



INSTITUT TECHNOLOGIQUE

Recherche des facteurs de sensibilité à la tempête des peuplements de pins des Landes de Gascogne d'après l'expertise des bases de données CAFSA





INSTITUT TECHNOLOGIQUE

Recherche des facteurs de sensibilité à la tempête des peuplements de pins des Landes de Gascogne d'après l'expertise des bases de données CAFSA

Rapport

Projet Analyse BDD CAFSA

Financement FCBA/GIP ECOFOR
Collecte de données : CAFSA
Traitements SIG : Wilfried Heintz (GIP ECOFOR)

Chef de projet : Sébastien Cavaignac, FCBA

Siège social

10, avenue de Saint-Mandé
75012 Paris
Tél +33 (0)1 40 19 49 19
Fax +33 (0)1 43 40 85 65

Station Sud-Ouest

Domaine de Sivaillan
Les Lamberts
33 480 Moulis-en-Médoc
Tél +33 (0)5 57 88 82 33
Fax +33 (0)5 57 88 82 34
www.fcba.fr

07 février 2010

SOMMAIRE

1. Contexte et objectifs.....	5
2. Matériels et méthodes.....	6
2.1 Présentation de la base de données CAFSA.....	6
2.2 Présentation de la carte des dégâts IFN.....	8
2.3 Acquisition de l'information « niveau de dégâts ».....	8
2.4 Méthode d'analyse.....	8
3. Présentation des résultats.....	9
3.1 Description générale des données.....	9
3.1.1 Comparaison pin maritime et pin taeda.....	10
3.1.2 Dégâts et classes d'âges.....	12
3.2 Résultats de l'étude de l'effet des différentes options des scénarios sylvicoles.....	15
3.2.1 Impact de la technique d'installation sur la résistance.....	15
3.2.2 Impact de la fertilisation sur la résistance.....	16
3.2.3 Impact du travail du sol sur la résistance.....	17
3.2.4 Impact des éclaircies sur la résistance.....	17
3.2.5 Impact des entretiens sur la résistance.....	18
3.2.6 Impact du type de lande sur la résistance	19
3.2.7 Impact des densités sur la résistance	19
3.3 Test de l'effet combiné des différentes options de traitement.....	20
4. Discussion.....	20
5. Recommandations.....	21
6. Conclusion.....	22
7. Bibliographie.....	23

1. Contexte et objectifs

Neuf ans après la tempête Martin, le massif landais a subi en janvier 2009 le passage d'une seconde tempête ; Klaus. Ces deux catastrophes ont entraîné de graves pertes sur le massif forestier conduisant à la destruction d'environ 70 M m³ sur pied. Une rapide traversée des zones endommagées met toutefois en évidence des parcelles plus épargnées que d'autres. À partir de ce constat, il devient légitime de se poser la question de l'influence du scénario sylvicole sur la résistance au vent du peuplement.

La CAFSA (Coopérative Agricole et Forestière Sud-Atlantique) est un acteur majeur de la filière bois dans le quart sud-ouest de la France. Elle regroupe 30 000 adhérents qui représentent 700 000 hectares de surface forestière, dont 70% en Aquitaine. Depuis une dizaine d'années, la CAFSA s'est dotée d'un système de gestion qui permet d'archiver et de géolocaliser les parcelles et les interventions réalisées sur celles-ci. De ce fait, la CAFSA possède une information synthétique sur l'historique des itinéraires sylvicoles sur plus d'un quart des forêts d'Aquitaine.

De son côté, FCBA s'occupe du suivi de nombreux essais (environ 250 en ce qui concerne le pin maritime et le pin taeda). Les mesures faites sur ces essais permettent d'avoir une information très détaillée mais ponctuelle sur l'analyse des effets des facteurs de production. Dans le cadre de l'analyse des facteurs pouvant expliquer la résistance des peuplements à la tempête Klaus, il est difficile de généraliser les observations réalisées entre des essais distants, car nous ne pouvons comparer les intensités de vent qu'ils ont subies.

Le principal objectif de cette analyse est de confirmer ou d'infirmer les constats réalisés sur les essais FCBA à l'aide d'une information disponible sur de plus vastes surfaces, comme c'est le cas dans les bases de données CAFSA.

