underbrace{\frac{\ln\left(\frac{S}{E}\right) + \left(r + \frac{1}{2}\sigma^2\right)t}{\sigma\sqrt{t}}}_{d1} \right) - Ee^{-rt} N \left(\underbrace{\frac{\ln\left(\frac{S}{E}\right) + \left(r + \frac{1}{2}\sigma^2\right)t}{\sigma\sqrt{t}} - \sigma\sqrt{t}}_{d2} \right)$$

où

- C est la valeur du call
- S est le prix de l'actif sous-jacent
- E est le prix d'exercice de l'option
- σ est la volatilité du prix de l'actif sous-jacent
- t est le temps restant avant échéance (maturité de l'option)
- r est le taux d'intérêt sans risque
- Et N est la fonction de répartition d'une loi normale centrée réduite.

C est le prix que l'on est prêt à payer aujourd'hui pour avoir le droit d'acheter le sous-jacent à la date t au prix X convenu (ce qui correspond à exercer l'option).

Le premier terme de la formule indique qu'il s'agit de la valeur espérée de S . $N(d1)$ correspond au nombre de sous-jacents nécessaires de manière à équilibrer un portefeuille pour qu'il rapporte de façon certaine le taux r (c'est-à-dire à son ratio de couverture).

Le second terme indique qu'il s'agit de la valeur actuelle du coût de l'investissement. $N(d2)$ est la probabilité d'exercice du call.

De la même manière, le prix d'une option de vente (d'un put européen P) est :

$$P = Ee^{-rt} N \left(-\frac{\ln\left(\frac{S}{E}\right) + \left(r + \frac{1}{2}\sigma^2\right)t}{\sigma\sqrt{t}} + \sigma\sqrt{t} \right) - SN \left(-\frac{\ln\left(\frac{S}{E}\right) + \left(r + \frac{1}{2}\sigma^2\right)t}{\sigma\sqrt{t}} \right)$$

Très largement utilisé, ce modèle historique est à l'origine de nombreuses formulations alternatives donnant naissance à d'autres modèles. La partie suivante présente l'un des principaux.

3.1.3.3 Le modèle du treillis binomial de COX, ROSS et RUBINSTEIN

Il est construit à partir du modèle multiplicatif défini par :

$$S_{t+1} = u_t \cdot S_t$$

A l'issue d'une période élémentaire, la valeur s'accroît d'un écart haussier (up) ou descend d'un écart baissier (down). Par cette démarche, les bornes inférieures et supérieures du cours du sous-jacent sont définies.

Détermination de ces écarts :

La variable U_t est lognormale. Posons $w_t = \ln U_t$

On peut écrire :

$$\begin{aligned}
 U_t &= e^{w_t} \\
 E(w_t) &= v \\
 \text{Var}(w_t) &= \sigma^2 \\
 E(U_t) &= e^{v+1/2\sigma^2}
 \end{aligned}$$

La probabilité d'évolution du cours de l'actif, l'écart haussier et l'écart baissier sont donnés par les formules suivantes:

$$\begin{aligned}
 p &= 1/2 + \frac{1/2}{\sqrt{\sigma^2/(v^2\Delta t)+1}} \\
 \ln(up) &= \sqrt{\sigma^2\Delta t + (v\Delta t)^2} \\
 \ln(down) &= -\sqrt{\sigma^2\Delta t + (v\Delta t)^2}
 \end{aligned}$$

On définit également la probabilité de risque neutre q . Pour que les résultats à la date $t+1$ soient identiques à la hausse comme à la baisse, on souhaite avoir un portefeuille stable tel que les variations de valeur de l'actif et du call sur celui-ci soient stables, c'est-à-dire que les variations de valeurs se compensent, que le titre monte ou baisse.

- Si le titre monte $\delta S_0 \times up - C_u$
- Si le titre baisse $\delta S_0 \times down - C_d$

C_u et C_d indiquent la valeur du call à $t=1$ si le marché a monté ou baissé.

δ est le ratio de couverture (c'est l'équivalent de la quantité $N(d1)$ du modèle BLACK et SCHOLES).

De ce type de calculs, il est possible de définir q , la probabilité de risque neutre :

$$q = \frac{1+r-d}{u-d}$$

Lorsque l'on connaît les prix que pourrait avoir le sous-jacent au bout de la durée d'option, on soustrait de ces valeurs le prix d'exercice et on obtient la valeur du call à cette date. Pour avoir la valeur à l'époque du calcul (année 0), on applique la formule suivante :

$$C_t = \frac{q \times C_{u,t+1} + (1-q) \times C_{d,t+1}}{e^r} \quad (\text{formule 1})$$

Exemple : soit un arbre qui vaut 62€ (S_0) auquel on fixe un prix d'exercice de 60€. Les calculs fournissent un écart haussier $u=1,06$ et un écart baissier $d=0,94$. Dans l'exemple $q=0,56$ et $r=10\%$.

St						
Date	0	1	2	3	4	5
	62	66	70	74	78	83
		58	62	65	69	74
			55	58	62	65
				51	55	58
					48	51
						46

C _t						
Date	0	1	2	3	4	5
	6	8	11	15	19	23
		3	5	7	10	14
			1	2	3	06
				0	0	0
					0	0
						0

détail du calcul :		
Date	0	1
	62	=62×1,06=66 ...
		=62×0,94=58

Par itération on obtient le treillis des prix possibles. On prend la dernière colonne et on retranche le prix d'exercice 60€. La valeur obtenue doit être positive ou nulle pour exercer l'option.

Date	4	5
	19	$\frac{0,56 \times 23 + 0,44 \times 14}{e^{0,1}}$

(formule 1)

L'option d'acheter l'arbre au prix de 60€ dans 5 ans vaut 6€.

Ainsi, il existe plusieurs méthodes pour quantifier l'évolution d'un actif sous-jacent. Comment sont ils applicables aux calculs économiques forestiers ?

3.2 Application au domaine forestier

Traditionnellement, les calculs économiques forestiers concernent l'établissement de bénéfices nets actualisés (BNA). Cette démarche valorise et actualise les dépenses et recettes mais en estimant que le futur est certain (ou en prenant des valeurs espérées fixes).

Les calculs suivants traduisent les effets d'un avenir incertain.

3.2.1 Exemples de calculs financiers

3.2.1.1 Par emploi du treillis binomial

Pour l'illustration de cette méthode, travaillons avec un chêne de qualité B qui présente aujourd'hui un volume de 3,2 m³ et un prix unitaire de 185 € (soit une valeur de 592 €).

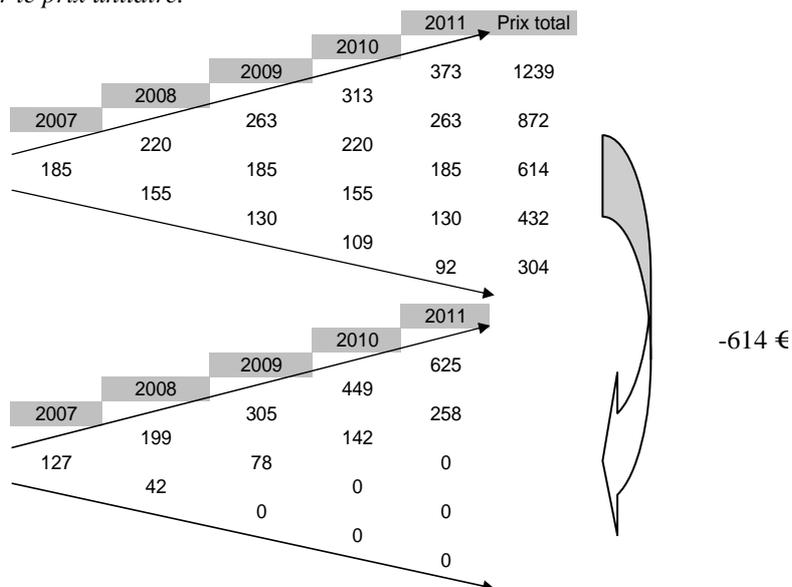
Notre arbre a un accroissement de volume constant sur la période et égal à 0,03 m³ par an.

Le prix d'exercice pour un achat dans 4 ans est conclu sur la base du prix actuel du sous-jacent soit :

$$(3,2+4 \times 0,03) \times 185 = 614 \text{ €}$$

Son prix unitaire varie donc dans le treillis binomial comme suit :

Dans la dernière colonne (« Prix Total ») figure la valeur de consommation qui est égale au volume (y compris l'accroissement) multiplié par le prix unitaire.



	valeur
E(wt)	0,0002
Variance	0,031
E(ut)	1,016
p	0,501
1-p	0,499
Ln(u)	0,175
Ln(d)	0,175
up	1,192
down	0,839
q	0,570

Les valeurs présentées ici sont obtenues à partir des prix moyens des chênes donnés par l'ONF et couvrant la période de 1971 à nos jours.

On applique alors les formules décrites au paragraphe 3.1.3.3. pour obtenir d'abord l'espérance et la variance de wt puis de ut. A partir de là, on détermine la probabilité d'évolution des cours puis les écarts haussier et baissier pour enfin calculer la probabilité à risque neutre q qui nous donnera l'évolution des call avec la formule suivante :

$$C_t = \frac{q \times C_{t+1u} + (1-q) \times C_{t+1d}}{1+r}$$

Exemple : $C_{2010} = (0,57 \times 625 + 0,43 \times 258) / e^{0,04} = 449 \text{ €}$

Ainsi, pour pouvoir acheter l'arbre en 2011 au prix d'exercice de 614 €, je suis prêt à verser 127 € (je crois que le prix unitaire du m³ passera de 185 à 223 € soit une augmentation de 21% en 5 ans).

Notons qu'il est possible de réaliser ces calculs de manière directe. Il suffit de remarquer que le nombre de manières de choisir j hausses parmi n variations est :

$$C_n^j = \frac{n!}{j!(n-j)!}$$

D'après la loi binomiale la probabilité que x (nombre de hausses) soit égale à j est :

$$P[x = j] = \frac{n!}{j!(n-j)!} p^j (1-p)^{n-j}$$

La valeur de l'option devient :

$$C = e^{-rt} \sum_{j=0}^n \frac{n!}{j!(n-j)!} p^j (1-p)^{n-j} \times \text{Max}(0, u^j d^{n-j} P_0 - X)$$

avec P₀ prix initial et X prix d'exercice

Remarquons enfin que, quand n devient grand, la loi binomiale tend vers une loi normale et que la formule précédente tend vers celle de BLACK et SCHOLES.

3.2.1.2 Par emploi de la formule de BLACK et SCHOLES

Fixation des formules et simplification

Une forêt ou un arbre peut être considéré comme un call car c'est l'option d'attendre pendant une certaine durée t, la possibilité de récolter, au prix du marché prévalant à cette époque, les volumes disponibles. Le prix de revient est alors le prix d'exercice de cette option.

En environnement certain, l'évolution des prix est figurée sur le diagramme 2 (avec r le taux d'actualisation et t le temps écoulé):

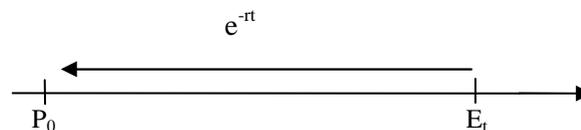


Diagramme 2 : Evolution du prix en fonction du temps

$$C_t = \max(P_t - E_t, 0) \times e^{-rt}$$

$$C_t = P_t e^{-rt} - E_t e^{-rt}$$

$$C_t = P_0 - E_t e^{-rt}$$

En environnement incertain, la formule de BLACK et SCHOLES permet de réaliser des ajustements nous ramenant en quelque sorte à une situation de certitude.

La formule de BLACK et SCHOLES s'écrit :

$$C_t = P_t \times N(d_1) - E_t \times e^{-rt} \times N(d_2)$$

$$C_t = (P_0 \times N(d_1) - E_t \times (1+r)^{-t} \times N(d_2))$$

(les deux formules sont équivalentes, $(1+r)^{-t}$ est le développement limité de e^{-rt}).

Tous les calculs précédents s'appliquent au m³ de bois. Pour ramener le call à l'échelle de l'arbre il nous faut multiplier la valeur du call obtenue pour un m³ (C_t) par le volume qu'a l'arbre à l'instant t (V_t).

On introduit donc O_t la valeur de l'option sur l'arbre :

$$O_t = V_t \times C_t$$

Les variables de la formule de BLACK et SCHOLLES sont :

V_t : volume de l'arbre pour lequel est calculée l'option

P_0 : prix du bois par mètre cube à l'année 0

P_t : prix du bois par mètre cube à l'année t

r : le taux (au besoin indexé) de rendement sans risque des marchés financiers pour une durée équivalente (par exemple le taux de rendement garanti par l'État sur des emprunts ou obligations d'État). L'appellation financière de ce taux convient peu au domaine forestier où le risque nul n'existe pas. Dans l'esprit il correspond au rendement espéré c'est-à-dire au taux d'actualisation utilisé en foresterie (le réseau AFI a retenu une valeur de 4 %).

c : le taux maximal de placement. C'est le taux auquel on estime que l'argent investi dans la forêt (pour la création et l'entretien) peut rapporter au maximum. La référence au taux des meilleurs produits financiers nous amène à fixer sa valeur à 7,5 %. La valeur prise pour ce taux doit prendre en compte la fiscalité pesant sur la forêt.

E_t : coût d'exercice en euros courants par mètre cube de bois sur pied au début de l'année t et par hectare.

D'après les travaux de Warren HUGUES (2000), on suppose que E_t est la somme des coûts, capitalisés à l'année t au taux r , que devra supporter le propriétaire pour obtenir l'arbre (le peuplement) souhaité. Il nécessite donc le calcul des coûts de chaque année ou dépense annuelle d_a et des coûts cumulés ou dépenses cumulées d_c , actualisés au taux c et depuis l'année 0 (année du calcul)

$$E_t = \frac{d_{ct}}{V_t}$$

$$d_{ct} = d_a + d_{ct-1}(1+c)$$

$$d_{ct} = d_a \times \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

d_a , la dépense annuelle est prise comme fixe et considérée comme liée à la surface (les frais de garderie, de martelage sont les mêmes pour chaque tige que l'on se doit d'observer à chaque passage) Il est possible de les ramener au volume unitaire de l'arbre (en divisant par le volume à l'hectare présent sur la parcelle).

Notons que les éventuelles recettes intermédiaires (produits d'éclaircies...) sont comptabilisées comme des coûts négatifs.

$N()$: est la fonction de répartition de la loi normale centrée réduite

$$N(d) = \int_{-\infty}^d \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz$$

d_1 : coefficient dont la valeur, par la loi normale $N(d_1)$ correspond au ratio de couverture du sous-jacent (cf partie 3.1.3.2).

$$d_1 = \frac{1}{\sigma\sqrt{t}} \left[\ln\left(\frac{P_t}{E_t}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)t \right]$$

d_2 : coefficient dont la valeur, par la loi normale $N(d_2)$ correspond à la probabilité d'exercice du call.

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t}$$

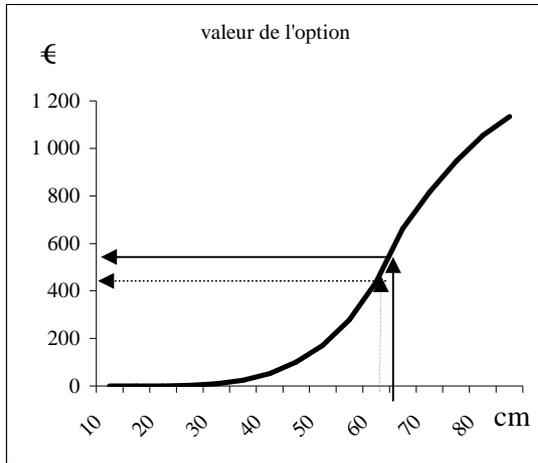
σ : volatilité du cours du sous-jacent. Vu l'importance de cette variable, la partie 3.3.2 du document lui sera consacrée.

A l'aide d'un fichier Excel, nous avons réalisé le calcul de la valeur d'option O_t en ayant soin de pouvoir faire varier les différents paramètres que sont les taux, la volatilité, la qualité ainsi que les

charges à l'hectare. Pour ces dernières, nous avons pris l'exemple d'un dispositif de l'AFI (Chamberceau) dans lequel toutes les dépenses sont connues.

L'effet de ces paramètres sur O_t sera détaillé par la suite.

La courbe présentée ci-après est obtenue avec les conditions employées pour illustrer le modèle de COX et al. ($\sigma = 0,3$; $r = 4\%$; $c = 7,5\%$).



Dans l'exemple COX et al., l'arbre de même qualité avait un volume de $3,2 \text{ m}^3$ ce qui correspond à un diamètre de 60cm. Pour ce diamètre, la valeur d'option est de 437 €. Cette valeur d'option, 5 ans plus tard, passe à 579 €, soit un gain de 142 €. Cette donnée est à comparer aux 127 € du modèle de COX et al.

La forme en sigmoïde s'explique par le fait que, quand le diamètre dépasse 70 cm, les prix unitaires stagnent (le gain n'est plus porté que par l'accroissement en volume). La courbe s'incurve car le risque de variation des cours n'est plus couvert que par de faibles opportunités de gain.

Graphique 1 : valeur de l'option en fonction du diamètre de l'arbre

Ainsi, la quantification de la valeur d'option a été réalisée selon plusieurs méthodes. La formule historique (1973) de BLACK et SCHOLES donne des valeurs supérieures à celles obtenues par le modèle de COX et al.

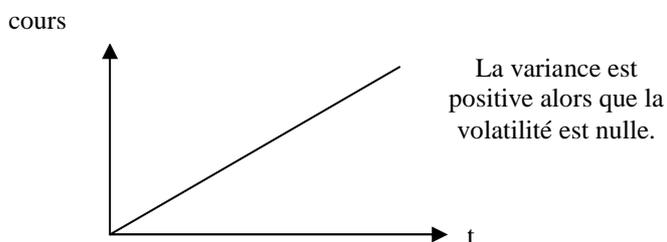
Le modèle BLACK et SCHOLES, comme le modèle de COX et al., fournissent un maximum de probabilité lié à la loi normale.

La suite de cette étude retiendra l'emploi du modèle BLACK et SCHOLES, le but étant de quantifier la variabilité de la manière la plus « exploitable » possible pour le milieu forestier.

Les premières investigations dans ce domaine montrent l'importance considérable de la volatilité dans les calculs d'options. Il s'agit maintenant d'en obtenir des valeurs pour les principaux cours des essences forestières.

3.2.2 Analyse de la volatilité des cours

Initialement, l'indicateur de la variabilité des cours était la variance des prix constatés. Mais cette grandeur indique plus une évolution qu'une dispersion. C'est pourquoi l'emploi de la volatilité est préférable.



Volatilité historique : la volatilité future est supposée être la même que la volatilité passée.

Sa formule est la suivante :

$$\sigma_t^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^{k=n} (R_{t-k+1} - \mu_t)^2$$

n est le nombre d'observations et t le t est l'année de l'observation.

Avec $R_{t-k+1} = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$ P_t est le prix constaté du m³ de bois à l'année t

Et $\mu_t = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{k=n} R_{t-k+1}$

En pratique, la volatilité est l'écart type des valeurs de R_t avec :

$$R_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$$

Trois sources de données sont disponibles pour notre étude :

- Des prix moyens fournis par l'ONF et couvrant la période de 1967 à nos jours,
- Les prix fournis par la revue La Forêt Privée obtenus sur la période 1971 à nos jours (ces données sont présentées sous forme d'intervalles, seules les valeurs maximales ont été retenues afin de gommer l'effet d'amortissement de la moyenne. De plus ces valeurs « phares » sont plus facilement connues lors des ventes).
- Les prix de vente constatés dans le massif du Nouvion et concernant, sur la période 1985 à 2006, les chênes, frênes et érables sycomores.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Essence	Volatilité Forêt Privée	Volatilité ONF	Volatilité Nouvion
Chêne 1	0,291	0,167	0,213
Chêne 2	0,226		
Hêtre choix1	0,261	0,202	
Sapin Epicea	0,225	0,180	
Pin sylvestre	0,274	0,399	
Pin maritime	0,172	0,175	
Frêne	0,257		0,216
Erable	0,219		0,251
Merisier	0,249		

Détail concernant Le Nouvion		
Essence	Qualité	Volatilité
Chêne	A	0,095
	AB	0,161
	B	0,390
	BC	0,176
Frêne	C	0,244
	A	0,327
	AB	0,170
	B	0,190
Erable Sycomore	C	0,176
	A	0,352
	AB	
	B	0,257
	C	0,145

Tableau 2 et 3 : Valeurs de volatilité selon les sources de données de prix

Les chiffres concernant le Nouvion sont des moyennes des volatilités par qualité. Cette variation selon les produits est donnée par le tableau de droite.

Les volatilités peuvent facilement atteindre et dépasser les niveaux de 0,3 à 0,4.

Les fortes volatilités semblent l'apanage des meilleures qualités d'où l'intérêt de les prendre en compte lors de la sylviculture. Cette constatation est à contraster pour le chêne. Les qualités A ont un cours relativement stable tandis que la variabilité vise plutôt la qualité B (niveau de qualité qui doit faire l'objet d'un marché plus porteur et dynamique).

Le niveau des cours n'explique cependant pas la variabilité. Le pin sylvestre connaît, malgré un prix unitaire faible, une des plus fortes volatilités. C'est à mettre en relation avec le marché où les qualités et les besoins peuvent fluctuer rapidement. Le pin maritime, du fait des gros volumes commercialisés et de la qualité standard produite, connaît lui une des plus faibles volatilités.

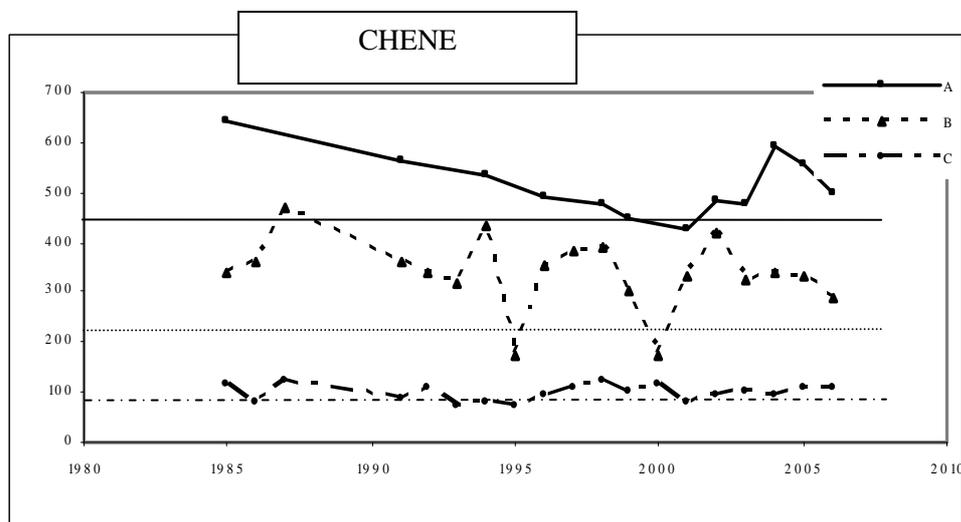
Il s'agit maintenant de voir quels indicateurs économiques sont concernés et quel niveau peut atteindre la valeur d'option.

3.3 Application au réseau AFI

3.3.1 La prise en compte de la variation des cours

Comparaison entre cours réels du Nouvion et cours de référence de l'AFI :

L'utilisation des courbes des prix obtenus au Nouvion est l'occasion de vérifier la validité des prix unitaires constants utilisés par le réseau AFI. Ces prix, discutés en 2000 par les principaux gestionnaires du réseau, figurent en trait continu sur les courbes de prix suivantes :



Graphique 2 : Evolution annuelle du cours du chêne selon les qualités

Les courbes des principales essences figurent en annexe 4. On y observe des volatilités marquées surtout pour les bonnes qualités.

Les écarts entre les prix du marché et les prix AFI sont donnés dans le tableau suivant en % par rapport au prix fixe.

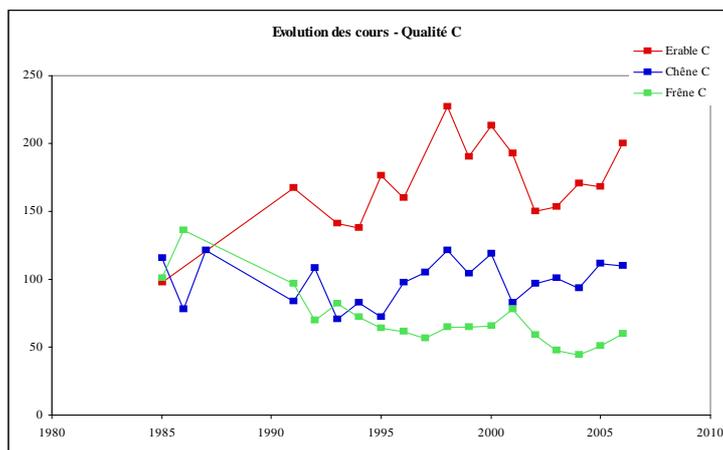
% écart	Essence Qualité								
	Chêne			Frêne			Sycomore		
Date	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1985	49%	75%	36%	210%	203%	131%	24%	-36%	-14%
1986		73%	-3%	284%	267%	241%		-63%	
1987		123%	44%						
1991	25%	79%	9%	224%	209%	127%	-44%		62%
1992		70%	52%	192%	176%	64%			
1993		65%	-12%	144%	152%	105%	-41%	22%	26%
1994	21%	117%	3%	194%	75%	72%	45%	9%	32%
1995		-16%	-9%	48%	58%	51%	-10%	85%	63%
1996	13%	69%	20%	38%	60%	37%	-24%	81%	46%
1997		84%	29%	66%	40%	27%			
1998	9%	97%	64%	151%	65%	50%		58%	112%
1999	2%	55%	43%	37%	34%	49%	27%	34%	73%
2000		-19%	50%	80%	83%	48%	95%	30%	96%
2001	-1%	57%	7%		62%	74%	73%	80%	70%
2002	14%	103%	14%		59%	38%	39%	54%	30%
2003	12%	60%	34%		8%	23%	-2%	80%	40%
2004	35%	80%	28%		16%	6%		52%	64%
2005	30%	75%	49%	51%	14%	24%	-17%	41%	61%
2006	17%	64%	53%	54%	30%	44%	-18%	47%	91%
Moyenne	19%	69%	27%	127%	90%	67%	11%	38%	57%

Tableau 4: Écarts entre les prix fixes et les prix observés au Nouvion

Ces chiffres montrent une variabilité considérable des écarts entre les prix estimés et ceux constatés. En 2002, par exemple, le chêne de qualité B s'est vendu à des prix supérieurs de 103 % par rapport à ceux utilisés pour les calculs économiques du réseau. Certaines moyennes comme celle du chêne de qualité B, celle du frêne de toutes qualités et celle de l'érable sycomore de qualité C peuvent inciter les gestionnaires du réseau AFI à réévaluer leurs prix fixes.

Ces quelques chiffres nous confortent bien dans notre volonté de quantifier et d'analyser les effets de la volatilité des cours.

Synchronisation des cours des essences et intérêt du mélange



Graphique 3: Evolution des cours du chêne, frêne et érable de qualité C

Ce type de graphique illustre parfaitement les « effets d'aubaines » liés à la possession d'un mélange d'essences. Dans les années 1990-1995, l'érable sycomore pouvait parfaitement compenser la baisse des cours des chênes et frênes. Ensuite, le chêne a aidé à la compensation en attendant que le cours du frêne remonte. Les autres qualités sont détaillées en annexe 4.

L'analyse met en évidence l'intérêt de la prise en compte de la volatilité dans les démarches économique.

Il s'agit maintenant de revenir à la théorie des options pour essayer de quantifier les coûts d'options afin de les additionner à la valeur de consommation des arbres.

3.3.2 L'impact de la volatilité sur les coûts d'option

La théorie des options montre que la variabilité des cours est profitable en cas de détention d'options. Une volatilité accrue augmente la probabilité de mouvement dans le sens favorable alors que les profils non linéaires des gains protègent contre les pertes.

Nous allons quantifier ces « profits probables » d'abord à l'échelle de l'arbre afin que ce soit comparable avec les autres indicateurs de la forêt irrégulière, puis nous réfléchirons à l'échelle d'un massif forestier.

3.3.2.1 A l'échelle de l'arbre

Les valeurs de consommation d'option (VCOp) et les valeurs potentielles d'option (VPOp) seront à comparer aux valeurs de consommation (VC) et aux valeurs potentielles (VP).

Les impacts de l'ajout d'une volatilité devront s'étudier au regard des indicateurs classiques de gestion tel le diamètre d'exploitabilité, les investissements (charges)...

Les formules utilisées pour la détermination des valeurs de consommation, valeurs potentielles et gains sont données dans la partie 4.1.1.2. La VP et la VC sont calculées comme aujourd'hui, c'est-à-dire avec les prix fixes du réseau AFI. La valeur de l'option (O_t) s'obtient tel que décrit dans le paragraphe 3.2.1.2.

Pour la détermination de VCOp, on ajoute simplement O_t à la VC traditionnelle. Pour VPOp, on applique la formule suivante :

$$VPOp = VCOp \times AcctD \times \left(\frac{\ln Pu_2^* - \ln Pu_1^*}{D_2 - D_1} + \frac{\ln V_2 - \ln V_1}{D_2 - D_1} \right)$$

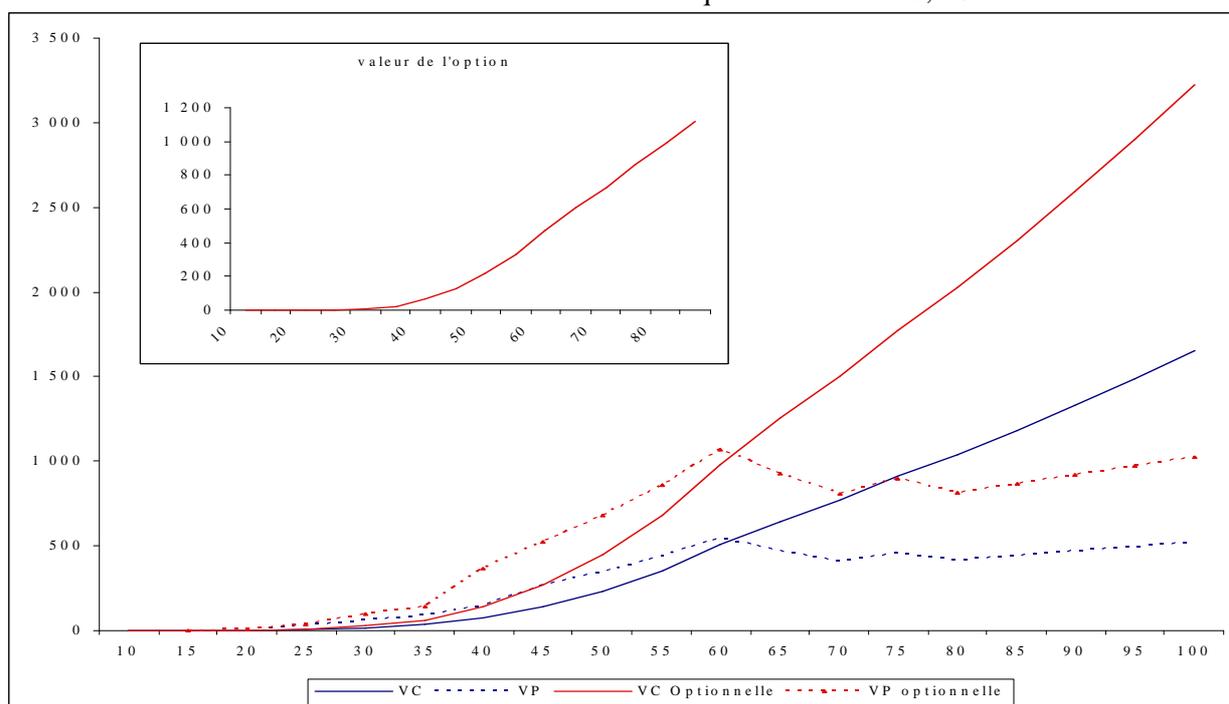
Avec V le volume de l'arbre et Pu^* , les prix unitaires majorés de la valeur de l'option ramenée au m^3 :

$$Pu^* = Pu + \frac{O_t}{Volume}$$

Les calculs suivants utilisent des données moyennes (charges, accroissement en diamètre, volume à l'hectare) recueillies dans les dispositifs de l'AFI. Les autres données (volatilité, tarif de cubage, qualités, taux) sont des variables.

Effet d'un changement de volatilité sur la valeur d'option et sur le diamètre d'exploitabilité.

Prenons la volatilité obtenue au Nouvion sur les chênes de qualité B à savoir 0,379.



Graphique 4 : Exemple d'un chêne de qualité B, cubé avec le tarif Schaeffer rapide n°4

Dans l'exemple affiché, la forte volatilité employée peut accroître les revenus de $O_t = 399$ € pour un chêne de diamètre 60 cm. La nouvelle valeur de consommation serait accrue d'environ 79 %.

L'effet des variations de la volatilité sur la valeur de consommation est donné par le tableau suivant, il concerne une tige de chêne de qualité B et de 60 cm de diamètre :

Volatilité	O_t	Accroissement de VC
0,1	1	0%
0,2	90	15%
0,25	187	34%
0,3	284	54%
0,35	363	71%
0,4	420	83%

Tableau 5 : Valeur de l'option et gain en fonction de la volatilité

Le tableau 5 montre clairement que la volatilité, pour autant qu'elle soit supérieure à 0,2, a un impact substantiel sur l'accroissement de la valeur de consommation.

L'accroissement de la VC en pourcentage semble linéaire pour des niveaux de volatilité compris entre 0,2 et 0,35 d'où la nécessité d'observer les cours pour vendre les produits au meilleur moment de hausse.

Ensuite, on note l'existence d'un palier pour les volatilités supérieures à 0,4. La valeur de l'option continue d'augmenter mais le ratio d'accroissement de la valeur de consommation reste sensiblement le même.

Effet de la volatilité sur le diamètre d'exploitabilité.

Le diamètre d'exploitabilité est le diamètre pour lequel la VC est égale à la VP. Par exemple, un chêne de qualité B a un diamètre d'exploitabilité de 60 cm.

La question est de savoir, sur le graphique précédent, quelles courbes il faut prendre en compte.

Si on considère les intersections des courbes bleues entre elles (prix fixes) et rouges entre elles (prix variables), on obtient les mêmes diamètres d'exploitabilité. Il n'y aurait donc pas de changement des critères d'exploitabilités lorsqu'on prend en compte la volatilité.

Si on considère maintenant l'intersection entre la courbe rouge des VC et la courbe bleue de la VP (c'est-à-dire si on considère que les calculs de VP se font en avenir certain), on obtient les diamètres d'exploitabilité suivants :

volatilité	Diamètre d'exploitabilité
0,15	60
0,20	60
0,25	55
0,30	50
0,35	45
0,40	45

Diamètre d'exploitabilité obtenu par l'intersection de la courbe rouge des VC et bleu de la VP

Pour savoir quelle démarche adopter, étudions les gains possibles liés à la commercialisation précoce des bois.

Volatilité	Valeur de l'arbre à prix fixe		Valeur de l'arbre à prix variable	
	Diamètre 60cm	Diamètre Exploitabilité	Diamètre 60cm	Diamètre Exploitabilité
0,25	505 €	353 €	693 €	49 €
0,30	505 €	233 €	789 €	37 €
0,35	505 €	142 €	868 €	24 €
0,40	505 €	142 €	926 €	25 €

Prenons l'exemple de la volatilité de 0,4. Le chêne pourrait être exploité au diamètre de 45 (soit 24 ans avant d'atteindre le diamètre 60). Il rapporte (au maximum probable) la somme de 256 €. Si on place cette somme à 4% pendant 24 ans, cela rapporte 656 €. L'opération n'est donc pas rentable car le chêne aurait pu rapporter la somme de 926 € si on l'avait laissé sur pied (le même type d'écart est obtenu avec les prix fixes).

Ainsi, même en avenir incertain et avec des volatilités inférieures à 0,4, il semble qu'il ne soit pas opportun d'anticiper l'exploitation des bois. L'effet de la volatilité sur la valeur de consommation n'est pas suffisant pour se passer des gains obtenus dans ces gammes de diamètre. **Le diamètre d'exploitabilité resterait identique quelques soient les variations des cours du bois.**

Effet de la qualité en volatilité constante :

Qualité	Ot	Accroissement de VC
A	509	62%
B	284	56%
C	84	44%
D	14	28%

Calcul avec une volatilité égale à 0,3

Précédemment, il a été constaté des forts niveaux de volatilité pour les meilleures qualités. Ce phénomène apparaît ici de manière encore plus importante puisque la variabilité affecte plus encore les bois de fortes valeurs avec, par exemple, un accroissement de la valeur de consommation de 62 % pour un chêne de qualité A.

On a donc, pour les belles qualités A et B, des volatilités plus élevées. De plus, pour chaque valeur de volatilité, les accroissements de VC sont d'autant plus forts que la qualité est meilleure. Ces deux constatations militent bien pour une gestion favorisant la qualité car c'est ainsi que les revenus seront maximisés.

Effet du tarif de cubage en forte volatilité

Pour un chêne de qualité B, sous volatilité de 0,3, le passage d'un tarif de cubage du n°4 au n°16 fait passer la valeur d'option de 284 à 568 € sans pour autant faire changer l'accroissement de la valeur de consommation (qui reste à 56 %). Le choix du tarif n'a donc pas d'incidence.

Effet des charges en forte volatilité

Le niveau des charges pris en référence est celui d'un dispositif de l'AFI jugé comme représentatif (en l'occurrence celui de Chamberceau). Il s'agit dès lors de faire varier à la baisse le niveau de ces charges pour en étudier l'impact sur Ot et sur l'accroissement de VC.

Les charges sont affectées à la tige ou à la surface. Nous avons choisi de les cumuler à l'hectare et de les réaffecter ensuite à chacun des m³ présents sur la parcelle. L'annexe 5 comporte une réflexion sur l'emploi et l'impact de ces charges.

charges	Ot	Accroissement de VC
complètes	568	56%
-20%	597	59%
-40%	629	62%
-60%	672	67%

Tableau 6 : Valeur de l'option et gain en fonction des charges

Quand les charges diminuent, l'investissement financier est moindre alors que la valeur de consommation reste stable. En situation de variabilité des cours, le « risque spéculatif » paraît plus favorable et le coût de l'option s'accroît. Ce gain, assez faible, est pourtant significatif puisqu'il peut accroître la valeur d'un chêne de qualité B de près de 104 € si on réduit les charges de 60 %.

Effet de la variation du taux maximal de placement :

Le réseau AFI a retenu une valeur de 4 % pour son actualisation en considérant ce taux comme le rendement de la forêt. Les meilleurs produits financiers (type assurance vie) proposent des taux garantis de 7 à 7,5 %. Une variation a les conséquences suivantes :

taux	Ot	Accroissement de VC
4%	426	84%
5%	394	78%
6%	355	70%
7%	309	61%

Tableau 7 : Valeur de l'option et gain en fonction du taux

Dès que le taux s'accroît, le risque spéculatif devient moins prometteur (il vaut mieux placer l'argent des charges à la banque qu'en forêt) et la valeur de l'option diminue.

Dans la partie précédente, la réflexion est menée à l'échelle de l'arbre. L'étude suivante se consacre à l'étude sur un dispositif.

3.3.2.2 A l'échelle d'un dispositif

Les calculs suivants concernent le dispositif de Chamberceau. Il a été choisi pour son état d'équilibre quant à la gestion et pour son mélange d'essences.

Les volatilités retenues sont de :

- 0,3 pour les chênes, l'érable sycomore et les alisiers,
- 0,26 pour le hêtre et le charme.

La forte proportion de hêtre permet de fournir des résultats qui n'auront rien d'exceptionnels et qui pourront servir de base à de nombreuses situations.

Placette	VC	VP	VO	Accroissement valeur
1	1 852 €	1 841 €	2 093 €	13%
2	1 885 €	1 718 €	2 063 €	9%
3	2 107 €	1 885 €	2 292 €	9%
4	1 481 €	1 639 €	1 830 €	24%
5	1 449 €	1 509 €	1 632 €	13%
6	1 082 €	1 456 €	1 283 €	19%
7	1 440 €	1 272 €	1 488 €	3%
8	1 517 €	1 607 €	1 802 €	19%
9	989 €	1 343 €	1 120 €	13%
10	461 €	562 €	547 €	19%
MOYENNE	1 426 €	1 483 €	1 615 €	13%

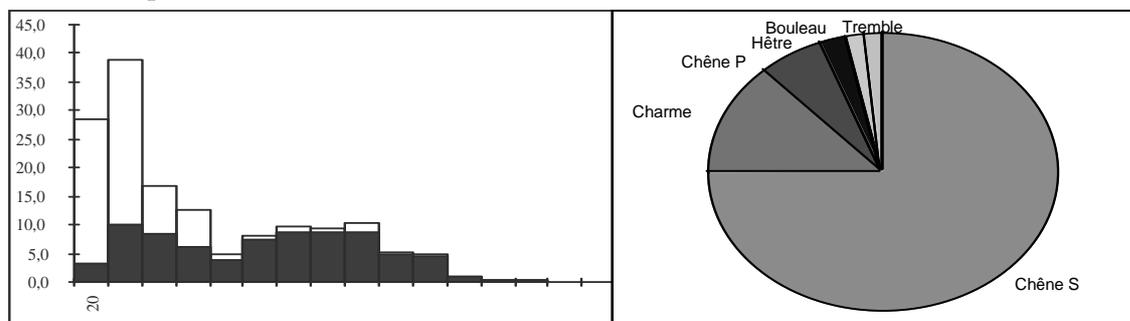
Tableau 8 : Accroissement de la valeur des bois de Chamberceau

Les résultats montrent bien une VC et une VP du même ordre de grandeur ce qui traduit bien l'état d'équilibre.

La prise en compte des valeurs d'option accroît de 13 % la valeur moyenne à l'hectare du massif. Une gestion suffisamment flexible, qui intègre les fluctuations positives du marché, permet d'accroître les revenus d'au moins 13 %.

Sont surlignées dans le tableau les valeurs extrêmes. La placette n°7 est composée de 90 % de hêtre de diamètre moyen de 45 cm. Dans de telles conditions la prise en compte de la volatilité ne présente que peu d'intérêt. La placette n°4 à l'inverse est composée de 50 % de chênes de diamètre moyen de 50 cm. Dans ce cas « l'enrichissement » pourrait être de l'ordre de 24 %.

Ce type de calcul a été réalisé également sur le massif de Remilly. Il présente les caractéristiques dendrométriques suivantes :



N/ha en fonction du diamètre

Composition de la réserve en G/ha

Les résultats sont les suivants :

Placette	VC	VP	VO	Accroissement valeur
1	2 931 €	2 513 €	3 188 €	9%
2	3 859 €	3 307 €	4 317 €	12%
3	4 715 €	3 530 €	5 135 €	9%
4	1 884 €	2 047 €	2 045 €	9%
5	5 958 €	4 074 €	6 526 €	10%
6	2 734 €	2 672 €	3 001 €	10%
7	4 315 €	3 802 €	4 763 €	10%
8	5 654 €	4 611 €	6 318 €	12%
9	5 431 €	4 366 €	5 959 €	10%
10	4 631 €	4 171 €	5 168 €	12%
MOYENNE	4 211 €	3 509 €	4 642 €	10%

Tableau 9 : Accroissement de la valeur des bois de Remilly

Les variations relatives de la valeur à l'hectare restent sensiblement du même ordre (10 %). Mais il faut insister sur le fait que ce pourcentage concerne cette fois un capital à l'hectare trois fois plus fort que pour Chamberceau. La gestion de la variabilité peut accroître le capital de 421€ par hectare.

La volatilité est rapidement valorisable à l'échelle de l'arbre si celui-ci est de bonne qualité.

Ce deuxième exemple, avec ses qualités C+D représentant 75% de la réserve, démontre que c'est par la gestion de la quantité disponible que la plus value sera accessible. En effet une faible variation intervenant sur de faibles cours peut assurer un bénéfice non négligeable à partir du moment où la quantité mobilisable est grande.