La CAFSA a accepté de mettre à disposition ses données de terrain référencées dans ses propres bases permettant ainsi d'accéder aux informations de gestion des différentes parcelles. L'information concernant les niveaux de dégâts provient de la carte des dégâts de la tempête Klaus sur le massif landais (MAP - Inventaire Forestier National – 2009). **Le périmètre des données est limité aux départements de la Gironde et des Landes.**

Nous souhaitons tester l'effet de différents facteurs sur la sensibilité d'un peuplement :

- Impact de l'essence
- Impact de la technique de plantation
- Impact de l'âge
- Impact de la fertilisation
- Impact du travail du sol
- Impact des éclaircies
- Impact des entretiens
- Impact de la densité
- Impact du type de lande

2. Matériels et méthodes

2.1 Présentation de la base de données CAFSA

La base de données CAFSA est avant tout un outil de gestion des propriétés forestières des adhérents. Le système comporte deux volets principaux : une première partie traite des informations relatives au propriétaire et une seconde partie concerne les informations liées à son parcellaire. C'est cette seconde partie que nous allons analyser plus en détail.

L'unité de base du système est la parcelle forestière. Il s'agit d'une unité de gestion qui n'est pas nécessairement continue ni homogène en terme de population (il peut y avoir des sous-parcelles avec des populations dominées différentes). Pour chaque parcelle, un recensement des essences est réalisé. Chaque essence est traitée comme une population. Pour cette population, on donne son taux de couvert, son statut (dominant ou dominé) et les informations relatives au traitement de cette population : type de labour, fertilisation, densité.

Chaque parcelle est également liée à une table « programme des interventions ». L'ensemble des interventions réalisées ainsi que celles programmées y est répertorié.

Il faut toutefois signaler que l'outil de base de données est assez récent dans le système de gestion de la coopérative et que toutes les informations ne sont pas encore renseignées pour l'ensemble des parcelles. En outre, pour une parcelle donnée, le remplissage est assez irrégulier en fonction des tables.

La figure 1 résume la structure générale de la base de données.

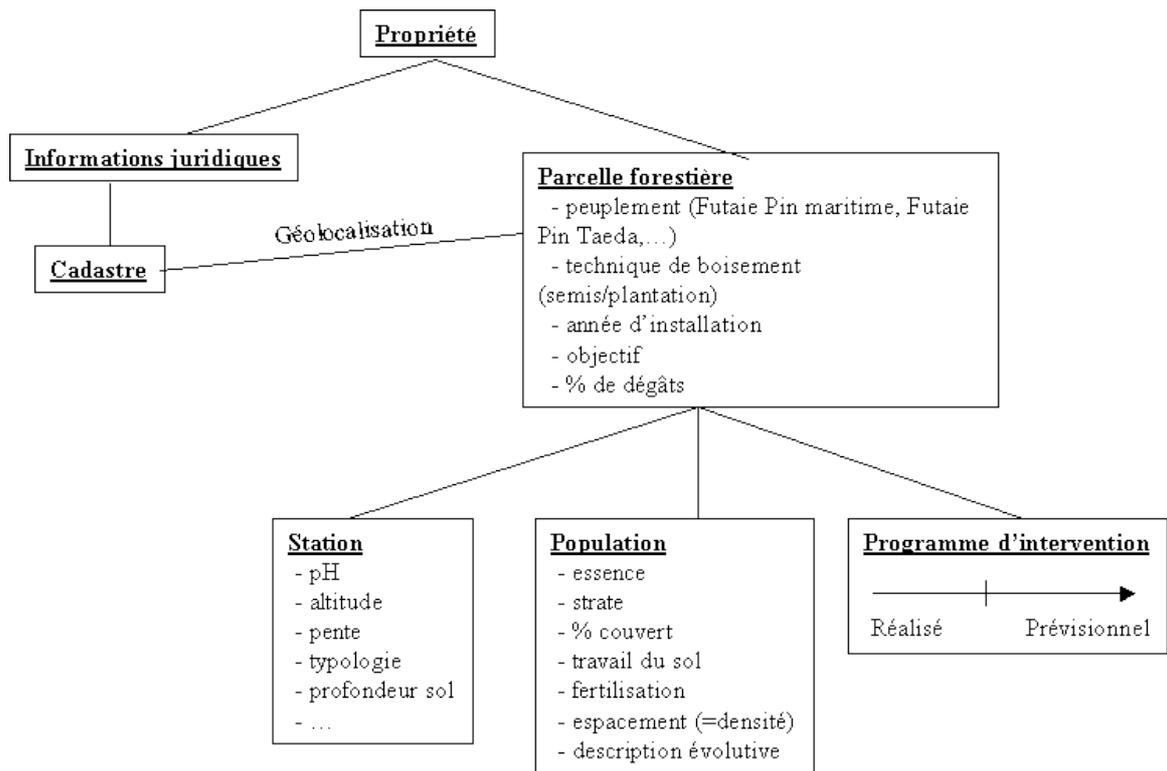


Figure 1 : Structure de la base de données CAFSA.

2.2 Présentation de la carte des dégâts IFN

La carte des dégâts de l'IFN a été élaborée à partir de la comparaison de clichés d'images satellitaires SPOT avant et après tempête. Les niveaux de dégâts mesurés lors du retour sur les points ainsi que les estimations réalisées à partir de photographies aériennes ont permis de paramétrer les algorithmes de traitements automatiques de détection des changements. La carte ainsi réalisée possède une précision planimétrique de positionnement des tracés de l'ordre de 30 mètres, et une échelle d'utilisation de l'information préconisée au 1/50 000. Les niveaux de dégâts indiqués sont les suivants :

0 « Hors forêt de pins maritimes » : Hors zone d'application de détection de dégâts sur image d'hiver. Espaces non forestiers ou peuplements forestiers qui ne sont ni de la futaie de pins maritimes, ni des mélanges de pins maritimes et feuillus.

1 « 0 - 20% » : Absence de dégâts ou dégâts compris entre 0 et 20 % de couvert détruit.

2 « 20 - 40 % » : Dégâts compris entre 20 et 40 % de couvert détruit.

3 « 40 - 60 % » : Dégâts compris entre 40 et 60 % de couvert détruit.

4 « 60 - 80 % » : Dégâts compris entre 60 et 80 % de couvert détruit.

5 « 80 - 100 % » : Dégâts compris entre 80 et 100 % de couvert détruit.

6 « Forêt non traitée » : Forêt peu touchée par des dégâts, couverte par des images satellites. Zone non traitée.

7 « Forêt non traitée (défauts de radiométrie) » : Forêt où la détection ou l'interprétation de dégâts sur les images est impossible en raison par exemple de certains nuages atmosphériques ou de leur ombre portée au sol.

2.3 Acquisition de l'information « niveau de dégâts »

Afin de pouvoir travailler avec une mesure des dégâts sur les parcelles de la CAFSA, le croisement de la carte des dégâts IFN et du parcellaire CAFSA a été réalisé. Cependant, étant donné le niveau de précision de la carte des dégâts IFN et pour respecter les limites d'utilisation de cette dernière, **seules les parcelles supérieures à 1 ha ont été conservées**. Nous avons également sélectionné les parcelles pour lesquelles l'information « classe de dégât » est comprise entre 1 et 5 inclus.

2.4 Méthode d'analyse

Si dans le contexte d'une approche globale et synthétique il est possible de considérer que l'ensemble des parcelles étudiées ont subi la tempête, donc des intensités de vent fortes pour chacune d'entre elles, cette hypothèse d'homogénéité d'intensité du vent ne peut en revanche être maintenue pour une étude plus détaillée. Le principe de l'étude est donc d'analyser différents traitements dans des contextes d'intensités de vent proches. L'exercice consiste alors à comparer les dégâts dans des parcelles suffisamment proches pour pouvoir émettre l'hypothèse d'intensités de vent subies comparables. Nous nous plaçons pour cela au sein d'une section cadastrale.

Le travail à réaliser se base ainsi sur des comparaisons par paires au sein d'une même section cadastrale. L'utilisation de comparaisons par paires a conquis de nombreux domaines, et notamment ceux concernant les industries alimentaires, le *marketing* ou bien les compétitions sportives (Bradley, 1984 ; Courcoux et Séménou, 1997 ; Dittrich, Katzenbeisser et Reisinger, 2000 ; Duineveld, Arents et King, 2000). D'après Buthler et Wehlan (2000), le modèle couramment employé dans ce cas est celui de Bradley-Terry. Ce modèle, présenté ci-dessous,

permet d'estimer la probabilité qu'un objet soit préféré à un autre, qu'une équipe l'emporte sur une autre, ou qu'une parcelle résiste mieux qu'une autre dans notre cas.