Les mêmes calculs, s'ils sont effectués sur les arbres martelés, montrent un gain potentiel dans un même ordre de grandeur (à savoir 9% pour la coupe de 2003 de Remilly soit un gain net de 500 €).

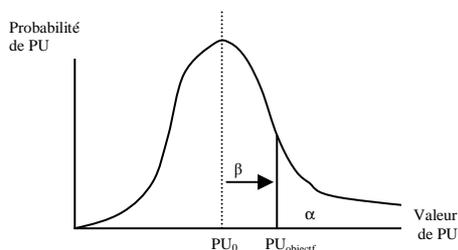
Sur une coupe similaire qui concernait le massif des Renardières, le gain potentiel calculé est de 630 € soit 12 % de la valeur réelle de la coupe.

3.3.3 Comportement des gestionnaires et discussion

Il s'agit ici de tirer des conclusions sur l'apport de la théorie financière afin de construire des outils d'aide à la décision à l'usage des gestionnaires.

On a vu que le prix d'un arbre était une fonction lognormale qui dépend du cours unitaire du produit (lui-même soumis à une certaine volatilité).

Le gestionnaire qui souhaite améliorer sa rentabilité devra maximiser ce prix en agissant sur le temps (anticipation ou retardement de mise sur le marché en fonction du cours constaté). Ainsi, il attendra d'obtenir un prix de vente égal à un prix objectif, défini comme la valeur maximale probable du cours. Cette valeur maximale probable est égale à celle calculée précédemment avec les formules de calcul d'option.



β est l'évolution maximale probable du PU.

α est la probabilité de coupe si le gestionnaire attend le PU objectif pour réaliser l'opération.

$$\alpha = 1 - F(PU_0 + \beta)$$

(avec F : fonction de répartition de la loi lognormale)

Le gestionnaire, pour optimiser son comportement aura besoin de connaître un prix unitaire objectif, lui-même lié à l'essence, à la volatilité, aux frais engagés, à la qualité et aux accroissements en diamètre. Pour l'aider dans cette démarche, on s'est attaché à créer un programme sous Excel capable de calculer des volatilités et d'afficher, selon les critères choisis, les valeurs des prix unitaires (avec le prix objectif) et leurs évolutions.

Présentation de la feuille Excel « Volatilité.xls »

Ce programme a pour objectif de calculer des volatilités et d'en déduire, à l'aide des valeurs d'option, un prix unitaire objectif devant déclencher un comportement de mise sur le marché des produits étudiés. Il fonctionne avec plusieurs onglets :

Data-volatilité : onglet servant à recueillir les valeurs annuelles des cours des bois ainsi que la source de ces données. Ces chiffres sont traduits en euros constants.

Calcul-volatilité : onglet présenté en annexe n°6. A l'aide de la macro, également présentée en annexe, Excel calcule automatiquement les volatilités de toutes les sources de données saisies précédemment. La macro crée également des graphiques montrant l'évolution des cours.

Volatilité : onglet reprenant les valeurs des volatilités et les répartissant par essence, diamètre et qualité.

PrixU : reprend les prix fixes validés par les gestionnaires de l'AFI.

Calcul-éco : onglet permettant le calcul des valeurs de consommation et valeurs potentielles (classiques et optionnelles) et le calcul de la valeur d'option. Le formulaire est donné en annexe n°7.

Analyse : onglet principal composé de deux types de zones :

- ↳ les jaunes doivent être instruites par le gestionnaire (il s'agit de l'essence, des taux, de l'accroissement en diamètre, du tarif de cubage, de la qualité, des frais et de la surface terrière à l'hectare et du coefficient FH).
- ↳ Les blanches sont instruites automatiquement en fonction de l'essence retenue.

Figurent également trois graphiques : l'évolution des prix unitaires, de la valeur d'option, des VC et VP.

Dans la zone de couleur saumon, le gestionnaire voit s'afficher le diamètre d'exploitabilité. Ensuite, il choisit le diamètre du produit qu'il souhaite étudier pour connaître le prix unitaire objectif et la valeur de son arbre. Une présentation de cet onglet est présente en annexe n°8.

Discussion :

Cette étude présente une approche opportuniste du marché. Elle s'appuie sur un modèle théorique (celui de BLACK et SCHOLES).

Cette méthode présente l'intérêt d'avoir été largement utilisée dans les milieux financiers mais l'inconvénient majeur est que la formule emploie une volatilité moyenne sur la période historique étudiée ce qui minore les fluctuations extrêmes et instantanées. Cette remarque est compensée par l'utilisation que l'on souhaite faire des résultats. En effet, l'objectif est de fournir une valeur indicatrice de prix qui doit alerter les gestionnaires sans pour autant leur imposer leur comportement.

Notons que les marchés financiers ont amélioré cela en définissant une volatilité implicite. Dès qu'ils connaissent les prix de marché des calls pour des maturités différentes, ils reprennent la formule de BLACK et SCHOLES et, à l'aide d'un programme informatique, en déduisent la valeur de volatilité qui a produit le prix d'exercice. Ainsi, ils ont une volatilité réelle qui, produite par le marché, a su intégrer tous les événements ponctuels capables de l'influencer.

Il serait intéressant, pour le milieu forestier, d'évaluer les bénéfices réalisés par l'intégration de la variabilité (en calculant les écarts de recettes selon que l'on utilise des prix fixes ou les prix réels) et de pouvoir ainsi vérifier si notre volatilité historique est représentative du marché.

Il serait possible également d'utiliser d'autres modèles tels ceux, inspirés des travaux de COX et al., qui prennent en compte des volatilités des prix et des volatilités des volumes (prise en compte des périodes de ralentissement ou d'accélération de la croissance selon les conditions météorologiques).

Sur la démarche en elle-même, on a vu qu'elle nécessite une grande flexibilité dans l'exploitation des bois. Or, ce comportement est très souvent contesté par les propriétaires privés qui n'envisagent les coupes que pour satisfaire à des besoins ponctuels en trésorerie (ils considèrent leur forêt comme un patrimoine qui ne doit pas leur coûter mais dont la rentabilité n'est pas une priorité).

Le cadre législatif du domaine forestier est également un frein à cette flexibilité. Que ce soit en forêt privée avec les Plans Simples de Gestion ou en forêt publique avec les aménagements, toute coupe non prévue dans un laps de temps de plus ou moins 5 ans par rapport à la date déclarée, doit faire l'objet d'une demande de coupe dérogatoire. Cette démarche administrative et le temps d'instruction qu'elle nécessite rendent difficile la flexibilité.

Enfin, et d'un point de vue plus pratique, nous avons utilisé des simplifications qui peuvent être contestables. D'abord, nous avons considéré que les prix étaient stables pour une même catégorie de diamètre, ensuite nous avons mutualisé les frais à l'hectare en les réaffectant à chaque m³ présent. L'annexe 5 apporte quelques éléments de réflexion sur cette démarche et ses limites.

Cette partie a étudié l'effet de la volatilité des cours du bois sur la valorisation financière des produits. Il s'agit maintenant de voir si, lors de la principale opération de gestion qu'est le martelage, les gestionnaires mettent en avant les critères de choix qui intègrent les notions de valeur économique. Ainsi, grâce à des outils statistiques adaptés (et qu'il nous faudra choisir), voyons si les variables de gain ou de valeur de consommation sont explicatives dans des modèles analysant le martelage.

4 Analyse des stratégies des martelages

Le martelage est l'opération qui met en pratique les choix sylvicoles et permet de façonner les peuplements. Pour certains dispositifs AFI, les gestionnaires indiquent les raisons qui ont conduit au choix de certains arbres. Jusqu'à présent, ces informations n'ont pas été analysées car elles dépendent beaucoup de la perception de l'opérateur (une raison d'amélioration pour certains correspond à une récolte pour d'autres).

L'objectif maintenant est de trouver un outil d'analyse performant et objectif des martelages menés sur les parcelles du réseau AFI. Pour cela, il est nécessaire de retenir les dispositifs utilisables et de construire des variables potentiellement explicatives.

4.1 Variables et dispositifs étudiés

4.1.1 Les variables disponibles et utilisables

4.1.1.1 Les variables obtenues lors des inventaires

La partie 2.1.2 de ce document présente les diverses données récoltées sur le terrain lors des inventaires. Parmi ces données on peut retenir et utiliser les variables suivantes :

Essence : cette donnée est qualitative car regroupée en catégories. Les principales sont « Chêne », « Hêtre », « Feuillus Divers », « Sapin Épicéa », « Feuillus Précieux ».

Qualité : donnée également qualitative. Les 4 classes sont notées A, B, C et D.

Diamètre : c'est la moyenne des diamètres pris à 1m30 et selon deux orientations orthogonales. Cette variable est quantitative.

La surface terrière : mesurée sur chacune des placettes.

La coupe : variable qualitative prenant la valeur 1 si la tige est coupée et 0 dans le cas contraire.

4.1.1.2 Les variables construites à posteriori

Accroissement en diamètre : c'est l'augmentation moyenne du diamètre lors de la période entre deux inventaires.

Volume : cette variable quantitative est obtenue par l'application d'un tarif de cubage Schaeffer (le type de tarif et le numéro adapté à chaque essence est un choix réalisé par le gestionnaire du dispositif).

Accroissement en volume : c'est l'augmentation moyenne du volume (V) lors de la période entre deux inventaires.

La Valeur de Consommation (VC) : variable quantitative obtenue en multipliant le volume de l'arbre par son prix unitaire (PU). Ce prix est estimé à partir de grilles de prix négociées et établies par les gestionnaires de l'AFI et donnant des valeurs en fonction de chaque essence et de chaque qualité.

Le Gain : c'est l'accroissement en valeur d'un arbre. Il intègre l'accroissement en volume et l'augmentation du prix unitaire qui en découle. Son obtention se fait par l'application de la formule suivante :

$$Gain = VC \times \frac{dD}{dt} \times \left(\frac{dPU}{PU} + \frac{dV}{V} \right) \times \frac{1}{dD}$$

Le taux de fonctionnement θ : cette variable quantitative est obtenue par la formule suivante :

$$\theta = \frac{Gain}{VC}$$

La Valeur Potentielle (VP) : elle correspond à un capital qui, placé au taux d'actualisation r, fournit un revenu égal à l'accroissement en valeur (gain).

$$VP = \frac{Gain}{r}$$

La répartition des essences sur chaque placette, chacune des tiges est référencée. A partir de ces informations on peut obtenir les proportions suivantes :

- Le nombre de tiges de l'essence étudiée par rapport au nombre total de tiges,
- Le volume des tiges de l'essence étudiée par rapport au volume total des tiges,
- La valeur de consommation des tiges de l'essence étudiée par rapport à la valeur totale des tiges

La valeur de consommation des proches cette variable quantitative s'obtient grâce au géo-référencement des tiges. Il est alors possible d'identifier les trois tiges les plus proches de la tige étudiée puis de réaliser la moyenne de ces trois valeurs de consommation.

La même construction est réalisée pour les taux de fonctionnement.

Le fait d'avoir considéré trois tiges vise à modéliser le comportement d'un marteleur qui travaille en éclaircie d'intensité 25% et qui, localement, prend en compte 4 tiges pour choisir celle qu'il enlève.

La catégorie de valeur de consommation : variable qualitative binaire qui se traduit de la sorte :

- 0 : la tige a une valeur de consommation inférieure à la moyenne des 3 tiges les plus proches
- 1 : la tige a une valeur de consommation supérieure à la moyenne des 3 tiges les plus proches

Une même variable binaire est réalisée avec les taux de fonctionnement.

La valeur de consommation la plus forte : variable qualitative binaire qui est définie par :

- 0 : la tige considérée n'a pas la valeur de consommation la plus forte parmi les 4 tiges proches considérées.
- 1 : la tige considérée a la valeur de consommation la plus forte parmi les 4 tiges proches considérées.

Une même variable binaire est réalisée avec les taux de fonctionnement.

L'influence de toutes ces variables sur les choix de martelage sera maintenant analysée. Cependant il est indispensable de retenir les dispositifs du réseau AFI qui permettent de mener de telles analyses.

4.1.2 Les dispositifs utilisables

La première opération est de sélectionner les dispositifs ayant fait l'objet d'au moins deux inventaires et d'une coupe volontaire de bois (hors chablis et dépérissements).

Très vite, le problème de l'obtention de l'accroissement en diamètre se fait sentir. En effet de cette donnée va découler l'établissement de l'accroissement en volume, du gain, de la Valeur Potentielle et

du taux de fonctionnement. La tactique habituelle était de prendre un accroissement en diamètre moyen obtenu sur des massifs proches. Dans notre cas, le but est de discriminer les tiges et ceci n'est pas compatible avec le choix d'une valeur moyenne identique pour chaque essence.

Les seuls dispositifs permettant d'obtenir des valeurs certaines pour le gain sont ceux qui, ayant fait l'objet de trois inventaires, ont subi une coupe entre le deuxième et le troisième inventaire (les comparaisons réalisées entre le premier et le deuxième inventaire permettent d'établir les valeurs d'accroissement).

De telles contraintes permettent de retenir les dispositifs suivants :

N°	Gestionnaire	Forêt	Inventaire1	Coupe		Inventaire2	Coupe		Inventaire3
				année	volume		année	volume	
3	M.Susse	Forêt de Chamberceau	1993			1998	1999-2000	260	2003
5	M.Susse	Forêt de Gergy	1993			1998	2000-2001	165	2003
6	M.Chavanne	Forêt de la Quiquengrogne	1993	1993	345	1998	2002	38	2003
8	M.Leforestier	Bois des Renardières	1994	1995	124	1999	2000-2001	400	2004
9	M.Susse	Bois de la Rente (Remilly)	1996			2001	2005	150	2006
12	M.Chavanne	Le Grand Bois	1996	1997	140	2001	2005	100	2006
54	M.Breton	Forêt de Marchenoir 2	1993	1993	150	1998	2002	72	2004

Tableau 10 : Années d'inventaire et de coupe des dispositifs étudiés

Une base de données est alors constituée pour chacun de ces dispositifs.

Les données d'inventaire sont récupérées à partir des fichiers mis à disposition par l'AFI. Tous les calculs sont réalisés grâce au logiciel Excel.

Certaines variables nécessitent un géo-référencement. Celui-ci a été réalisé à l'aide du logiciel MAPINFO Professional 7.0 et notamment le programme accessoire « COGOLINE » qui permet de tracer une ligne à partir d'un azimuth et d'une distance déterminés. L'illustration ci-dessous montre le rendu pour une placette.

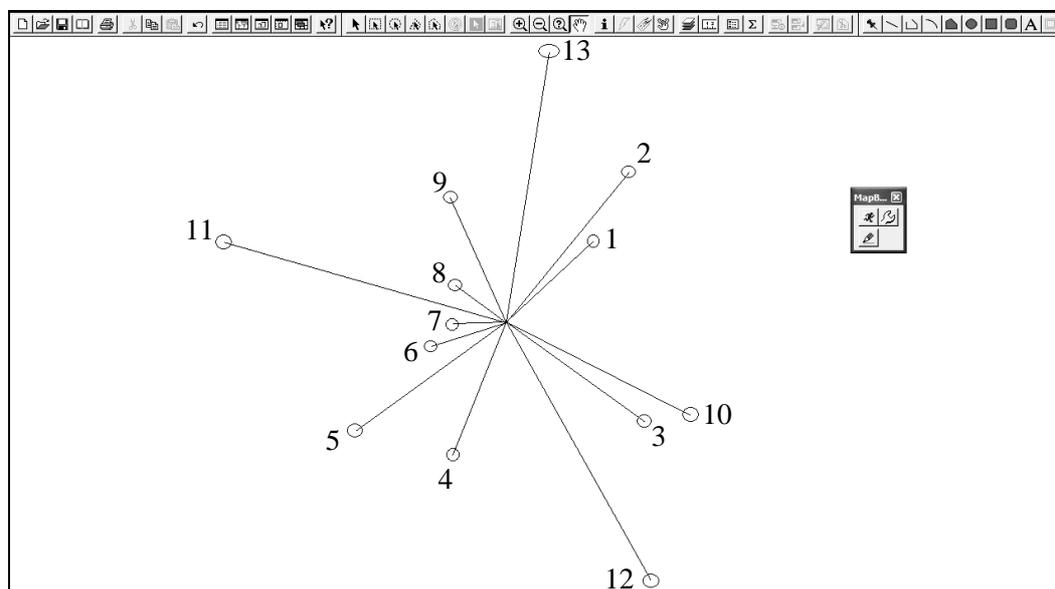


Figure 4 : Représentation de la placette n°1 du dispositif de Gergy

La détermination des trois tiges les plus proches est réalisée visuellement et, en cas de doute, grâce à la superposition sur le dessin d'un cercle dont on fait varier le diamètre.

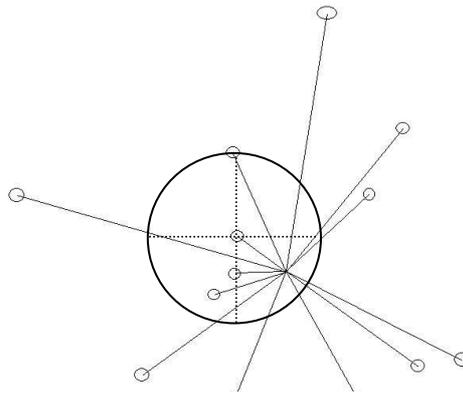


Figure 5 : Utilisation d'un cercle pour déterminer les 3 tiges les plus proches

4.2 Les outils statistiques disponibles

4.2.1 Contraintes et besoins de l'analyse

Les données sont de deux natures : quantitative et qualitative. Elles sont regroupées en un seul tableau. L'analyse s'attachera à prédire la variable qualitative de coupe à partir des variables quantitatives et qualitatives définies ci-dessus.

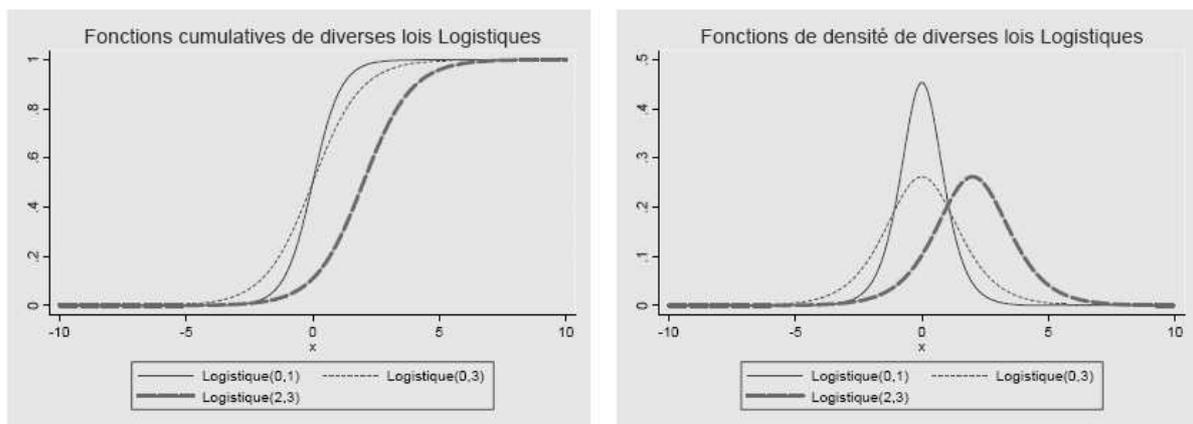
Les stratégies possibles sont les suivantes (Houillier et Gegout, 1993) :

Données	Objectif	Méthode
Une variable qualitative et un tableau de variables qualitatives et quantitatives	Prédiction de la variable isolée à partir des variables du tableau	Modèle linéaire généralisé (régression logistique)
Une variable qualitative et un tableau de variables quantitatives	Prédiction de la variable qualitative à partir des variables du tableau quantitatif	Analyse factorielle Discriminante

4.2.2 La régression logistique

L'analyse de régression est une technique statistique permettant d'établir une relation entre une variable dépendante et des variables explicatives, afin d'étudier les associations et de faire des prédictions. Lorsque la variable dépendante est qualitative, le modèle approprié est celui de la régression logistique. Si la variable est dichotomique (par exemple qu'elle prend les attributs « 0 » ou « 1 »), le modèle est alors binomial (NAKACHE et al, 1986).

Le terme « régression » implique qu'on considère un ensemble de variables explicatives et le terme « logistique » fait référence à l'hypothèse de distribution du même nom :



La fonction cumulative d'une loi logistique de moyenne μ et de variance σ^2 s'écrit :

$$F(x) = \frac{\exp\left(\frac{\pi}{\sqrt{3}} \times \frac{x - \mu}{\sigma}\right)}{1 + \exp\left(\frac{\pi}{\sqrt{3}} \times \frac{x - \mu}{\sigma}\right)}$$

4.2.2.1 Formulation mathématique du modèle de régression logistique

Soit les variables explicatives x_i associées à l'observation de la réalisation de la variable qualitative y_i prenant les valeurs $\{y_i=0\}$ ou $\{y_i=1\}$ (GARCIA, 2005).

On suppose qu'il existe une valeur seuil c dépendant de la combinaison linéaire $x_i\beta$, où β est un vecteur de paramètres (au delà de ce seuil la proportion des $\{y_i=1\}$ l'emporte sur celle des $\{y_i=0\}$).

On écrit le modèle en considérant la variable aléatoire latente (non observable) $y_i^* = x_i\beta + u_i$

Le modèle s'écrit :

$$\begin{cases} y_i = 1 & \text{si } y_i^* > c \\ y_i = 0 & \text{si } y_i^* < c \end{cases}$$

Selon la distribution du terme d'erreur u_i de la variable aléatoire, il existe divers modèles :

- Si le terme d'erreur u_i suit une loi normale de moyenne 0 et de variance σ^2 c'est le modèle PROBIT.
- Si le terme d'erreur u_i suit une loi logistique de moyenne 0 et d'écart type $\frac{\pi}{\sqrt{3}}$ c'est le modèle

LOGIT.

C'est deux modèles sont très similaires car les lois normales et logistiques font partie de la même famille des lois exponentielles. Le modèle LOGIT possède des fonctions de densité et de répartition qui sont plus faciles à manipuler. Comme les différences ne sont pas significatives tant que les échantillons ne sont pas très grands, c'est le modèle LOGIT qui a été mis en œuvre pour cette étude.

Le modèle LOGIT peut fournir une estimation de la probabilité de coupe (dans le cas de notre étude) pour un individu dont le profil est x_1, x_2, \dots, x_p . Cette probabilité est telle que :

$$\log\left(\frac{P}{1-P}\right) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + u_i$$

P est d'autant plus grande que la valeur de la combinaison linéaire est grande. Cette valeur est également appelée : « score pronostique ».

4.2.2.2 L'estimation du modèle : méthode du maximum de vraisemblance

La vraisemblance est définie comme la probabilité d'observer un échantillon, étant donnés les paramètres du processus ayant engendré les données (GARCIA, 2005).

D'un point de vue pratique, la vraisemblance s'écrit comme le produit des probabilités de y conditionnelle à x . La fonction de vraisemblance $L(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p)$ s'écrit :

$$L(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p) = \prod_{i=1}^n [P(y=1/x, \beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p)]^{y_i} [1 - P(y=1/x, \beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p)]^{1-y_i}$$

Ensuite, un algorithme numérique cherche à maximiser cette vraisemblance par l'ajustement des paramètres β_0, β_1, \dots . C'est la maximisation de la combinaison linéaire présentée dans la partie précédente. Pour notre étude, c'est le logiciel S-PLUS qui sera employé.

4.2.2.3 Les tests de significativité :

L'ordre de grandeur des coefficients β_i n'a, en lui-même, que peu d'importance. Seuls comptent les signes de ces coefficients et leurs valeurs relatives.

Pour estimer la puissance du modèle, il existe un grand nombre de tests. Ils ont tous pour vocation d'indiquer le niveau de significativité du modèle calculé et surtout d'en comparer plusieurs.

Parmi les critères d'information utilisables, nous avons retenu :

Le tableau de contingence (ou matrice des confusions) présenté sous la forme suivante :

		Appartenance réelle	
		0	1
Appartenance prédite	0	N1	n1
	1	n2	N2

Se déduit de cette matrice le pourcentage d'individus bien classés par le modèle (dans notre exemple il correspond à la somme (N1+N2) divisée par le nombre total d'individus).

On peut également calculer la sensibilité du modèle ($= \frac{N_1}{N_1 + n_1}$) et la spécificité ($= \frac{N_2}{N_2 + n_2}$).

Le pseudo-R2 de Mac Fadden qui est donné par la formule suivante :

$$R^2 = 1 - \frac{\log(L_{UR})}{\log(L_R)}$$

avec L : fonction de vraisemblance,
 UR : modèle complet $\beta_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + u_i$
 R : modèle simple $\beta_1 + u_i$

Ce critère est d'autant meilleur qu'il est proche de 1.

Le critère d'information d'Akaike (AIC) dont l'expression est la suivante :

$$AIC = \frac{-2\log(L)}{N} + 2\frac{G}{N}$$

avec N : nombre d'observations
 G : nombre de paramètres
 L : valeur de la vraisemblance

Ce critère doit être le plus petit possible.

4.2.3 L'analyse factorielle discriminante barycentrique (AFDB)

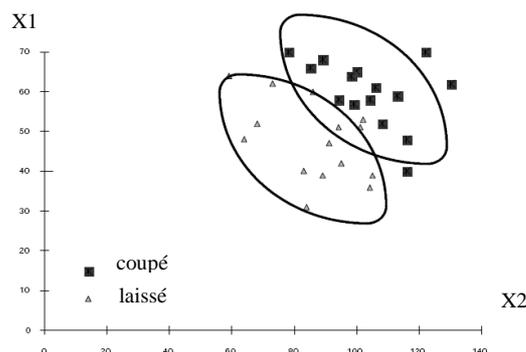
4.2.3.1 Principe

L'analyse discriminante est une technique d'analyse de données appartenant à deux groupes : le caractère Y à expliquer (la variable qualitative) et les caractères explicatifs x_i , quantitatifs (ULMO, 1973).

Il s'agit de calculer, pour chaque individu j, son score celui-ci étant la somme des coordonnées de ses catégories de valeurs.

L'analyse discriminante est donc une technique de « scoring » qui essaye de déterminer la contribution des variables qui expliquent l'appartenance des individus à l'un des deux groupes.

Une manière commode d'aborder cette analyse est d'examiner un modèle géométrique simple avec deux groupes « coupé » et « laissé » et deux variables explicatives x_1 et x_2 . Chaque individu est représenté dans le plan ci-dessous par son score (dont le détail quant à l'obtention sera donné par la suite).



Graphique 5: Coordonnées d'individus de deux groupes

Il existe, au centre, une zone d'incertitude dans laquelle, pour de mêmes valeurs de score, on retrouve les deux types d'individus. Le but de l'analyse discriminante est de trouver un axe, combinaison linéaire des variables, qui permet de réduire cette zone d'incertitude et de séparer au mieux les deux groupes.



Pour classer les individus dans un groupe, on doit fixer un score critique (cutting score) qui joue le rôle de frontière entre les groupes. Normalement, c'est la moyenne des scores des deux groupes. Si les deux groupes sont de dimensions égales, le score critique Y_{CS} est égal à la moyenne des moyennes des scores des groupes.

$$Y_{CS} = \frac{\bar{Y}_C + \bar{Y}_L}{2} \quad \text{avec C : groupe des coupés et L : groupe des laissés.}$$

Si les groupes ne sont pas égaux (et ce sera notre cas), on utilisera une moyenne pondérée du genre :

$$\bar{Y}_{CS} = \frac{n_L \bar{Y}_C + n_C \bar{Y}_L}{n_C + n_L}$$

L'intérêt de cette méthode est, qu'après une légère adaptation, elle permet de tester le pouvoir discriminant des variables (qu'elles soient seules ou associées entre elles) et de connaître les valeurs des coordonnées de ces variables qui impliquent l'appartenance à l'un des deux groupes. Ces adaptations mènent à l'Analyse Factorielle Discriminante Barycentrique, méthode retenue pour les analyses. Elle est de construction simple et tous les calculs seront effectués avec le logiciel Excel.

4.2.3.2 Application à l'étude des martelages

Notre étude vise à l'analyse d'une variable qualitative prenant la valeur « 1 » si l'arbre est coupé et « 0 » s'il est laissé sur pied.

La démarche suivante est mise en œuvre pour expliquer cette variable :

Éclatement des variables en modalités chaque variable quantitative, présentée dans les parties 4.1.1.1 et 4.1.1.2 du présent document, est scindée en modalités (2 ou 4 intervalles de valeurs selon les cas) le nombre d'individus par modalité devant être proche.

Les variables sont affectées d'un indice allant de 1 à 4. Le chiffre 1 indiquant qu'il s'agit de la modalité prenant les plus faibles valeurs, l'indice 4 indiquant qu'il s'agit de la modalité ayant les plus fortes valeurs.

La détermination des seuils des modalités est réalisée de manière à ce que chacune d'elles contiennent à peu près le même nombre d'individus.

Réalisation du tableau disjonctif : c'est un tableau binaire instruit en 0/1. Le 1 indique l'appartenance de la valeur de la variable à la modalité étudiée (le 0 marquant le cas contraire). Grâce à cette représentation des volumes de tous les individus, il est possible, visuellement, de les répartir en classes quasi homogènes.

Calcul du nombre de coupés dans chaque modalité de variable : c'est le nombre des valeurs prises par la variable qualitative « coupe » par les individus, par la variable à expliciter.

Calcul de la coordonnée de chaque modalité des variables : cette coordonnée correspond au rapport du nombre de coupés dans chaque modalité de variables sur le nombre total d'individus. C'est en fait la fréquence des individus coupés dans chacune des modalités.

Calcul de la coordonnée (score) des individus : Ce score sera égal au rapport de la somme des coordonnées des modalités dans lesquelles l'individu s'est vu attribué un « 1 » sur le nombre total de variables étudiées.

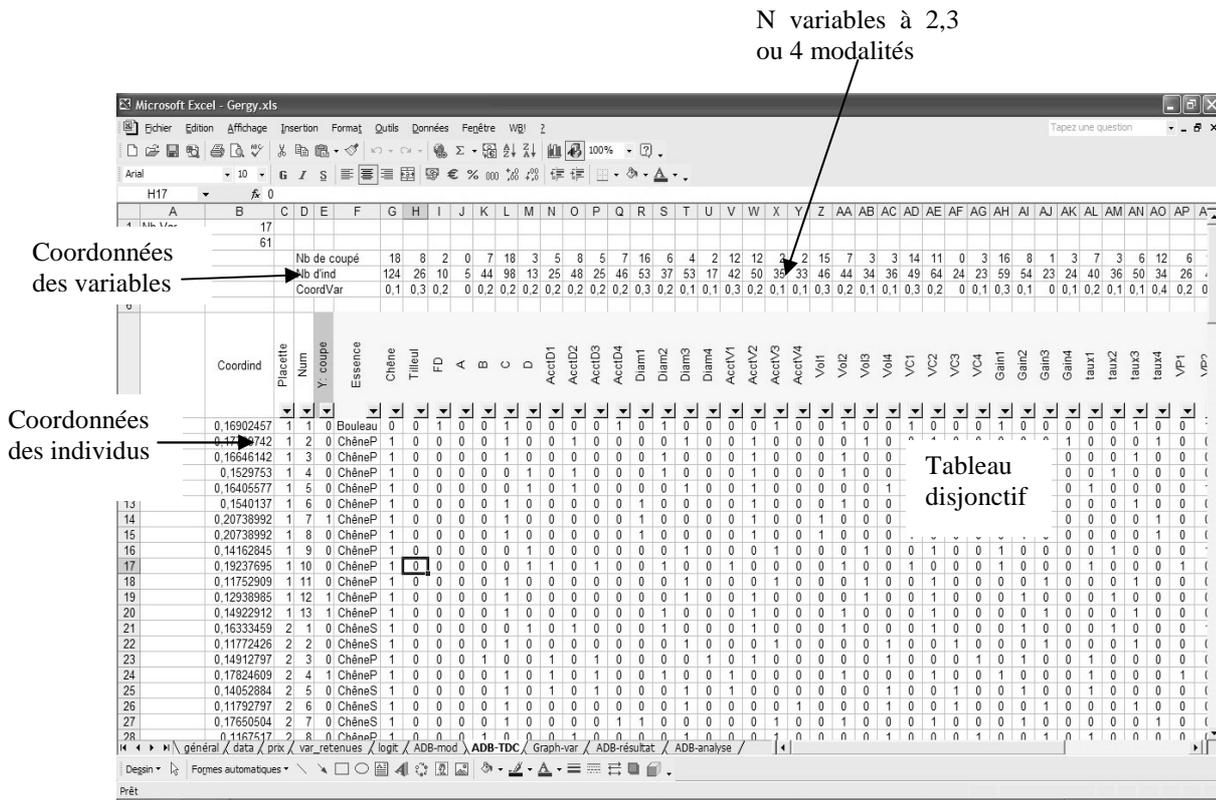


Figure 6 : Tableau disjonctif issu des variables du dispositif de Gergy

Dès lors, il est possible d'utiliser les coordonnées calculées dans deux types de représentation graphique :

Représentation graphique des coordonnées des variables :

Chaque modalité est inscrite dans un graphique où l'axe des ordonnées porte sa valeur de coordonnée. Par la suite on surexpose des traits reliant les modalités d'une même variable si celles-ci sont ordonnées selon des niveaux croissants (ou décroissants) de valeurs.

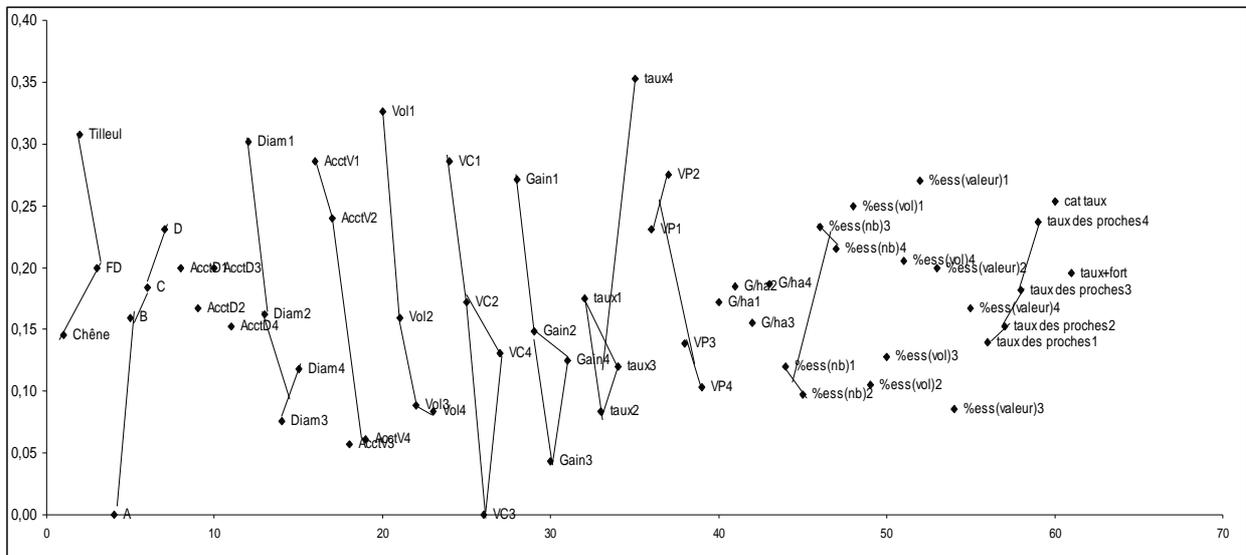
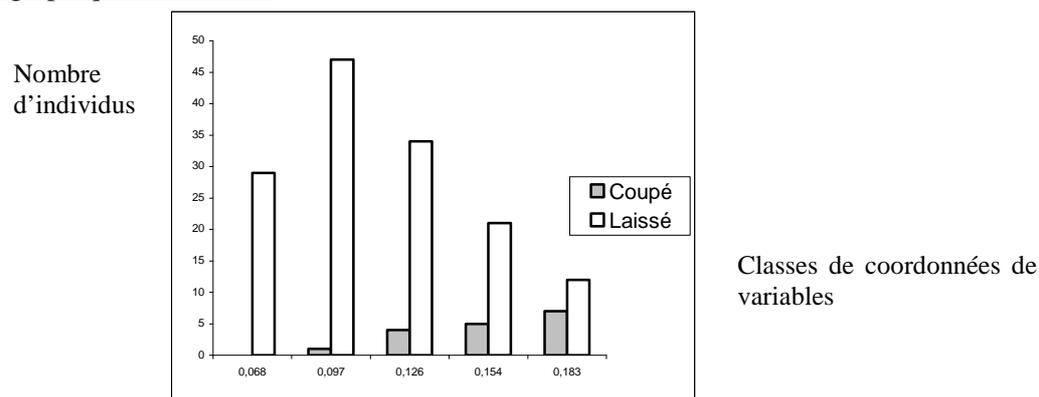


Figure 7 : Extrait du fichier d'analyse du dispositif de Gergy

Représentation graphique des scores :



Graphique 5 : Extrait du fichier d'analyse du dispositif de la Quinquengrogne

Les individus des deux groupes « coupés » et « laissés » sont regroupés en classes de coordonnées. A partir de cela, il est procédé au calcul du score critique puis à la détermination du pourcentage de bien classés dans chacune des catégories.

De ces calculs est déduite la matrice des confusions (ou tableau de contingence). C'est cette représentation qui traduira la qualité discriminante des variables.

4.3 Apport des premiers résultats sur le choix d'un outil statistique

4.3.1 L'outil statistique retenu

L'analyse des sept dispositifs est réalisée avec les deux méthodes présentées précédemment.

La régression logistique fournit les résultats suivants :

DISPOSITIF	Gergy	Chamberceau	Quinquengrogne	Renardières																																																																
Pseudo-R ² de Mac Fadden	0,165	0,144	0,264	0,418																																																																
Critère d'information d'Akaike (AIC)	147,8	172,7	105,7	97,7																																																																
% de bien prédits	82,5	85,3	91,9	91,2																																																																
Matrice	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">Prédit</th> </tr> <tr> <th>Actuel</th> <th>0</th> <th>1</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>0</th> <td>128</td> <td>4</td> <td></td> </tr> <tr> <th>1</th> <td>24</td> <td>4</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Prédit		Actuel	0	1		0	128	4		1	24	4		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">Prédit</th> </tr> <tr> <th>Actuel</th> <th>0</th> <th>1</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>0</th> <td>165</td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <th>1</th> <td>28</td> <td>3</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Prédit		Actuel	0	1		0	165	1		1	28	3		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">Prédit</th> </tr> <tr> <th>Actuel</th> <th>0</th> <th>1</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>0</th> <td>143</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <th>1</th> <td>13</td> <td>4</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Prédit		Actuel	0	1		0	143	0		1	13	4		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">Prédit</th> </tr> <tr> <th>Actuel</th> <th>0</th> <th>1</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>0</th> <td>147</td> <td>4</td> <td></td> </tr> <tr> <th>1</th> <td>11</td> <td>9</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Prédit		Actuel	0	1		0	147	4		1	11	9	
		Prédit																																																																		
Actuel	0	1																																																																		
0	128	4																																																																		
1	24	4																																																																		
		Prédit																																																																		
Actuel	0	1																																																																		
0	165	1																																																																		
1	28	3																																																																		
		Prédit																																																																		
Actuel	0	1																																																																		
0	143	0																																																																		
1	13	4																																																																		
		Prédit																																																																		
Actuel	0	1																																																																		
0	147	4																																																																		
1	11	9																																																																		
DISPOSITIF	Remilly	Grand Bois	Marchenoir																																																																	
Pseudo-R ² de Mac Fadden	0,078	0,369	0,527																																																																	
Critère d'information d'Akaike (AIC)	168,0	90,5	76,9																																																																	
% de bien prédits	89,6	97,3	91,9																																																																	
Matrice	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">Prédit</th> </tr> <tr> <th>Actuel</th> <th>0</th> <th>1</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>0</th> <td>207</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <th>1</th> <td>24</td> <td>0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Prédit		Actuel	0	1		0	207	0		1	24	0		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">Prédit</th> </tr> <tr> <th>Actuel</th> <th>0</th> <th>1</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>0</th> <td>190</td> <td>2</td> <td></td> </tr> <tr> <th>1</th> <td>11</td> <td>3</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Prédit		Actuel	0	1		0	190	2		1	11	3		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="2">Prédit</th> </tr> <tr> <th>Actuel</th> <th>0</th> <th>1</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>0</th> <td>89</td> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <th>1</th> <td>8</td> <td>13</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Prédit		Actuel	0	1		0	89	1		1	8	13																		
		Prédit																																																																		
Actuel	0	1																																																																		
0	207	0																																																																		
1	24	0																																																																		
		Prédit																																																																		
Actuel	0	1																																																																		
0	190	2																																																																		
1	11	3																																																																		
		Prédit																																																																		
Actuel	0	1																																																																		
0	89	1																																																																		
1	8	13																																																																		

Le premier fait marquant est l'obtention d'un pourcentage de bien classés toujours fort.

Les pseudo-R² de Mac Fadden est jugé assez élevé pour trois dispositifs : Marchenoir, Renardières et Grand Bois (le critère d'akaike fournissant les mêmes informations).

Une analyse plus fine doit se porter sur les tableaux de contingence. On s'aperçoit dès lors que les modèles de régression logistique optimisent le classement correct des arbres laissés sur pied et que les tiges coupées ne semblent pas utilisées pour la discrimination.

Pour ces tiges coupées, l'analyse doit se prolonger :

Dispositif	Gergy	Chamb.	Quinq.	Renard.	Remilly	G.Bois	March.
% de tiges coupées bien classées	14	10	24	45	0	21	62
% de tiges coupées lors du martelage	21	16	11	12	10	7	19

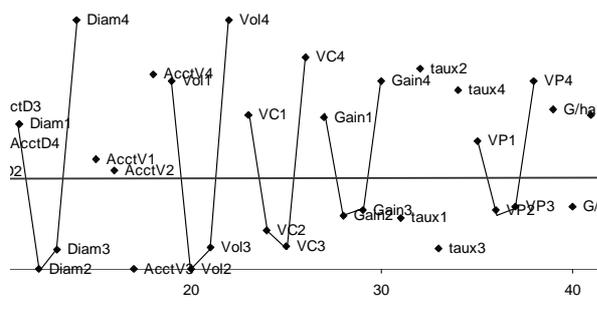
Seul le dispositif de Marchenoir semble fournir des valeurs satisfaisantes, aussi bien au niveau de la matrice que des critères d'information.

Pour les six autres, le déséquilibre en nombre des deux populations (laissées/coupées) semble rendre inopérantes les itérations de la régression logistique. En effet, la méthode du maximum de vraisemblance semble se satisfaire du classement correct de la population majoritaire.

Or, dans les analyses que nous aurons à mener, le déséquilibre sera un fait permanent puisque le taux de prélèvement maximum en futaie irrégulière devra toujours être de l'ordre de 20 %.

En ce qui concerne le dispositif de Marchenoir, l'explication du fonctionnement apparent du modèle trouve sa source dans la description du dispositif. En effet, il se caractérise par de faibles surfaces terrières des réserves (de l'ordre de 10 m²/ha). Le taillis y est prédominant. On retrouve ces caractéristique dans la coupe qui intègre deux types de produits : 13 chênes de diamètre de 60 cm et plus, et 8 tiges issues du taillis.

L'analyse graphique fournit des résultats de ce type :



La forme caractéristique du lien entre des variables normalement hiérarchiques montre bien l'existence de deux populations au sein du même peuplement.

L'existence de deux produits fondamentalement différents peut nous laisser imaginer que les modèles issus de la régression logistique classeront naturellement les arbres coupés en deux groupes distincts, dont la répartition en effectif sera de l'ordre de 50 %.

Mais ce cas est exceptionnel et ne permet pas d'occulter les faibles pourcentages de classement adéquat fournis sur les autres dispositifs.