Voici, à partir d'un exemple simple, l'illustration du principe du modèle de Bradley-Terry. Prenons le cas de deux placettes, une de traitement A et une de traitement B. Chaque placette présente une résistance au vent, respectivement R_A et R_B . Cette résistance est positive et la somme des forces est égale à une valeur arbitraire strictement positive.

Nous exprimons la probabilité que la parcelle de traitement A soit plus résistant que celle de traitement B de la façon suivante :

$$P(R_A > R_B) = \frac{R_A}{R_A + R_B}$$

Ainsi, si la résistance la parcelle de traitement A (R_A) est supérieure à celle de traitement B (R_B), les parcelles de traitement A auront une plus forte probabilité d'être épargnées. Cette probabilité est d'autant plus importante que la différence de résistances entre les deux placettes est conséquente.

Les résistances sont alors estimées par la méthode du maximum de vraisemblance. Le principe de cette estimation est de trouver les valeurs hypothétiques de paramètres de la population pour lesquelles il est plus vraisemblable que pour toutes autres qu'elle puisse générer l'échantillon que l'on observe réellement (Wonnacott & Wonnacott, 2000). Voici à nouveau un exemple très simple illustrant ce principe. En supposant que nous observions 10 sites sur lesquels une parcelle de traitement A est voisine d'une parcelle de parcelle de traitement B; que sur 7 sites le traitement A présente moins de dégâts que le traitement B; et que sur 3 sites il en présente plus. Dans ce cas très simple, on observe $R_A > R_B$ dans 70% des cas et $R_B > R_A$ dans 30% des cas. L'estimation des résistances sera de 0,7 pour le traitement A et de 0,3 pour le traitement B si on fixe comme contrainte que la somme des résistances est égale à 1. Dans le cas où seules deux modalités sont étudiées, le résultat est trivial. Cette approche prend tout son intérêt lorsque trois modalités ou plus sont étudiées, ou que plusieurs variables sont comparées simultanément (technique de plantation, âge, labour, fertilisation ...).

Le modèle estime une résistance pour chacun des traitements étudiés, ce qui permet de les positionner sur une échelle pour laquelle seul le positionnement relatif a un sens.

Dans certains cas, les placettes peuvent présenter un même taux de dégâts. D'après Buthler et Wehlan (2000), la solution de considérer une égalité comme une demi-victoire et une demi-défaite fonctionne bien en pratique, surtout si l'optique est d'estimer la résistance plus que les probabilités de gagner, ce qui correspond bien à notre cas.

3. Présentation des résultats

3.1 Description générale des données

Une première sélection des informations de la base est opérée afin de ne conserver uniquement les parcelles :

- de pin maritime ou de pin taeda ;
- dont nous connaissons l'année d'installation ;
- présentant au moins une information concernant leur itinéraire sylvicole ;
- dont l'information « dégâts » issu du croisement avec la couche IFN est pertinente (parcelles supérieures à 1ha).

Avec cette sélection, nous obtenons environ 20 000 placettes qui représentent 117 000 ha.

3.1.1 Comparaison pin maritime et pin taeda

Le pin maritime et le pin taeda ont une répartition en classe d'âge très différente. Les peuplements de pin taeda sont en effet en moyenne beaucoup plus jeunes que ceux de pin maritime. C'est pourquoi seules les placettes âgées de moins de 25 ans ont été conservées. La répartition en terme de dégâts est présentée figure 2.