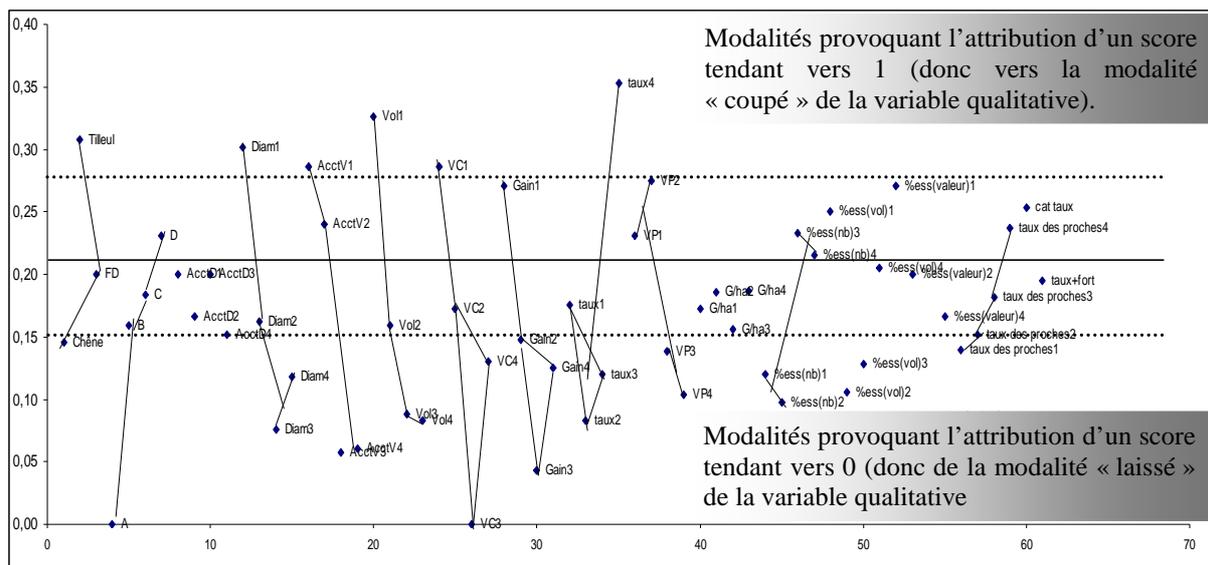
La faible pertinence des résultats en régression logistique nous pousse à choisir par défaut la méthode d'analyse statistique adaptée aux martelages du réseau AFI. Il s'agira de l'Analyse Factorielle Discriminante Barycentrique (A.F.D.B.).

4.3.2 Stratégie d'analyse liée à l'A.F.D.B.

4.3.2.1 Les analyses préalables

Analyse du graphique des coordonnées des variables :

- Le trait continu indique la valeur du score critique discriminant les deux populations.
- Les traits discontinus indiquent les valeurs de ce même score critique auquel on ajoute ou on retire deux fois la valeur de l'écart type obtenu sur la distribution des coordonnées de la population au complet. Ce choix nous permettra d'identifier visuellement les modalités qui « impactent » le plus l'appartenance à l'un des deux groupes de la variable qualitative.



Graphique 6 : Coordonnées des variables du dispositif de Gergy

Remarque : La distribution des individus tend vers une loi normale. L'intervalle [Espérance-2 σ , Espérance+2 σ] est la plage de normalité au niveau de confiance 95% (95% de la population est dans cet intervalle).

Test d'un modèle simplifié (mise à l'écart des variables redondantes) :

L'analyse fut menée préalablement avec les 20 variables présentées. Très vite, ce nombre élevé (entraînant l'analyse de 64 modalités) nous a semblé avoir un effet de dilution de l'information. Nombre d'entre elles n'apportaient jamais d'informations discriminantes.

D'autre part, la régression logistique a apporté une information supplémentaire. En effet, les rapports produits par S-PLUS ne fournissaient jamais de valeurs pour la variable « Valeur Potentielle ». L'observation de la formule aboutissant à cette valeur nous montre que la valeur potentielle est, à une constante près (le taux d'actualisation), égale au gain. Or, le modèle détectant cette corrélation, refuse d'intégrer deux fois la même variable.

De tout ceci, nous est venue l'idée de simplifier le modèle en se séparant des variables redondantes ou n'apportant jamais d'informations.

Les variables abandonnées à ce niveau sont :

Variable	Cause de l'abandon
Accroissement en diamètre	Redondant avec l'accroissement en volume (qui, lui, est conservé car il permet également d'avoir un estimatif de la vitalité de la tige)
Volume	Quasi redondant avec le diamètre puisqu'il est obtenu par l'emploi d'un tarif de cubage dont l'entrée se fait par le diamètre
Taux	S'obtient en divisant le gain par la valeur de consommation, deux variables qui sont conservées
La Valeur Potentielle	Redondant avec le gain
Les catégories de VC et de taux	Car ce sont des variables qualitatives et qu'elles n'ont pas apporté d'informations lors des tests.
Les VC et Taux les plus forts	

A partir de maintenant, les analyses menées le seront sur les 12 variables restantes. Ces analyses utiliseront la démarche présentée dans la partie 4.2.3.

Test individuel des variables :

L'idée ici est, une fois l'analyse complète effectuée, d'utiliser les fichiers établis pour tester individuellement chacune des variables.

L'intérêt est de connaître le niveau de discrimination de chacune d'elles et surtout sur quelle population elles ont de l'impact.

4.3.2.2 *La stratégie d'analyse*

L'obtention des variables explicatives du martelage se fera selon la stratégie suivante :

- 1- On compare les modèles A.F.D.B. obtenus avec l'ensemble des variables et avec les variables simplifiées. On vérifie que l'on n'a pas perdu d'informations sinon on cherche la variable responsable de la perte.
- 2- On réalise une A.F.D.B. avec chacune des variables prises individuellement. On retient d'abord celles qui classent les coupés et les laissés à plus de 55% puis celles qui classent les coupés à plus de 55% et les laissés à plus de 45%. Ce sont les variables discriminantes pour la coupe. En deçà de 45 %, la variable a un effet négatif sur le classement dans la catégorie. Entre 45 et 55 % la variable a un effet neutre (puisque l'on peut considérer que chaque individu a 50 % de chance d'être classé dans un des deux groupes).
- 3- On pratique une analyse graphique et on retient les variables dont les coordonnées sont supérieures à deux fois l'écart type des coordonnées de tous les individus (comme précisé dans la partie précédente). On estime ainsi que la catégorie de la variable tire la population vers sa zone de prédiction.
- 4- On retient les variables qui sont réellement discriminantes car données à la fois lors des analyses décrites aux points 2 et 3. Ces variables sont les "guides" du martelage. On les note en rouge. A ce niveau, une analyse globale à l'échelle de tous les dispositifs est possible. Elle présentera l'intérêt de faire ressortir les critères les plus souvent employés en futaie irrégulière pour choisir les arbres à enlever.
- 5- On revient sur les fiches décrivant les dispositifs et on vérifie si le martelage est conforme aux objectifs fixés sur la parcelle. A partir de ce stade, il sera possible de faire l'analyse fine au niveau de chacun des dispositifs étudiés.

4.4 Synthèse des résultats à l'échelle de l'ensemble des dispositifs étudiés

4.4.1 Les résultats globaux

Le tableau 11 détaillant les résultats de tous les dispositifs est présenté sur la page suivante. Il comporte :

- Les résultats de la régression logistique avec les valeurs obtenues pour le t de Student de chaque variable, le R^2 du modèle ainsi que les pourcentages de classements corrects donnés par le modèle complet.
- Les pourcentages de classements corrects, donnés par l'A.F.D.B., pour chaque variable et pour le modèle englobant toutes les variables retenues. Dans la colonne :
 - ↳ « % coupé » est inscrit le pourcentage de tiges coupées qui sont bien classées,
 - ↳ « % laissé » est inscrit le pourcentage de tiges laissées qui sont bien classées,
 - ↳ « % total » est inscrit le pourcentage de tiges qui sont bien classées.

Dispositif	03-CHAMBERCEAU				05-GERGY				06-QUIQUENGROGNE C2				08-RENARDIERES				09- REMILLY				12-LE GRAND BOIS Coupe2				54-MARCHENOIR			
	t logit	%coupé	%laissé	%total	t logit	%coupé	%laissé	%total	t logit	%coupé	%laissé	%total	t logit	%coupé	%laissé	%total	t logit	%coupé	%laissé	%total	t logit	%coupé	%laissé	%total	t logit	%coupé	%laissé	%total
Essence	-0,55	72	37	42	0,56	29	86	76	-0,09	12	82	75	0,62	85	24	31	1,33	10	95	87	-2,24	64	51	51	-0,15	33	100	87
Qualité	-1,96	59	59	59	1,14	11	92	78	-2,33	88	36	42	-2,24	80	40	45	-1,07	83	23	29	0,36	86	35	38	-2,5	14	93	78
Diamètre	0,36	60	81	75	-0,72	57	72	69	-1,36	65	71	70	3,68	40	78	74	1,45	77	46	49	0,19	71	76	76	-0,1	95	56	63
Acct volume	-0,6	97	26	37	-2,21	86	48	55	-1,44	47	84	80	-3,45	40	79	74	-0,91	58	62	62	2,02	64	51	52	1,17	52	77	72
VC	2,24	42	76	71	0,79	50	73	69	-0,09	59	80	78	-1,42	70	54	56	0	75	56	58	-1,05	79	77	77	2,59	86	57	62
Gain	-1,07	33	78	71	0,97	57	67	65	1,11	65	78	77	0,3	60	52	53	0,59	63	60	60	-1,05	86	53	55	0,72	71	61	63
G/ha	-0,26	26	81	73	-0,19	57	72	69	-1,85	71	56	58	1,51	55	50	51	-0,28	42	64	62	-0,29	93	42	43	-1,25	76	54	59
%ess(nb)	-0,44	76	47	51	0,98	75	45	50	0,49	35	78	73	0,57	35	81	76	-0,51	67	47	49	1,41	71	55	56	0,76	33	100	87
%ess(vol)	0,49	73	48	52	0,15	68	52	55	-0,33	59	51	52	0,21	45	73	70	0,7	67	55	56	-1,36	36	74	71	-0,65	43	94	85
%ess(valeur)	-0,1	77	46	51	-0,63	39	55	52	-0,32	71	56	58	0,07	45	70	53	-0,32	67	57	58	0,49	86	48	50	-0,63	33	100	87
VC proches	-0,65	75	50	54	-1,34	32	78	70	-0,32	53	76	74	2,58	80	47	73	0,68	65	55	56	-0,57	64	52	53	0,44	38	72	66
taux proches	1,31	35	75	65	0,62	29	75	67	-0,62	71	52	54	2,63	40	77	88	-0,87	33	77	73	-0,17	79	51	52	-0,28	38	82	74
AFDB-Toutes variables		69	59	61		57	73	70		76	72	73		65	79	78		71	61	62		93	70	71		57	96	88
Logit-Toutes variables / R²	0,144	10%	98%	85%	0,165	14%	97%	82%	0,264	24%	100%	92%	0,418	45%	97%	92%	0,078	0%	100%	90%	0,369	21%	99%	97%	0,527	62%	99%	92%
variables discriminantes pour la coupe	Qualité % essence en nombre % essence en volume % essence en valeur VC des proches	Diamètre			Diamètre accroissement en volume Gain G/ha % essence en nombre % essence en volume				Diamètre VC Gain G/ha taux des proches				VC Gain VC proches	Diamètre Acct Vol VC Gain % ess(nb)	% ess(vol) %ess(valeur) VC proches		Essence Diamètre AcctV VC Gain	G/ha % ess(nb) %ess(valeur) Vc proches taux proches		Diamètre VC Gain G/ha								
Variables graphiques de coupe	Hêtre QualD Diam4 VC4 VCproche1	Gain3 %ess(nb)3 %ess(vol)3 %ess(valeur)3 Taux proche3			Tilleul Diam1 AcctV1 VC1 Gain1	Taux4 VP2 %ess(vol)1 %ess(valeur)1			QualitéD Diam1 AcctV1 VC1 Gain1	Taux proches4			Qualité CD Diamètre4 AcctV1 %ess nb2 %ess vol2	VC2 Gain3 VCproche4 Taux proche4 %ess valeur2		FD QualD AcctV2 VC2 Gain3	%ess(vol)4 %ess(valeur)4 VC proches4 Taux proches 1		Diam1 VC1 Gain1-2 G/ha2 %ess(nb)4	%ess(valeur)2 taux proches4			FD QualA Diam4 AcctV4 VC4	Gain4 %ess(nb)1 %ess(vol)1 %ess(valeur)1 Taux proches4				
Variables graphiques des laissés	FP FD AcctV1 VCproche2	%ess(nb)1 %ess(vol)1 %ess(valeur)1			QualitéA Diam3 AcctV3-4	VC3 Gain3			QualA Diam4 AcctV4 VC4	Gain4 Taux proches2			Qualité AB Diam1 AcctV4 %ess vol1	VC1 VCproche2 Gain4 %ess valeur1		Charme Diam1 AcctV1 Vol1	VC1		QualitéA Diam2-3 VC3-4 Gain4	%ess(valeur)4			Diam2-3 AcctV3 VC3					

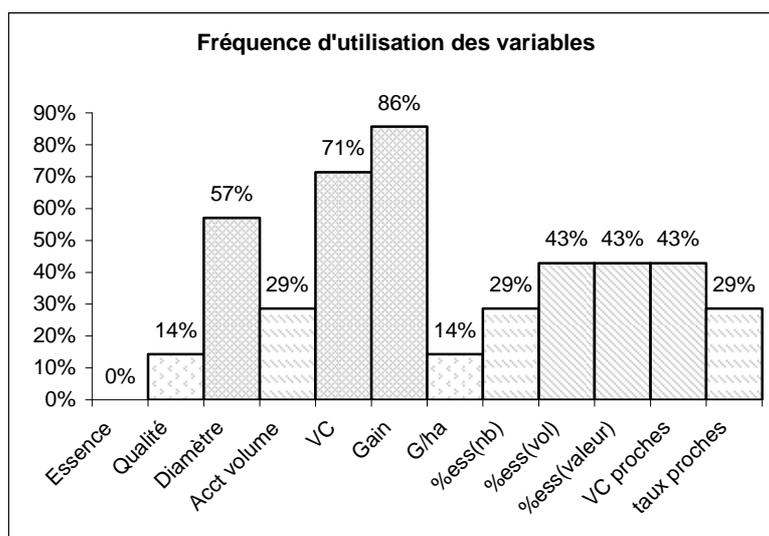
Tableau 11 : Résultats de l'analyse statistique des dispositifs étudiés

- Les variables discriminantes pour la coupe : ce sont les variables dont le pourcentage de classements corrects des coupés est supérieur à 55 % alors que le pourcentage de classements corrects des laissés est d'au moins 45 %.
- Les variables graphiques de coupe : ce sont les catégories de variables dont les coordonnées sont supérieures à la moyenne des coordonnées des individus plus deux fois l'écart type des coordonnées des individus. Notons que le chiffre présent après l'abréviation de la variable indique la catégorie. Pour toutes les analyses, les catégories ont des chiffres d'autant plus bas que les valeurs de l'intervalle sont faibles. Le détail des bornes des intervalles sera donné, par dispositif, lors de l'analyse de chacun d'entre eux.
- Les variables graphiques des laissées : ce sont les catégories de variables dont les coordonnées sont inférieures à la moyenne des coordonnées des individus moins deux fois l'écart type des coordonnées des individus.

En rouge, sont indiquées :

- ❖ Les valeurs de t supérieures à 1,96 (le seuil de significativité à 95 %).
- ❖ Les valeurs de classements corrects des tiges coupées supérieurs à 55 % alors que celles des tiges laissées est d'au moins 45 %.
- ❖ Les variables qui sont à la fois discriminantes pour la coupe et dont l'effet est attesté graphiquement.

La fréquence d'utilisation des variables comme critère de martelage est donnée par l'histogramme suivant. Il représente le pourcentage de dispositifs ayant la variable comme « guide » de martelage.



Graphique 7: Fréquence d'utilisation des variables comme guide de martelage

4.4.2 Les variables les plus fréquentes

L'analyse globale porte sur des dispositifs hétérogènes et leur nombre est trop faible pour qu'elle puisse être pertinente. Cependant il est possible d'en extraire des tendances.

L'histogramme précédent fait ressortir que le gain est le critère principal de choix de martelage. Ce résultat est très intéressant puisqu'il valide à lui seul le fait que les principes de la futaie irrégulière sont bien utilisés.

Arrive ensuite la valeur de consommation. Quatre fois sur cinq ce sont les faibles valeurs de cette variable qui guident le martelage. Cette action traduit l'amélioration des peuplements par la coupe des tiges n'ayant pas d'intérêt économique et cela au profit des belles tiges. Nous sommes également dans des critères de choix conformes aux préceptes de la futaie irrégulière lorsque les peuplements ne sont pas à l'équilibre.

Enfin, le diamètre guide quatre martelages sur sept. Mis à part le dispositif de Marchenoir où la coupe intervient dans des grosses tiges homogènes, les diamètres « guides » ont toujours des valeurs faibles et sont toujours associés à des gains faibles. Conformément aux préceptes de la futaie irrégulière, l'amélioration des peuplements se réalise par l'enlèvement des petites tiges sans valeur aujourd'hui et, surtout, sans valeur dans le futur.

4.4.3 Les variables « oubliées » et les points particuliers

L'intérêt ici est de pointer du doigt la faible utilisation de certaines variables pourtant facilement observables.

Les répartitions, qu'elles soient en nombre, en volume ou en valeur, n'interviennent pas de façon majoritaire. C'est le même constat pour les variables construites par observation des tiges voisines et pour la surface terrière à l'hectare (les valeurs ne varient pas de manière significative d'une placette à l'autre car les peuplements sont gérés en faible capital).

La qualité n'a été utilisée qu'une seule fois (pour mémoire, à Chamberceau sur des mauvaises qualités D). Il semble que les gestionnaires intègrent cette notion dans l'évaluation mentale du gain ou de la valeur de consommation sans pour autant l'utiliser seule comme critère.

Enfin, une variable n'est jamais utilisée, c'est l'essence. Cette donnée est intéressante puisqu'elle illustre bien le fait que les gestionnaires ne martèlent pas dans une seule classe d'essence mais qu'en prélevant dans toutes les classes, ils assurent le maintien de la biodiversité. On est donc bien loin des comportements consistant à systématiquement « taper » dans les feuillus divers pour dégager les tiges d'essence objectif.

4.5 Synthèse des résultats par dispositif

Les données générales ont été détaillées précédemment. Il s'agit maintenant d'analyser plus finement chacun des dispositifs.

Nous fournissons, pour l'analyse, un résumé de la description des dispositifs ainsi que les principaux éléments des commentaires réalisés à l'échelle du réseau AFI.

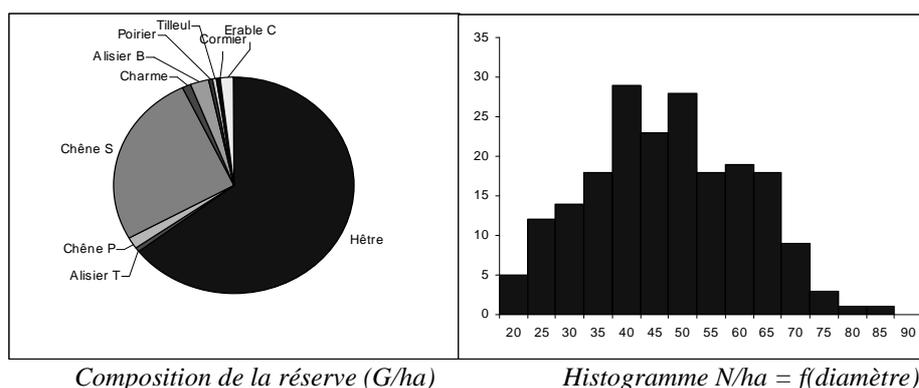
4.5.1 Le dispositif de Chamberceau

4.5.1.1 État initial

Ce dispositif de 7,14 ha se situe dans la région naturelle de la Montagne Bourguignonne.

Ses caractéristiques actuelles sont :

- ↪ Une surface terrière des réserves égale à 12,7 m²/ha (avec 0,7 m²/ha pour le taillis et 0,4 m²/ha pour les perches).
- ↪ Un déficit en petits bois.
- ↪ Une régénération suffisante pour le hêtre mais absente pour les autres essences. Cependant, le dispositif compte 82 perches par ha.
- ↪ Une bonne qualité (près d'un tiers de A+B) concentrée dans les gros bois.



L'évolution sur les dernières années :

Le dispositif a subi de plein fouet la tempête de 1999. La variation de la valeur potentielle et de la valeur de consommation n'a pas d'intérêt tant que le peuplement ne s'est pas reconstitué. Notons qu'avant l'incident, ces valeurs étaient en constante progression.

L'accroissement annuel en surface terrière est de l'ordre de 0,4 m²/ha/an.

Le passage à la futaie (0,8 tiges/ha/an sur la période 1998-2003) devrait naturellement s'accroître suite à la tempête qui, en créant des trouées, a provoqué l'installation d'une régénération dynamique.

4.5.1.2 Commentaires sur la gestion préconisée

La coupe étudiée est intervenue en 1999. A l'époque, les préconisations du réseau AFI pouvaient se résumer de cette manière :

- 1- Ajuster le taux de prélèvement pour permettre au capital sur pied de s'accroître.
- 2- Améliorer dans les bois moyens et les gros bois pour augmenter à terme la part de qualité A+B.
- 3- Assurer la régénération.
- 4- Recruter dans les perches de qualité pour pallier le déficit de petits bois.

4.5.1.3 Analyse du martelage effectué

Les variables significatives sont :

Variable	Intervalle de valeur	Signification
Qualité D	Sans objet	Le taux de prélèvement est plus fort pour des bois de très mauvaise qualité (30 % des tiges D sont coupées).
Diamètre 4	60 cm et plus	Les opérations se sont concentrées sur les tiges les plus grosses.
%essence(nb)3	65 à 85 %	Le martelage n'a touché que les essences dominantes du peuplement (et essentiellement le hêtre qui, à lui seul, rend significatifs ces intervalles de valeurs).
%essence(vol)3	85 à 92 %	
%essence(val)3	85 à 94 %	
VC proche1	0 à 25 €	La coupe est une opération de récolte de tiges ayant à leur voisinage des tiges de valeur actuelle moindre (mais assurant la valeur du peuplement dans le futur).

Le martelage a eu deux orientations distinctes : le prélèvement des gros bois mûrs (comportant une part importante de bonne qualité) et l'amélioration du peuplement par l'enlèvement de tiges de très mauvaise qualité.

Notons que des variables « manquent » à l'analyse :

Variable	signification
Essence	Le martelage touche les hêtres et les chênes dans les mêmes proportions que celles rencontrées sur la parcelle.
AcctV	Le prélèvement touche autant les tiges dominées que les dominantes.
VC	Le martelage se dirige vers des tiges présentant des niveaux de valeur de consommation très différents.
Gain	Le gain n'a pas dirigé le martelage.
G/ha	Variant de 8 à 20 m ² , cette donnée n'a pas orienté le taux de prélèvement.
taux des proches	La situation des tiges de proximité est hétérogène

Le fait marquant de cette analyse est l'absence de la variable « Gain ». Une telle situation, dans un contexte irrégulier, pourrait avoir deux explications possibles :

- Les essences présentes ont des valeurs de gain très homogènes et insuffisamment différentes pour pouvoir orienter le choix de martelage in situ. C'est le cas sur ce dispositif puisque le gain moyen des tiges martelées est de 3 € avec une valeur maximale à 9 €.
- Le dispositif est parfaitement à l'équilibre et l'accroissement du peuplement est concentré sur des tiges de qualité. Dès lors, le gain peut être mis de côté au profit d'un martelage uniquement guidé par le diamètre.

Une étude plus précise des données du martelage montre les résultats suivants :

		Essence		
Catégorie	Qualité	Hêtre	Chêne	Total
BM	C	5	3	8
	D	1	2	3
Total BM		6	5	11
GB	A	2		2
	B	12		12
	C	4		4
	D	2		2
Total GB		20		20

Tableau 12: Nombre d'arbres martelés selon le diamètre, l'essence et la qualité

Dans notre cas, les tiges de qualité sont loin de dominer et le prélèvement ne laisse pas supposer un travail dans un dispositif à l'équilibre. Par contre, le hêtre y est omniprésent et c'est donc l'homogénéité de ces valeurs de gain qui explique l'absence de significativité de cette variable.

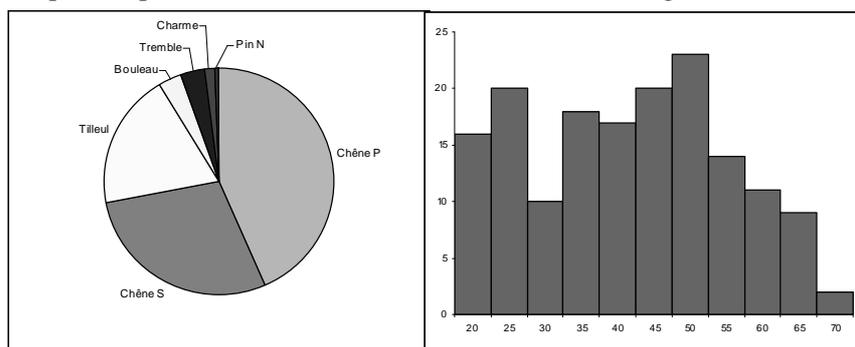
4.5.2 Le dispositif de Gergy

4.5.2.1 État initial

Ce dispositif de 7,4 ha se situe en Bourgogne, dans la vallée de la Saône. Il illustre la gestion d'un mélange de chêne sessile et de chêne pédonculé en milieu hydromorphe et permet d'observer la régénération en trouées.

Ses caractéristiques actuelles sont :

- ↪ Une surface terrière des réserves égale à 15 m²/ha (avec 1,2 m²/ha pour le taillis de tilleul et 1,4 m²/ha pour les perches).
- ↪ Un manque de perches qui se compense par la présence de gaules.
- ↪ Une régénération suffisante dans des trouées de surface inférieure à 4 ares.
- ↪ Une bonne qualité (près d'un tiers de A+B) concentrée dans les gros bois.



Composition de la réserve (G/ha)

Histogramme N/ha = f(diamètre)

L'évolution sur les dernières années :

Une valeur potentielle globale qui s'accroît régulièrement depuis 10 ans (dans les mêmes proportions que la valeur de consommation).

L'accroissement annuel en surface terrière est de 0,54 m²/ha/an (en diamètre il est de 0,6 cm/an pour le chêne sessile et de 0,5 cm/an pour le chêne pédonculé). Ces valeurs ont tendance à décroître légèrement.

Le passage à la futaie (8,3 tiges/ha/an sur la période 1998-2003) concerne la quasi-totalité des essences présentes avec 60 % de tilleul et 10 % pour chacune des essences suivantes : chêne sessile, charme, bouleau et tremble.

4.5.2.2 Commentaires sur la gestion préconisée

Les préconisations du réseau AFI peuvent se résumer de cette manière :

- 1- Accroître le taux de prélèvement qui est assez nettement inférieur à l'accroissement.
- 2- Améliorer dans les bois moyens en prélevant dans les tiges de mauvaise qualité (C+D).
- 3- Surveiller les nombreuses tâches de régénération de chêne.
- 4- Prélever quelques grosses tiges de bonne qualité.

Les coupes étudiées sont intervenues en 2000 et 2001 l'objectif étant de réaliser une opération d'amélioration couplée à une gestion du taillis de tilleul.

4.5.2.3 Analyse du martelage effectué

Les variables significatives sont :

Variable	Intervalle de valeur	Signification
Diamètre1	17 à 35 cm	Le prélèvement touche les petits bois et les bois moyens les plus petits.
Gain1	0 à 0,7 €/ha/an	Ces brins n'auront pas d'accroissement de valeur dans un futur proche.
AcctVolume1	0,015 m ³ /ha/an	Les tiges sélectionnées étaient soit déperissantes, soit dominées car leur accroissement en volume est quasi nul.
%essence(vol)1	0 à 30 %	Le travail s'est attaché à sélectionner parmi les catégories d'essences minoritaires en volume. L'étude précise des données du martelage montre que la significativité de cette variable est due au fait que la majorité des tilleuls sont prélevés sur deux placettes où ils sont minoritaires.

L'analyse statistique montre une sélection significativement plus importante de tiges de diamètre inférieur à 35 cm, de mauvaise qualité puisque, à petit diamètre, elles ont un gain quasi nul et un accroissement en volume très faible.

Notons que des variables « manquent » à l'analyse :

Variable	signification
essence	Le martelage ne s'oriente pas vers une essence en particulier.
Qualité	Des brins de toutes qualités sont martelés. Ceci est dû à l'existence conjointe de deux type d'action : amélioration des PB-BM et récolte de GB.
VC	Le martelage se dirige vers des tiges présentant des niveaux de valeur de consommation très différents.
G/ha	Variante de 12 à 20 m ² , cette donnée n'a pas orienté le taux de prélèvement.
% essence en nombre et en valeur	Leur absence prouve que le prélèvement s'est dirigé vers toutes les catégories d'essences et de diamètres. Le fait que le pourcentage en volume soit explicatif est un artéfact lié au martelage des petits tilleuls concentrés sur deux placettes.
VC et taux des proches	Ces deux variables indicatrices des opérations d'amélioration sont absentes. Le fait que la coupe étudiée comporte deux opérations sylvicoles différentes (amélioration en BM et récolte de GB mûrs) « gomme » la significativité attendue.

L'analyse statistique montre bien l'opération d'amélioration réalisée dans les petits bois et les bois moyens. Néanmoins, la réalisation conjointe de deux opérations sylvicoles très différentes a pour

conséquence de masquer l'apparition de certaines variables attendues telle la valeur de consommation ou les critères des proches.

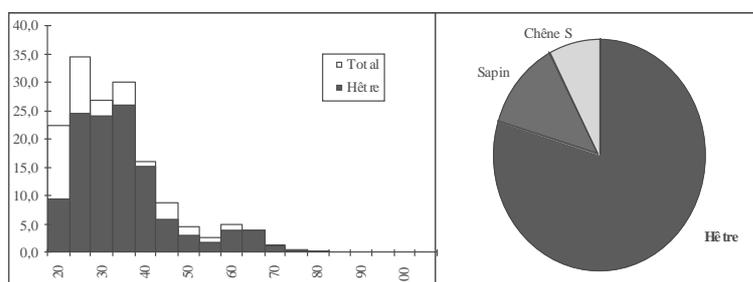
4.5.3 Le dispositif de Quinquengrogne

4.5.3.1 État initial

Ce dispositif de 8,8 ha se situe en Franche-Comté. Il est géré en irrégulier depuis 1975, l'objectif étant d'y produire des hêtres de grande qualité.

Ses caractéristiques actuelles sont :

- ↪ Une surface terrière des réserves égale à 15,7 m²/ha (avec 2 m²/ha pour les perches).
- ↪ Une parcelle proche de l'équilibre pour sa répartition en classe de diamètre.
- ↪ Une régénération importante de hêtre et de sapin.
- ↪ Une bonne qualité (plus d'un tiers de A+B) avec un fort potentiel dans les bois moyens.



Histogramme N/ha = f(diamètre) Composition de la réserve (G/ha)

L'évolution sur les dernières années :

La valeur potentielle globale de même que la valeur de consommation se maintiennent à de forts niveaux depuis 1993.

L'accroissement annuel en surface terrière est de 0,56 m²/ha/an (en diamètre il est de 0,6 cm/an pour le hêtre et de 0,4 cm/an pour le chêne). Ces valeurs ont tendance à diminuer sur la période étudiée.

Le passage à la futaie (3,3 tiges/ha/an sur la période 1998-2003) ne concerne plus que le sapin. Sur la période précédente (1993-1998), ce passage à la futaie était de 10 tiges/ha/an dont 3/4 de hêtre.

4.5.3.2 Commentaires sur la gestion préconisée

Les préconisations du réseau AFI peuvent se résumer de cette manière :

- 1- Maintenir des taux de prélèvement proche de l'accroissement biologique.
- 2- Améliorer dans les petits bois et un peu dans les bois moyens en prélevant des tiges de mauvaise qualité (C+D).
- 3- Surveiller les nombreuses tâches de régénération de hêtre qui viendront naturellement combler le déficit de passage à la futaie de cette essence.
- 4- Mettre en œuvre l'ensemble des consignes de gestion en futaie irrégulière puisque le peuplement est en équilibre.

La coupe étudiée, intervenue en deux temps (1999 et 2002), est une opération sylvicole particulière qui consistera à améliorer dans les petits bois pour assurer l'équilibre à long terme. Partant de là, l'analyse statistique du martelage devrait faire ressortir les variables significatives liées aux petites tiges sans valeur actuelle et sans valeur future.

4.5.3.3 Analyse du martelage effectué

Les variables significatives sont :

Variable	Intervalle de valeur	Signification
Diamètre1	15 à 30 cm	Le prélèvement touche préférentiellement des petites tiges.
VC1	0 à 6 €	La majorité de ces tiges n'a pas de valeur actuellement,
Gain1	0 à 1,2 €/ha/an	et, vu leur diamètre, elles n'ont pas de valeur dans un futur proche.
Taux proches4	8 % et plus	Les tiges voisines présentent un fort potentiel financier

L'analyse statistique prouve de manière indéniable que le martelage réalisé est conforme à l'objectif d'amélioration dans les petits bois. Les petites tiges enlevées n'ont pas de valeur potentielle à long terme alors que les tiges présentes à leur côté ont une valeur dans l'avenir.

Notons que des variables « manquent » à l'analyse :

Variable	signification
essence	Le martelage ne s'oriente pas vers une essence en particulier.
Qualité	Nous avons affaire à des petites tiges où la qualité n'est pas encore exprimée.
AcctVolume	Le prélèvement concerne aussi bien des individus dominés que dominants.
G/ha	Variant de 9 à 20 m ² , cette donnée n'a pas orienté le taux de prélèvement.
%essence(nombre, volume, valeur)	Les prélèvements se sont orientés vers toutes les catégories d'essences dans de mêmes proportions que celles rencontrées sur la parcelle.
VC des proches	Le travail a lieu dans des zones à petits bois ne présentant pas encore de valeur de consommation significative.

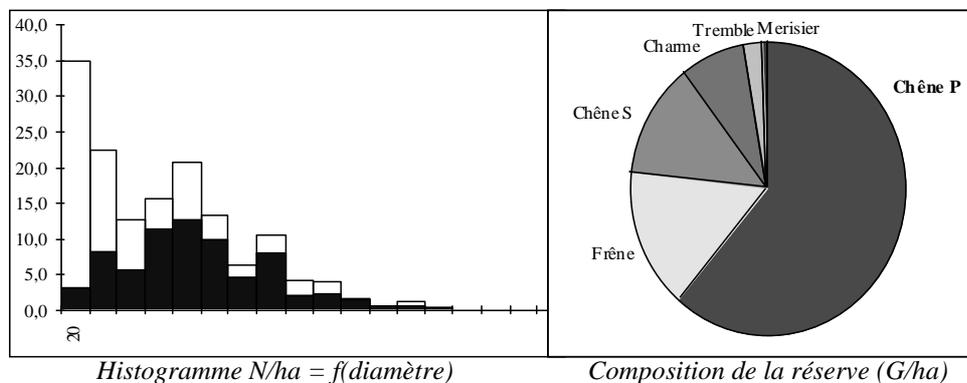
4.5.4 Le dispositif de Renardières

4.5.4.1 État initial

Ce dispositif de 13,3 ha, situé dans la région naturelle de Puisaye, se compose de chênes pédonculés et de frênes. Il est géré sur le mode irrégulier depuis 1991.

Ses caractéristiques actuelles sont :

- ↪ Une surface terrière des réserves égale à 17 m²/ha.
- ↪ Un déficit en bois moyen.
- ↪ Une quasi absence de régénération du chêne alors que celle du frêne est satisfaisante.
- ↪ Une bonne qualité (38 % de A+B) concentrée dans les bois moyens et les gros bois.



L'évolution sur les dernières années :

Une valeur potentielle globale qui augmente régulièrement depuis 1994 (de même pour la valeur de consommation).

Un accroissement annuel en surface terrière qui est de 0,59 m²/ha/an (en diamètre il est de 0,5 cm/an). Ces valeurs se maintiennent sur la période étudiée.

Le passage à la futaie (7,1 tiges/ha/an) concerne à 70 % les charmes, à 12 % les chênes et pour les 18 % restant les frênes, les merisiers et les trembles.

4.5.4.2 Commentaires sur la gestion préconisée

Les préconisations du réseau AFI peuvent se résumer de cette manière :

- 1- Maintenir des taux de prélèvement proches de l'accroissement biologique.
- 2- Améliorer dans les gros bois et les bois moyens en prélevant des tiges de mauvaise qualité (C+D).
- 3- Récolter les quelques gros bois de qualité arrivés à maturité.
- 4- Réduire la dynamique du charme pour maintenir une régénération suffisante.
- 5- Travailler au profit des perches de qualité pour accroître le passage à la futaie et le pourcentage de qualité A et B dans les petits bois.

Partant de là, l'analyse statistique du martelage devrait faire ressortir les variables significatives liées à l'amélioration des peuplements, à savoir de fortes valeurs pour les variables des tiges proches et de faibles valeurs de consommation pour les tiges enlevées.

4.5.4.3 Analyse du martelage effectué

La coupe de bois d'œuvre est exploitée en 2001.

Les variables significatives sont :

Variable	Intervalle de valeur	Signification
VC2	15 à 100 €	Le gestionnaire a prélevé les tiges de peu de valeur mais payant au moins les frais d'exploitation.
Gain3	4 à 13 €/ha/an	Ces valeurs pourraient correspondre à des chênes de qualité C et de diamètre compris entre 40 et 60 cm.
VCproche4	300 € et +	L'opération est effectuée au profit des tiges de qualité et présentant de fortes valeurs.

On retrouve les variables d'amélioration des peuplements avec le prélèvement des tiges dont la valeur couvre au moins les frais d'exploitation et cela au profit des tiges voisines présentant de fortes valeurs de consommation.

Notons que d'autres variables « manquent » à l'analyse :

Variable	signification
Essence	Toutes les catégories d'essence ont été prises en compte
Qualité	Alors que la volonté d'amélioration est constatée, le gestionnaire a prélevé dans toutes les classes de qualité en favorisant les tiges les plus belles tout en réalisant un lot de bois commercialisable (prélèvement de belles tiges qui « gênent » des tiges encore plus belles).
Diamètre	Toutes les catégories de diamètre ont été prises en compte.
AcctVolume	En l'absence de dépérissement déclaré, le fait que cette variable n'intervienne pas signifie que le prélèvement s'effectue indifféremment parmi les tiges dominées et dominantes.
G/ha	Variant de 10 à 26 m ² , cette donnée n'a pas orienté le prélèvement.
%essence(nombre, volume, valeur)	Toutes les catégories d'essence ont été prises en compte
Taux des proches	Le modèle a privilégié les valeurs de consommation. Son absence n'a pas de signification.

Le martelage est conforme à la volonté d'amélioration du peuplement et aux consignes de gestion données par le réseau AFI. Le travail s'est porté sur toutes les essences et tous les diamètres. Il restera néanmoins à intervenir de nouveau pour limiter l'impact du charme et pour favoriser les perches d'avenir et les petits bois de qualité.

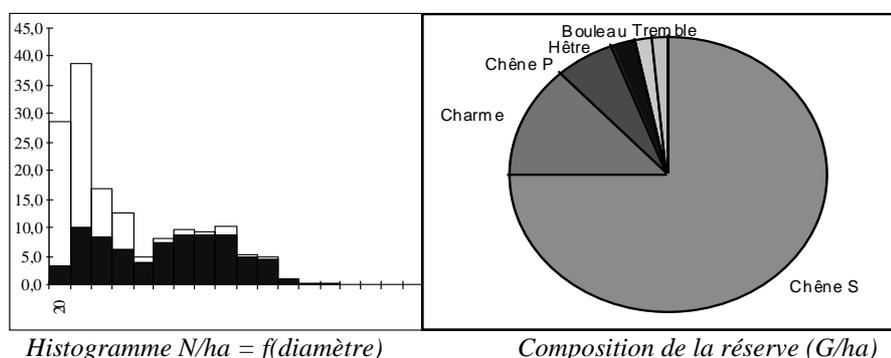
4.5.5 Le dispositif de Remilly

4.5.5.1 État initial

Anciennement géré en taillis sous futaie avec peu de prélèvement, ce dispositif de 8 ha, situé en vallée de Saône, est retenu pour appréhender la vitesse de réaction d'un peuplement lors de la mise en œuvre d'une gestion irrégulière.

Ses caractéristiques actuelles sont :

- ↪ Une surface terrière des réserves égale à 18,5 m²/ha.
- ↪ Un déficit en bois moyen.
- ↪ Un déficit de régénération du chêne.
- ↪ Une qualité moyenne (les meilleures se rencontrant chez les gros bois).



Le chêne est prédominant à la fois en surface terrière, en nombre, en volume (82 %) et en valeur potentielle (94 %).

L'évolution sur les dernières années :

Une baisse de la valeur potentielle globale (divisée par deux en 5 ans).

L'accroissement annuel en surface terrière est de 0,28 m²/ha/an (en diamètre il est de 0,55 cm/an). Ces valeurs sont en baisse sur la dernière période de mesures (2001-2006).

Le passage à la futaie (3,3 tiges/ha/an) ne concerne que les charmes (seule essence à se régénérer).

4.5.5.2 Commentaires sur la gestion préconisée

Les préconisations du réseau AFI peuvent se résumer de cette manière :

- 1- Maintenir des taux de prélèvement forts.
- 2- Décapitaliser dans les gros bois en prélevant dans les tiges de mauvaise qualité afin de remettre en croissance les tiges de chêne de qualité A et B.
- 3- Réduire la dynamique du charme.

Partant de là, l'analyse statistique du martelage devrait faire ressortir, comme variables significatives, les faibles accroissements (en volume et en valeurs économiques) et les niveaux forts en ce qui concerne les variables construites à partir des tiges voisines.

4.5.5.3 Analyse du martelage effectué

La coupe de bois d'œuvre, marquée en 2004 et exploitée en 2005, a prélevé 17 % de la surface terrière totale.

Les variables significatives sont :

Variable	Intervalle de valeur	Signification
AcctVolume2	0,015 à 0,03 m ³ /ha/an	Le prélèvement touche des tiges dominées ou déperissantes.
VC2	20 à 100 €	Le gestionnaire a prélevé les tiges de peu de valeur mais payant au moins les frais d'exploitation.
Gain3	4 à 8 €/ha/an	Ces valeurs pourraient correspondre à des chênes de qualité C et de diamètre compris entre 45 et 65 cm.
%essence(vol)4	90 à 100 %	Le prélèvement s'est orienté vers l'essence majoritaire à savoir le chêne.
%essence(val)4	97 à 100 %	
VCproche4	200 à 600 €	L'opération est effectuée au profit des tiges de qualité et présentant de fortes valeurs.

On retrouve parfaitement la volonté d'amélioration des peuplements avec le prélèvement des tiges dominées ou déperissantes (dont la valeur couvre au moins les frais d'exploitation) et cela au profit des tiges voisines présentant de fortes valeurs de consommation.

Par contre, la coupe n'a pas cherché à réduire l'influence du charme car, comme l'atteste l'absence de la variable « essence », les opérations se sont concentrées sur toutes les classes (chênes, charmes et feuillus divers).

Notons que d'autres variables « manquent » à l'analyse :

Variable	signification
Qualité	Alors que la volonté d'amélioration est constatée, le gestionnaire a prélevé dans toutes les classes de qualité en favorisant les tiges les plus belles tout en réalisant un lot de bois commercialisable (prélèvement de belles tiges qui « gênent » des tiges encore plus belles).
G/ha	Variant de 16 à 28 m ² , cette donnée n'a pas orienté le taux de prélèvement.
% ess (nombre)	Le modèle a privilégié les pourcentages en volume et valeur
Taux des proches	Le modèle a privilégié les valeurs de consommation. Pas de signification

Le martelage, tout en répondant à des impératifs économiques, répond bien aux consignes de gestion données par le réseau AFI. Il restera néanmoins à intervenir de nouveau pour limiter l'impact du charme.