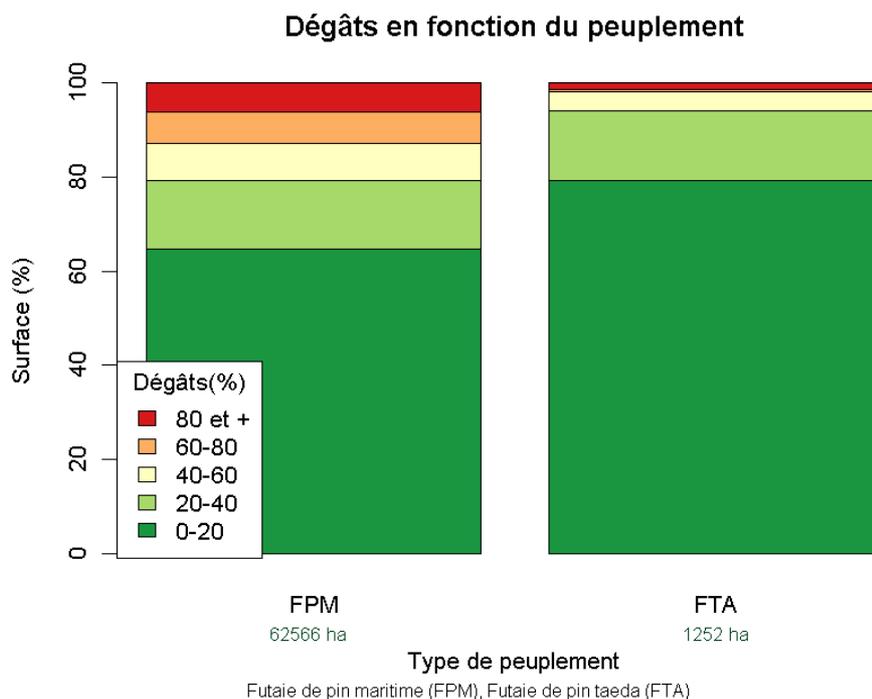


Figure 2 : Comparaison des dégâts entre parcelles de pin maritime et pin taeda

Cette figure confirme nettement une perception de terrain, à savoir une meilleure résistance du pin taeda que du pin maritime. La figure 3 expose les observations de terrain réalisées par les agents de la CAFSA lors de leurs tournées d'évaluation des dégâts sur les parcelles dont ils assurent la gestion. Pour permettre la comparaison avec la figure précédente, uniquement les parcelles de moins de 25 ans sont représentées. Seules les zones touchées par la tempête ont été revisitées ce qui explique un taux de dégâts moyen observé plus important que sur la figure 2, qui concerne l'ensemble du massif. Nous retrouvons ici le résultat précédemment mentionné à savoir une meilleure résistance du pin taeda que du pin maritime. Des analyses plus approfondies devraient être conduites afin de rechercher les raisons expliquant cette résistance. En plus des différences de propriétés du bois et de répartition des masses dans l'arbre, nous pensons que le système racinaire joue un rôle primordial dans cette différence de stabilité comme l'illustre la figure 4.

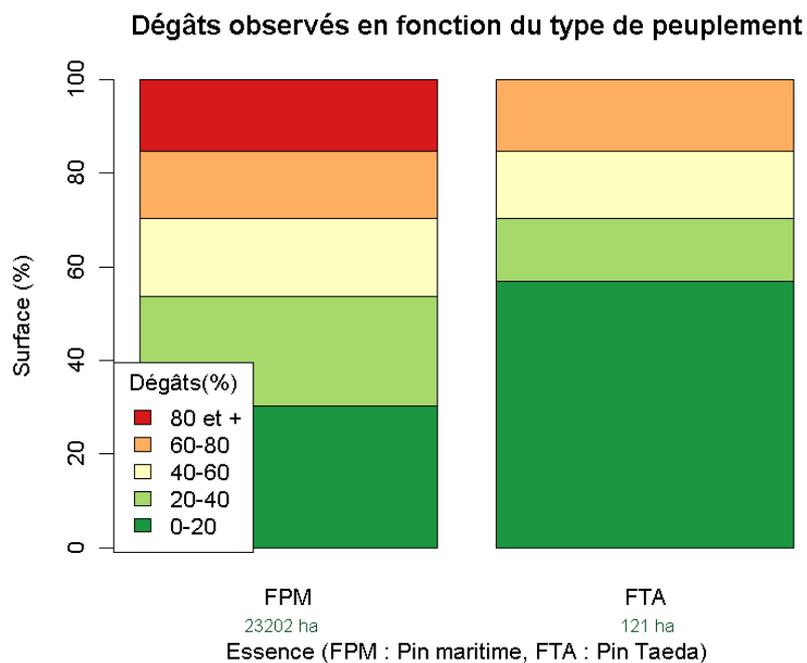


Figure 3 : Comparaison des dégâts observés sur le terrain entre parcelles de pin maritime et pin taeda



Figure 4 : Comparaison qualitative entre le système racinaire du pin maritime (à gauche) et du pin taeda (à droite).