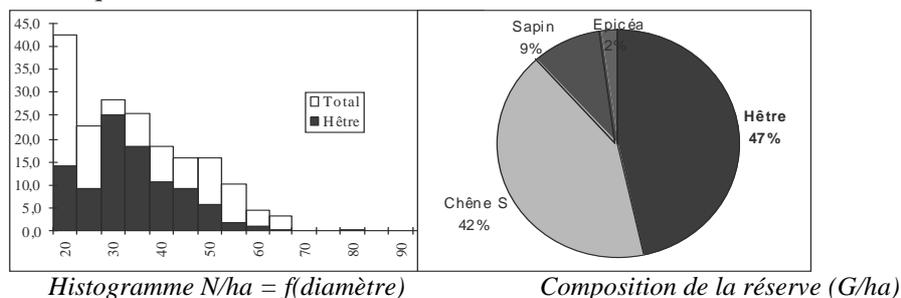
4.5.6 Le dispositif de Grands Bois

4.5.6.1 État initial

Ses 10,3 ha, situés en Franche Comté, furent retenus dans le réseau pour illustrer la gestion du mélange chêne/hêtre. Cette parcelle est en équilibre avec seulement un léger déficit en Petits Bois.

Ses caractéristiques actuelles sont :

- ↪ Une surface terrière des réserves égale à 20 m²/ha, avec 3 m²/ha de perches.
- ↪ Une régénération élevée en hêtre mais quasi absente en chêne.
- ↪ Une bonne qualité.



L'évolution sur les dernières années :

La valeur potentielle globale se stabilise depuis 5 ans (la valeur de consommation poursuit son augmentation de l'ordre de 200 €/ha/an).

L'accroissement annuel en surface terrière est de 0,72 m²/ha/an. Il a tendance à ralentir légèrement. En diamètre il est de 0,65 cm/an pour le hêtre et 0,25 cm/an pour le chêne. Ces valeurs présentent une légère baisse sur la dernière période de mesure.

Le passage à la futaie (7,4 tiges/ha/an) ne concerne que les sapins et les hêtres.

4.5.6.2 Commentaires sur la gestion préconisée

Les préconisations du réseau AFI, sur ce dispositif à l'équilibre, sont de même nature que les préconisations générales détaillées dans la première partie de ce document.

La coupe étudiée est une coupe intermédiaire, intervenue en 2002, et visant à réduire le sous étage afin de garantir la pérennité des perches.

4.5.6.3 Analyse du martelage effectué

Les variables significatives sont :

Variable	Intervalle de valeur	Signification
Diam1	15 à 30 cm	Le prélèvement touche des petites tiges,
VC1	0 à 6 €	qui n'ont pas de valeur actuellement, et qui,
Gain1-2	0 à 1,2 €/ha/an	vu leur diamètre, n'auront pas de valeur dans un futur proche.
G/ha2	17 à 19 m ² /ha	La coupe intervient dans des zones moins riches (où les tiges non précomptables sont plus abondantes).
%ess(nb)4	70 % et plus	Le prélèvement s'oriente vers l'essence majoritaire en nombre mais dont les valeurs de consommation sont plus faibles.
%ess(val)2	20 à 27 %	
tauxproche4	15 % et plus	L'opération consiste à dégager les tiges proches qui ont le meilleur potentiel d'avenir.

On retrouve parfaitement les caractéristiques de l'opération annoncée. Le martelage est conforme aux objectifs.

Seule la variable « essence » ne ressort pas, preuve que la gestion du mélange est un enjeu pour le massif puisque la sélection s'est faite dans toutes les catégories d'essences.

4.5.7 Le dispositif de Marchenoir 2

4.5.7.1 État initial

Le massif de 4 ha est situé en région Centre. Le bloc 2 est géré de façon classique voire prudente.

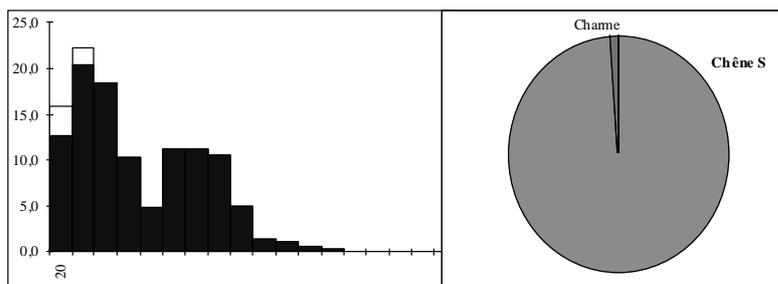
Ses caractéristiques actuelles sont :

Une surface terrière des réserves égale à 10,9 m²/ha (6,7 m²/ha pour le taillis).

Des semis de chêne se localisant dans les trouées issues de l'exploitation des grosses réserves.

Un déficit en petits bois et en perches.

Une qualité répartie pour ¼ en (A+B) et pour ¾ en (C+D) les bonnes qualités se concentrant dans les tiges les plus grosses.



Histogramme N/ha = f(diamètre)

Composition de la réserve (G/ha)

Le chêne sessile est dominant (2/3 des tiges), le restant étant du charme.

L'évolution sur les dernières années :

L'accroissement annuel en surface terrière est de 0,42 m²/ha/an (en diamètre il est de 0,5 cm/an). Ces valeurs sont stables sur la période étudiée.

Le passage à la futaie (5,8 tiges/ha/an) ne concerne que les charmes (seule essence à se régénérer).

4.5.7.2 Commentaires sur la gestion préconisée

Les préconisations du réseau AFI peuvent se résumer de cette manière :

- 1- Maintenir des taux de prélèvement forts.
- 2- Sélectionner dans les bois moyens et les gros bois en privilégiant l'enlèvement des tiges de mauvaise qualité.
- 3- Réduire la proportion du charme pour permettre la régénération.

4.5.7.3 Analyse du martelage effectué

La coupe de bois d'œuvre est effectuée en 2002.

Les variables significatives sont :

Variable	Intervalle de valeur	Signification
Diamètre ⁴	60 cm et plus	Le prélèvement touche des grosses tiges.
VC ⁴	200 € et plus	Le gestionnaire a prélevé les tiges appartenant à la classe de valeur maximale.
Gain ⁴	Plus de 14 €/ha/an	Ces valeurs pourraient correspondre à des chênes de qualité B et de diamètre compris entre 60 et 65 cm.

Le martelage s'est orienté vers le prélèvement de tiges ayant atteint le diamètre d'exploitation et ayant une qualité plutôt bonne puisque présentant de fortes valeurs de consommation.

Le prélèvement de petites tiges d'essence secondaire a eu lieu mais n'a pas d'effet significatif sur l'analyse (cet effet est lié à la prédominance de gros chênes martelés).

Le choix du martelage a été de récolter parmi les belles tiges. L'action n'a pas été d'améliorer le peuplement car les variables liées aux tiges proches ne sont pas significatives. Si on considère le peuplement à l'équilibre, le prélèvement des belles réserves mûres a une vocation économique et permet de créer des trouées propices à la régénération.

L'absence des variables « essence », « qualité » et de proportion confirme que la gestion est de type irrégulier puisqu'il y a eu prélèvement dans toutes les classes, sans distinction.

4.5.8 Conclusion sur l'analyse statistique

La bonne concordance entre les volontés affichées par les gestionnaires lors des martelages et les résultats obtenus par l'analyse factorielle discriminante barycentrique valide à la fois la technique retenue mais également la démarche présentée dans ce document.

De telles opérations pourront désormais être menées, en routine, pour toutes les opérations réalisées dans le cadre du réseau AFI et plus largement par tous ceux qui souhaitent analyser les effets de leur martelage et la conformité de leur action par rapport aux objectifs préalables.

Cependant, certaines situations peuvent venir gêner l'analyse et l'interprétation des résultats. C'est le cas lorsque les opérations touchent deux populations foncièrement différentes. Un fort déséquilibre des peuplements (comme par exemple la coexistence d'un taillis puissant sous des réserves uniquement en gros bois) ou la réalisation de deux opérations distinctes (telle une récolte de gros bois couplée à une amélioration dans les petits bois) viennent éroder la significativité de certaines variables par l'obtention de moyennes lissées non représentatives de la réalité.

CONCLUSION

Cette étude a cherché à fournir des éléments de réflexion et des outils devant permettre aux gestionnaires d'intégrer la variation des prix des bois et d'analyser leur comportement lors des martelages.

La volatilité des cours est une donnée exogène qu'il convient de connaître avant de procéder aux commercialisations. On l'a vu, dès que cette valeur dépasse le seuil de 0,2, l'impact sur les prix de vente devient non négligeable. A seuil de volatilité égal à 0,3, les bénéfices potentiels deviennent très importants. L'outil informatique mis à disposition des gestionnaires devra être instruit par les valeurs particulières du massif étudié. Ensuite, il leur permettra de détecter les évolutions des critères économiques et de connaître les prix objectifs, c'est-à-dire le prix maximum probable qui devrait déclencher la commercialisation.

Cette étude présente l'intérêt d'avoir cherché des pistes de recherche pour l'intégration de la variabilité. Le domaine étudié est celui de la finance et nous avons choisi de retenir, comme axe de prospection, les options réelles. Il est évident que d'autres axes doivent exister, le domaine financier ayant pour vocation de tirer profit de ces avenir incertains. Il est vrai que ce domaine se nourrit de cette variabilité et qu'il n'est pas rare de constater des volatilités pouvant varier de 0,45 à 1,30, bien au delà de ce qu'est capable de produire le marché du bois.

Les limites de cette étude sont détaillées dans la partie 3.3.3. Une des principales est la flexibilité nécessaire pour pouvoir bénéficier des variations positives du marché (flexibilité rendue difficile par le cadre législatif de l'aménagement des forêts et par le comportement conservateur de certains propriétaires). L'autre limite repose sur l'observation du marché. En effet il existe une grande hétérogénéité dans la présentation des produits (volumes estimés différemment, qualités déterminées subjectivement...). Cet état de fait entache nos calculs de volatilité d'une incertitude qu'il conviendrait de gommer en observant les ventes réelles par rapport à ce qu'on aurait pu estimer par notre méthode.

L'intérêt de cette étude est également de mettre au point une méthodologie d'analyse statistique des martelages. La méthode retenue s'appuie sur l'analyse discriminante barycentrique et la démarche est détaillée. La mise au point s'est effectuée sur les quelques dispositifs qui ont connu trois inventaires et une coupe intermédiaire. A terme, tous les dispositifs pourront bénéficier de cette méthode. Ainsi, la validité de la démarche pourra être réétudiée.

Au delà, ce stage m'a permis de tirer profit de recherches bibliographiques dans le domaine financier mais également de renforcer mes connaissances dans de nombreux domaines. Il aura été l'occasion d'approfondir mes connaissances sur la gestion irrégulière et de m'imprégner des éléments et publications du réseau AFI. Il m'a également permis de mettre en œuvre une multitude d'éléments enseignés lors de ces trois ans de formation, à savoir l'emploi des statistiques et la maîtrise de l'outil informatique (Excel, S-Plus, MapInfo...).

BIBLIOGRAPHIE

- BALAND ,F., *Bilan et perspectives du réseau AFI-ENGREF*, mémoire de fin d'études de la FIF-ENGREF, juin 2004, 64p.
 - BLACK ,F. et SCHOLES ,M. *The pricing of options and corporate liabilities*. Journal of political economy. Vol81. mai-juin 1973. pp 637-659.
 - BRUCIAMACCHIE ,M. et de TURCKEIM ,B. *La futaie irrégulière, théorie et pratique de la sylviculture irrégulière, continue et proche de la nature*. 2005. Édition Edisud. ISBN 2744905534.
 - BRUCIAMACCHIE ,M. TOMASINI ,J. et SUSSE ,R. *Gestion des peuplements irréguliers Réseau AFI-ENGREF synthèse 1991-2005*. Juin 2005.
 - CHAVET ,M. Note sur le calcul de la valeur d'avenir. *Le trait d'union de l'expertise agricole, foncière et forestière*. 1993. Numéro 2. pp 24-42.
 - CHAVET ,M. *Notion sur l'estimation d'options réelles. Application au calcul économique prévisionnel forestier en avenir incertain*. 2004. 74 p. Cours à destination de la Formation des Ingénieurs Forestiers (FIF) de l'ENGREF. Document non publié disponible au cabinet CHAVET, 61 avenue de la grande armée, Paris 16^{ème}.
 - COX ,J.C. ROSS ,S. et RUBINSTEIN ,M. Option pricing : a simplified approach. *Journal of financial economics*, Numéro 7. 1979. pp 229-263.
 - DALBARADE ,J.M. *Mathématiques des marchés financiers*. 2^{ème} édition. Février 1995. Edition ESKA. 205p.
 - DIXIT ,A. et PINDYCK ,R. *Investment under uncertainty*. 1993. Edition Princeton Press.
 - DIXIT ,A. et PINDYCK ,R. The option approach to capital investment. *Harvard Business review*. Mai-juin 1995. pp 105-115.
 - GARCIA ,S. *Les modèles à choix discrets*. 2005. 25p. Cours à destination de la Formation des Ingénieurs Forestiers (FIF) de l'ENGREF. Document non publié disponible au LEF, 14 rue Girardet, CS 14216, NANCY.
 - GEGOUT ,J.C. et HOULLIER,F. Introduction à l'analyse des données. 1994. 31p. Cours à destination de la Formation des Ingénieurs Forestiers (FIF) de l'ENGREF. Document non publié disponible à l'ENGREF, 14 rue Girardet, CS 14216, NANCY.
 - HUGHES ,W. Valuing a forest as a call option : the sale of forestry corporation of New Zealand. *Forest Science*. Volume 46-1. Année 2000. pp 32-39.
 - MONDELLO ,G. Les conditions d'implantation des PPRN, une approche par la théorie des options réelles. *Cahier d'économie et de sociologie rurale*. Numéro 73. Année 2004. 70p.
 - NAKACHE ,J. GUEGEN ,A. et PIERART ,H. Utilisation du modèle logistique dans l'étude de l'influence des variables. *Revue de la statistique appliquée*. Tome 34. Numéro 2. Année 1986. pp 5-14.
 - NAVATTE ,P. *Finance d'entreprise et théorie des options*. Edition Economica. Année 1998. ISBN 2717835540.
 - QUITTARD-PINON ,F. et WOJAKOWSKI ,R. Qu'est ce que la théorie financière ? *Note de recherche du GRID*. Numéro 94-09. Juin 1994. 19p.
 - QUITTARD-PINON ,F. et WOJAKOWSKI ,R. De la structure des taux et des options. *Note de recherche du GRID*. Numéro 94-10. Juin 1994. 21p.
 - RACHEZ ,B. *Evaluation de la valeur d'une forêt à partir de la théorie des options financières*. Année 2000. Rapport de mission disponible au cabinet CHAVET, 61 avenue de la grande armée, Paris 16^{ème}. 26p.
 - ULMO ,J. Différents aspects de l'analyse discriminante. *Revue de la statistique appliquée*. Tome 21. Numéro 2. Année 1973. pp 17-55.
- Agence Française du Trésor, <http://www.aft.gouv.fr>
- <http://www.comprendrelabourse.com>

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Thématique des dispositifs AFI.

Annexe 2 : Dispositifs AFI ayant une problématique particulière ou étant abandonnés

Annexe 3 : Localisation des nouveaux dispositifs et nombre d'arbres mesurés chaque année

Annexe 4 : Évolution des cours des bois au Nouvion.

Annexe 5 : Réflexion sur les charges.

Annexe 6 : Onglet « calcul-volatilité » du fichier Volatilité.xls.

Annexe 7 : Onglet « calcul-éco » du fichier Volatilité.xls.

Annexe 8 : Onglet « analyse » du fichier Volatilité.xls.

Annexe 1 : Thématique des dispositifs AFI.

Thématique

Essences et station	N°	Forêt	Commune	Dep	Région	Gestionnaire	Observation complémentaire	Suivi Eco.
Chêne - Centre et Ouest France								
Acidicline	37	Bois de Frilouze	Chammes	53	P-Loire	J.M. Guillier		Oui
Acidicline	43	Forêt d'Ombree	Grugé l'Hôpital	49	P-Loire	G. Cardot (SF CDC)		En cours
Acidicline	55	Forêt de Montmirail	Le Plessis Dorin	41	Centre	B. Cosson		Oui
Acidiphile hydromorphe	1	Bois des Brosses	Decize	58	Bourg.	M. Verdier		Oui
Acidiphile hydromorphe	57	La Touche aux Loups	Préaux	36	Centre	C. de Verneuil		Oui
Mésocacidiphile hydromorphe	36	Bois de Brice	Poillé sur Vègre	72	P-Loire	J.M. Guillier		Oui
Acidicline hydromorphe	40	Bois de la Barre	Le Luart	72	P-Loire	F. Lorne		En cours
Neutrophile hydromorphe	63	Bois de la Forêt	Bruyères le Châtel	91	I-D-F	M. Verdier		Oui
	54	Forêt de Marchenoir (1 et 2)	Marchenoir	41	Centre	A. Breton	Deux dispositifs AFI	Oui
Chêne - Quart Nord-Est								
Acidiphile	25	Forêt de la Brisée	Frahier	70	F-Comté	F. Leforestier		Oui
Acidiphile hydromorphe	20	Forêt de Perrecy les Forges	Perrecy les Forges	71	Bourg.	R. Susse		Oui
Acidiphile hydromorphe	34	Forêt de Robert-Magny	Robert-Magny	52	Ch-A	R. Susse		Oui
Hydromorphe	5	Forêt de Gergy	Gergy	71	Bourg.	R. Susse		Oui
Hydromorphe	11	Bois de Cosges	Cosges	39	F-Comté	F. Rebeiro	Chêne rouge	Oui
Hydromorphe	15	Bois du Château	St Christophe en bresse	71	F-Comté	F. Rebeiro		Oui
Acidicline hydromorphe	7	Bois de Censey	Semur en Auxois	21	Bourg.	R. Susse		Oui
Acidicline hydromorphe	9	Bois de la Rente du Fretoy	Remilly sur Tille	21	Bourg.	R. Susse		Oui
Acidicline hydromorphe	21	Les Grands Bois	Vauchassis	10	Ch-A	M. de Vasselot	Tempête 1999	Non
Neutrophile hydromorphe	8	Bois des Renardières	Saint Fargeau	89	Bourg.	F. Leforestier		Oui
Hêtre								
Acidiphile	2	Bois du Chanois	Saint Maur	39	F-Comté	F. Rebeiro (juqu'en 2003)	Mélange avec chêne	Oui
Acidiphile	6	Forêt de la Quiquengrogne	Ambiervillers	70	F-Comté	A. Chavane		Oui
Acidiphile	10	Bois Banal	Fontenois la ville	70	F-Comté	A. Chavane	Mélange avec chêne	Oui
Acidiphile	12	Le Grand Bois	Ambiervillers	70	F-Comté	A. Chavane	Mélange avec chêne	Oui
Acidiphile	66	Bois du Beau Mousseau	Haut-Fays	Wallonie (B)	J. Gilissen		Mélange avec chêne	En cours
Neuroacidicline	13	Bois de la Pérouse	Arc et Senans	25	F-Comté	F. Leforestier	Mélange avec chêne	Oui
Neurocalcicole	3	Forêt de Chamberceau	Selongey	21	Bourg.	R. Susse	Tempête - Mélange avec divers F.	Oui
Mélange feuillus sur station neuroacidicline								
Chêne-Tilleul-Hêtre-Erable S	17	Bois Royal de Belval	Le Châtelier	51	Ch-A	R. Susse		Oui
Chêne-Frêne	18	Forêt d'Epernay	Epernay	51	Ch-A	M. Verdier		Oui
Chêne-Châtaignier	27	Bois du Luth	Fontaine sur Ay	51	Ch-A	G. F. M		Oui
Hêtre-Erable S-Merisier	30	Forêt du Hailly	Thin le Moutier	08	Ch-A	Ph. Gourmain		En cours
Frêne-Chêne-Erable S	44	Forêt du Régnaval	Englancourt	02	Pic.	B. de Turckheim		Oui
Erable S-Frêne-Peuplier	47	Bois de Jebnheim	Jebnheim	68	Als.	M. Essner		Non
Peuplier-Feuillus précieux	59	Forêt de la Queue de Boué	Boué	02	Pic.	A. Gontier (SF CDC)	Conversion peupleraie - FI	En cours
Chêne-Châtaignier-Feuillus précieux	65	Bois de Paris	Us	95	I-D-F	M. Quagneaux	Divers feuillus (forte diversité)	Non
Mélange feuillus sur station neurocalcicole								
Hêtre-Chêne-Tilleul-Frêne-Erable S	14	Bois des Feuillées	Publy	39	F-Comté	F. Rebeiro		Oui
Chêne-Charme-Erable S-Merisier	19	Forêt de la Grange Perrey	Arbois	39	F-Comté	F. Leforestier		Oui
Hêtre-Frêne	23	Bois du Grand Lomont	Pont de Roide	25	F-Comté	A. Chavane		Oui
Hêtre-Sapin-Frêne	32	Bois du Pré Jeanreau	Le Frasnois	39	F-Comté	F. Rebeiro	En altitude - Dynamique du sapin	Oui
Frêne								
Hydromorphe	4	Bois des Etangs d'Aige & du Prince	Froideville	39	F-Comté	F. Rebeiro (juqu'en 2004)		Oui
Neuroacidicline	46	Forêt de la Cheveté	Beuvarde	02	Pic.	O. Ducornet (SF CDC)		En cours
Châtaignier								
	45	Bois de Belle Assise	Ribécourt	60	Pic.	J.M. Peneau		Oui
Sapin								
Acidiphile	48	Forêt de Landsberg	Heiligenstein	67	Als.	B. de Turckheim	Station acide - Feuillus précieux	Oui

Annexe 2 : Dispositifs AFI ayant une problématique particulière ou étant abandonnés.

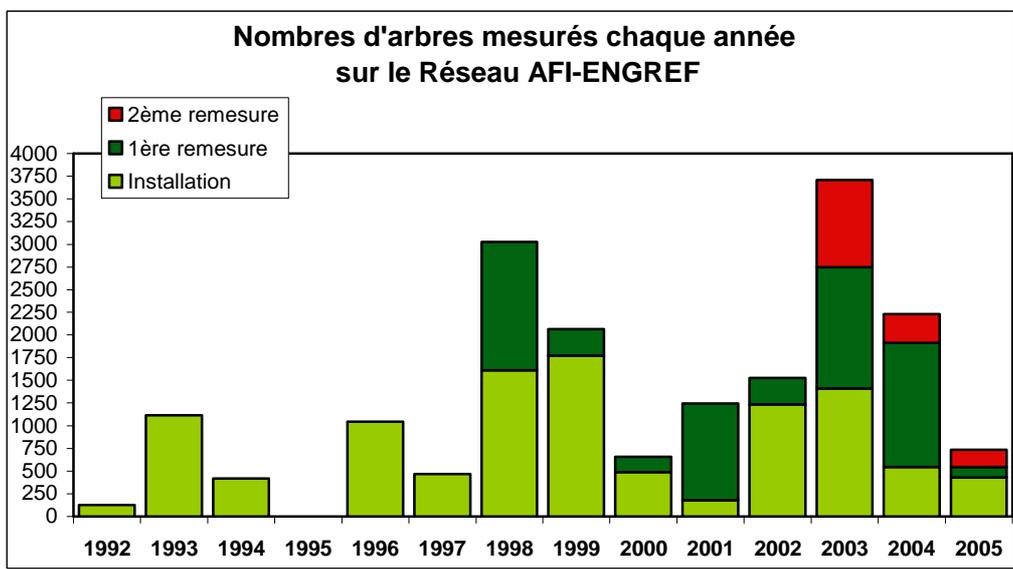
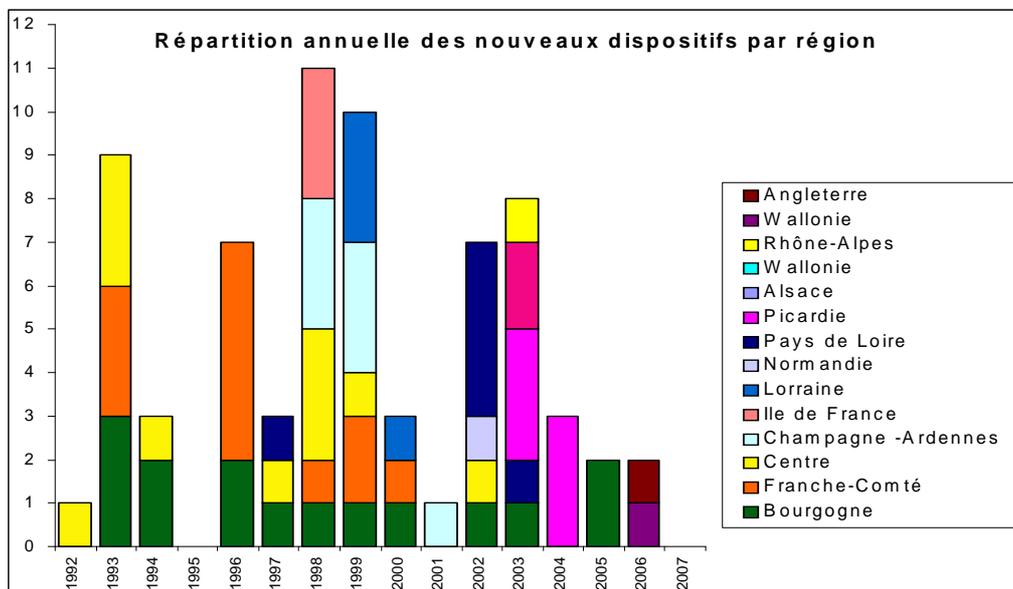
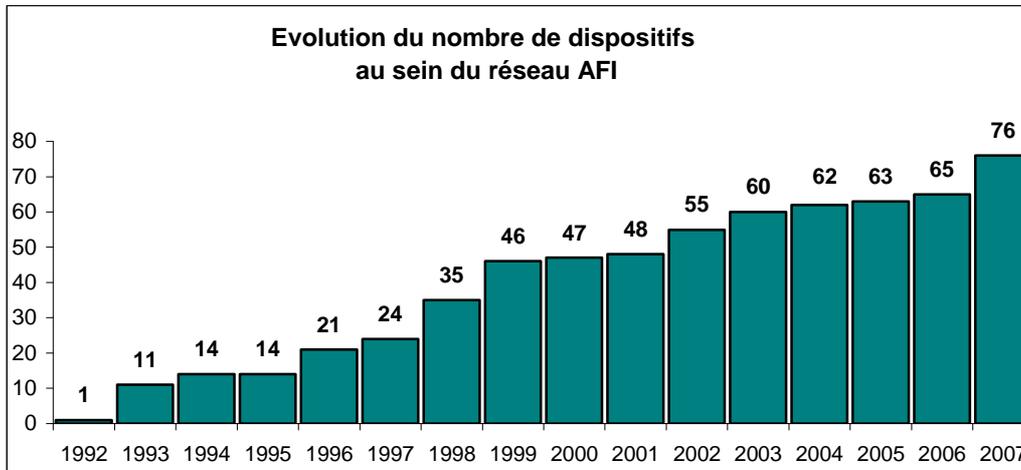
Suivi d'une problématique particulière

Chêne - Sapin de l'Aigle	38	Forêt de Rai	Rai	61	Norm.	F. Moutier		<i>En cours</i>
Conversion de plantation de douglas en futaie irrégulière	16	Forêt de Folin	Roussillon en Morvan	71	Bourg.	R. Susse	Douglas sur station acide	Oui
	49	Forêt de la Métairie rouge	Saint Agnan	58	Bourg.	R. Susse	Douglas sur station acide	Oui
	62	Bois du Faussé	Brassy	58	Bourg.	R. Susse	Douglas sur station acide	<i>En cours</i>
	67	Stourhead	Stourton		Sud Angleterre	D. Pengelly	Peuplement résineux mélangé	<i>En cours</i>
Conversion de plantation de pin noir en futaie irrégulière	33	Forêt d'Is/Tille	Is/Tille	21	Bourg.	R. Susse	Pin Noir sur calcaire	Oui
Valorisation des feuillus dans le Morvan	24	Forêt du Grand Vernet	Brassy	58	Bourg.	R. Susse	Hêtre sur station acide	Oui
	61	La Forêt	Alligny en Morvan	58	Bourg.	R. Susse	Hêtre sur station acide	Oui
Cicatrisation après tempête	26	Les Grands Bois	Ecot la Combe	52	Ch-A	W. von Loë	Hêtre sur calcaire	<i>En cours</i>
Forêt périurbaine	64	Forêt de la Marsaudière	Gretz Armainvilliers	77	I-D-F	M. de Vasselot	Chêne sur station hydromorphe	Non
Début du traitement en futaie irrégulière	22	Bois l'Abbé	Charmois	54	Lor.	A. Lorenzi	Chêne sur marne	T.O
	35	Forêt de Vioreau	La Meilleraye de Bretagne	44	P-Loire	Loik Bureau	Chêne sur station acide	T.O
	39	Parc Soubise	Mouchamps	85	P-Loire	Michel Bureau	Chêne sur station acide	T.O
	41	Forêt de la Rivière	Couloutre	58	Bourg.	P. Latour	Chêne sur station acide	<i>En cours</i>
	42	Forêt de Montalibord	Vescours & St Trivier	01	Rh-A	COFOREST	Chêne sur station hydromorphe	T.O
	50	Forêt de Montesault	La Ferté Saint Aubin	45	Centre	<i>Le Propriétaire</i>	Chêne sur station hydromorphe	T.O
	51	Bois des Sorlots	Châteaurenard	45	Centre	S. Chaton	Chêne sur station acide	Non
	52	Bois de la Cayère	Thizay	36	Centre	C. de Verneuil	Chêne sur station hydromorphe	Oui
	53	Forêt de la Chaîne	Saint Nicolas des Motets	37	Centre	<i>Le Propriétaire</i>	Chêne sur station acide	Non
	56	Bois de la Chanteloube	Mers/Indre	36	Centre	UNISYLVA	Chêne	Oui
	58	Forêt domaniale de St Gobain	Saint Gobain	02	Pic.	ONF	Divers Feuillus sur station riche	<i>En cours</i>
	60	Bois de Cambos	Allery	80	Pic.	A. Gontier	Hêtre sur calcaire	T.O

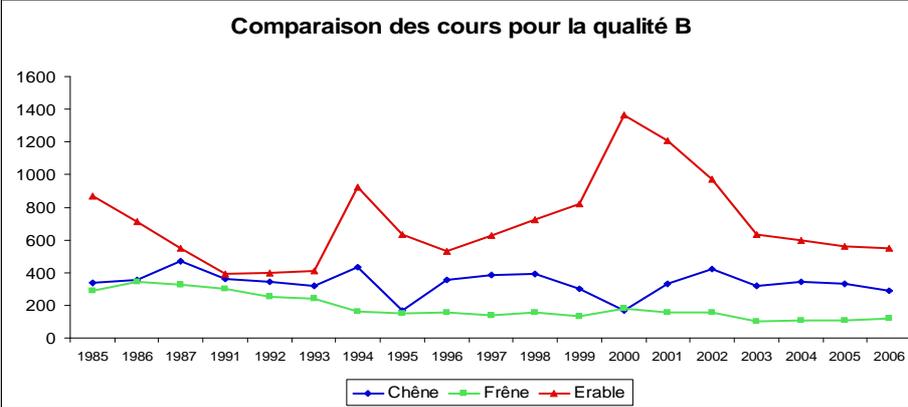
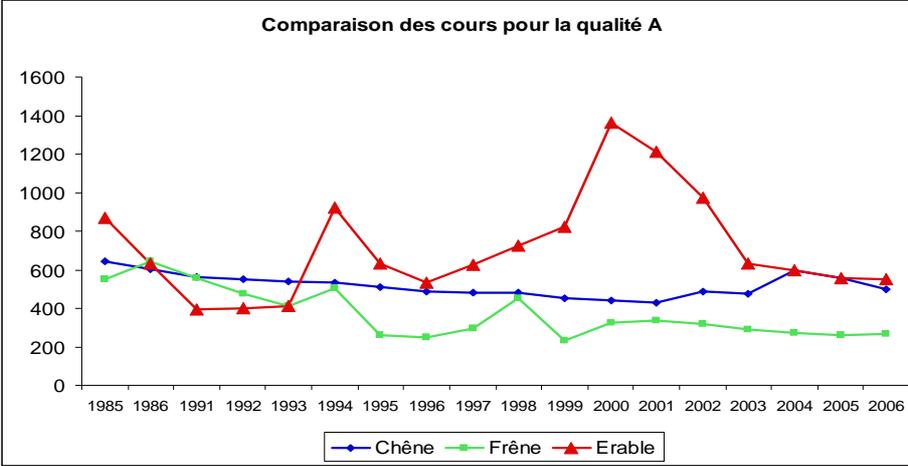
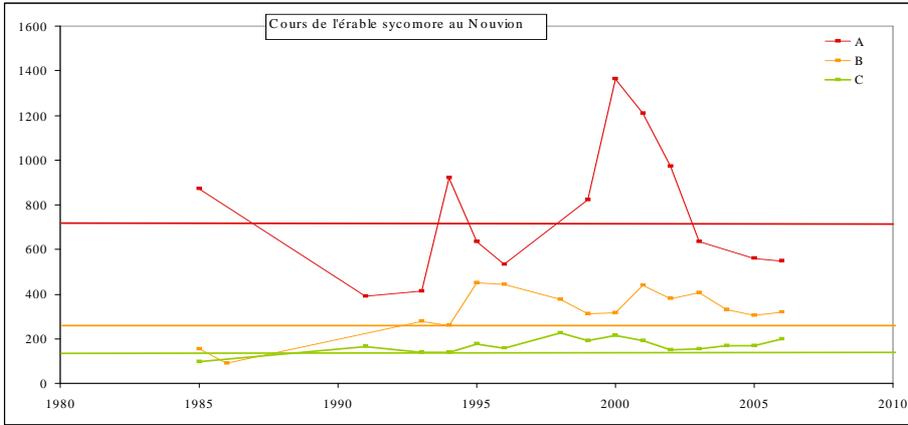
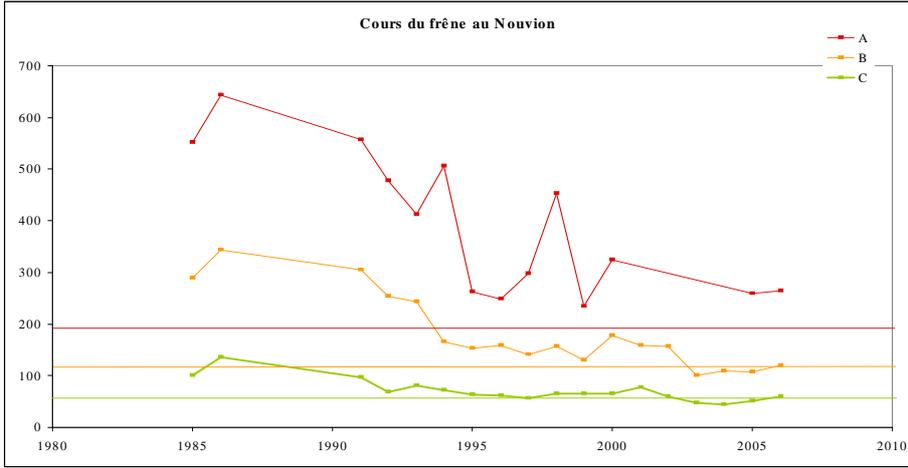
Abandonnés

28	<i>Bois des Fontenelles</i>	<i>Grand</i>	88	Lor.		Tempête
29	<i>Bois de la Côte Brulée</i>	<i>Thillombois</i>	55	Lor.	<i>F. Leforestier</i>	Tempête
31	<i>Bois de Beauséjour</i>	<i>Mouacourt</i>	54	Lor.	<i>H. Plauche-Gillon</i>	Non subventionné
101	<i>Forêt de la Marionnière</i>	<i>La Buisnière</i>	45	Centre	<i>J.P. Ferrary</i>	Non subventionné
102	<i>Forêt de Dampierre</i>	<i>Dampierre en Burly</i>	45	I-D-F	<i>M. Verdier</i>	Non subventionné
103	<i>Forêt de Praslin</i>	<i>Nogent sur Vernisson</i>	45	Centre	<i>M. Verdier</i>	Vente
108	<i>Forêt d'Autun</i>	<i>Puysan</i>	27	P-Ch	<i>M. de Vasselot</i>	Non subventionné

Annexe 3 : Évolution du nombre de dispositifs, localisation des nouveaux dispositifs et nombre d'arbres mesurés chaque année.



Annexe 4 : Évolution des cours des bois au Nouvion.



La valorisation d'une option par la méthode de BLACK et SHOLES repose sur une démarche simple puisqu'elle est issue de la somme de la valeur espérée de la recette future ($S_0 \times N(d_1)$) et de la valeur du prix de revient ($\text{Coût} \times N(d_2)$).

On voit bien que ce coût pour avoir l'objet est le résultat des sommes qui ont contribué à créer la valeur de l'arbre.

Il est donc primordial de pouvoir attribuer à chaque arbre la valeur cumulée de toutes les charges nécessaire à son existence.

Dans cette étude, ce sont toutes les charges à l'hectare qui sont cumulées, puis, connaissant les volumes présents sur cette surface (obtenus par la formule $V=fgH$), nous les avons rapportées à chaque m^3 produit. Cette démarche nécessite de faire l'hypothèse que ce volume est constant dans le temps, c'est-à-dire que notre dispositif est en équilibre. Elle présente l'avantage majeur d'être simple et de pouvoir facilement être mise en œuvre par les gestionnaires.

Les limites à une telle démarche sont les suivantes :

Toutes les tiges n'ont pas un volume quantifiable. Les semis et les perches n'ont pas un diamètre précomptable et donc leur volume, même minime, n'intervient pas dans le décompte. Pourtant, ils supportent une bonne partie des frais (notamment liés aux soins culturaux et au renouvellement). En conséquence, trois cas peuvent se distinguer :

- La parcelle est riche en semis et perches. Les frais seront forts (sélection, dépressage...) et les volumes à l'hectare seront plutôt faibles. Les frais reportés au m^3 seront donc anormalement forts.
- La parcelle est à l'équilibre et on peut considérer que les frais dirigés vers les semis et perches peuvent être affectés aux tiges précomptables (qui auront connu les mêmes types d'interventions dans leur jeune âge). Notre démarche est alors satisfaisante.
- La parcelle est pauvre en semis et perches. Les frais seront faibles et les volumes à l'hectare seront plutôt forts. Les frais reportés au m^3 seront donc anormalement faibles.

Dans un souci de véracité il faudrait être en mesure d'affecter les dépenses réalisées à chacune des tiges étudiées. L'idée serait d'obtenir le prix de revient réel de l'arbre.

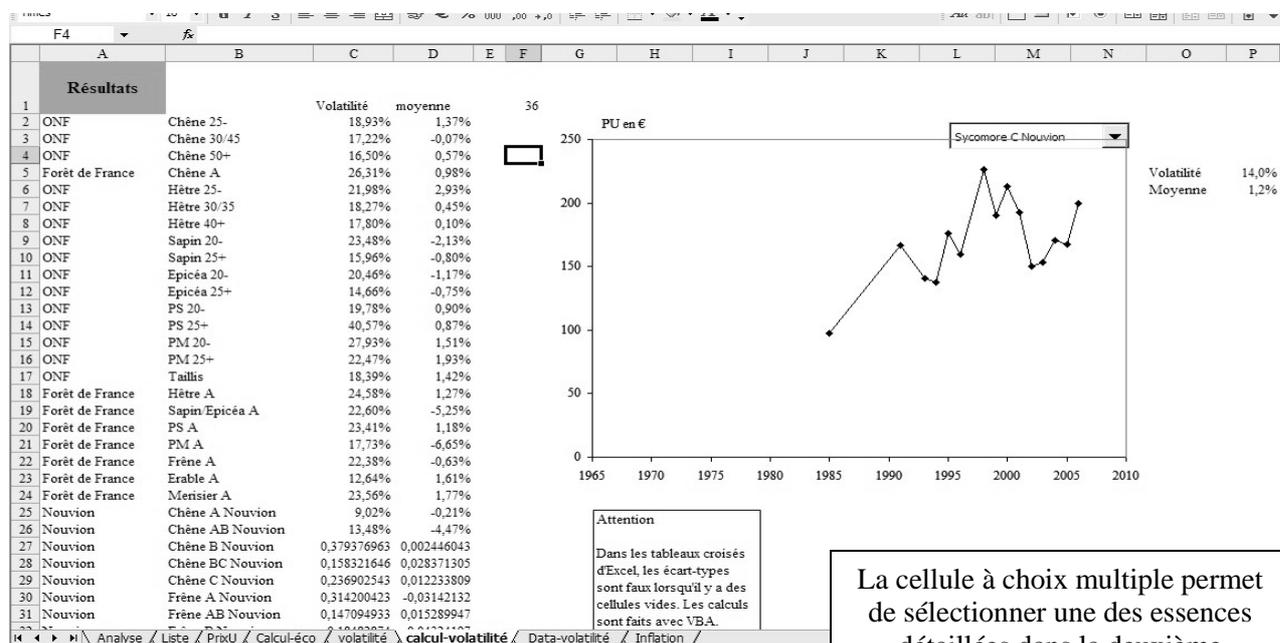
La difficulté est liée à la nature des charges étudiées :

- Les charges sylvicoles : Ce sont les frais d'exploitation, de plantation, les soins culturaux, le marquage et le suivi des coupes. Il est possible de calculer les frais particuliers et la part de temps consacré à chaque tige. Néanmoins, ce type de calcul présente des incertitudes très fortes.
- Les charges fixes liées au fond : Ce sont les frais de garderie, d'expert, les assurances, impôts et charges diverses. Ici, il s'agirait d'estimer le nombre de tiges présentes et de calculer le ratio de chacune.

Il est indéniable que cette approche est « intellectuellement » plus satisfaisante mais sa mise en œuvre nécessite un niveau de détail des dépenses très fort (et peu compatible avec les données courantes collectées par les gestionnaires) et ses résultats seront entachés d'une incertitude très forte liée à la nécessité de réaffecter du temps à chaque arbre.

Une dernière remarque concerne les charges. Nous n'avons pas pris en compte la valeur du fond réaffecté à chaque tige. La difficulté réside dans la connaissance de la valeur du fond et de la durée « d'amortissement » de cette dépense. En tout état de cause, cette charge réaffectée est faible devant les charges courantes.

Annexe 6 : Onglet « calcul-volatilité » du fichier Volatilité.xls.



Macro de calcul des volatilités (bouton « résultat »).

Sub Volatilité()
Dim X As Range

Set X = Range("DataPU")
SourceO = X(1, 2)
TypeO = X(1, 3)

```

For i = 1 To X.Rows.Count
    If X(i, 2) = SourceO And X(i, 3) = TypeO Then
        If Not (IsEmpty(X(i, 6))) Then
            nb = nb + 1
            Sum = Sum + X(i, 6)
            Sum2 = Sum2 + X(i, 6) ^ 2
        End If
    Else
        Ecart = ((nb * Sum2 - Sum ^ 2) / nb / (nb - 1)) ^ 0.5
        k = k + 1
        Range("Coin").Offset(k, 0).Value = SourceO
        Range("Coin").Offset(k, 1).Value = TypeO
        Range("Coin").Offset(k, 2).Value = Ecart
        Range("Coin").Offset(k, 3).Value = Sum / nb
        nb = 1
        Sum = 0
        Sum2 = 0
        If SourceO <> X(i, 2) Then SourceO = X(i, 2)
        If TypeO <> X(i, 3) Then TypeO = X(i, 3)
    End If
Next i
Ecart = ((nb * Sum2 - Sum ^ 2) / nb / (nb - 1)) ^ 0.5
k = k + 1
Range("Coin").Offset(k, 0).Value = SourceO
Range("Coin").Offset(k, 1).Value = TypeO
Range("Coin").Offset(k, 2).Value = Ecart
Range("Coin").Offset(k, 3).Value = Sum / nb
End Sub
    
```


Annexe 8 : Onglet « analyse » du fichier Volatilité.xls.