Il faut toutefois signaler que les surfaces comparées sont très différentes (62566 ha pour le pin maritime contre 1252 ha pour le pin taeda). En outre, l'IFN souligne dans la notice de la carte des dégâts que les estimations ne sont calibrées que pour le pin maritime. Considérant ces deux éléments, **nous limiterons la suite de l'étude au pin maritime.**

3.1.2 Dégâts et classes d'âges

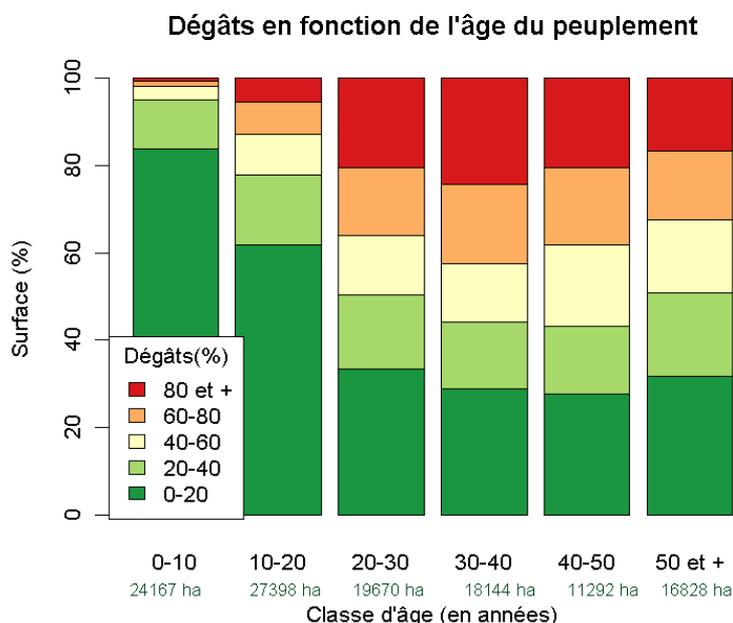


Figure 5 : Comparaison des dégâts en fonction de l'âge du peuplement

L'analyse de la répartition des dégâts montre une plus forte proportion d'arbres touchés à partir de 20 ans avec un maximum de dégâts dans les classes les plus productives (20-40 ans). Ce phénomène avait déjà été mis en évidence par l'IFN dans l'analyse des estimations des conséquences de la tempête. Le fait de retrouver ce résultat à partir d'une information âge d'origine autre que celle de l'Inventaire permet de conforter la pertinence du croisement des informations provenant de l'IFN et de la CAFSA.

L'analyse de la figure 5 confirme l'effet significatif de l'âge sur la résistance au vent. Nous avons de plus constaté une forte corrélation entre l'âge et différentes variables de traitement.

La figure suivante illustre la corrélation existant entre l'âge et la technique d'installation. Le rapport de corrélation (rapport de la variance intergroupe sur la variance totale (Saporta, 1990) est égal à 0,62.

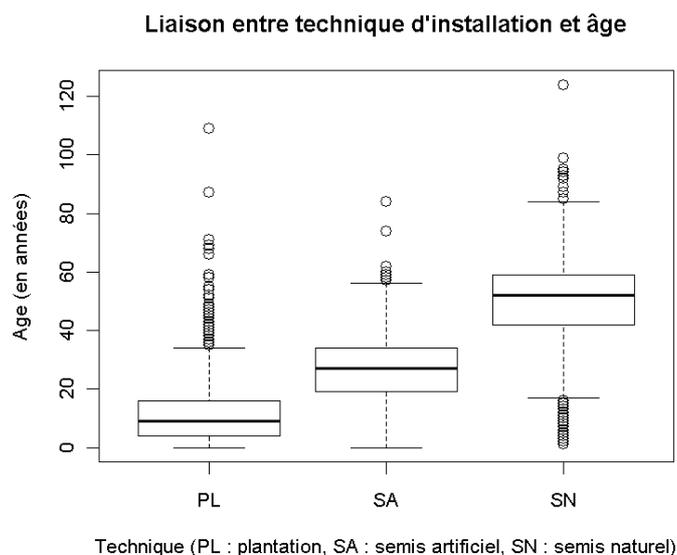


Figure 6 : Age en fonction de la technique de plantation

La corrélation entre la technique de fertilisation et l'âge est moins nette. Nous pouvons cependant constater que les parcelles sans information (si) correspondent aux parcelles les plus anciennes, ce qui est cohérent avec la date de mise en place de la base de données. Les parcelles pour lesquelles l'absence de fertilisation est mentionnée sont uniquement dans le jeune âge.

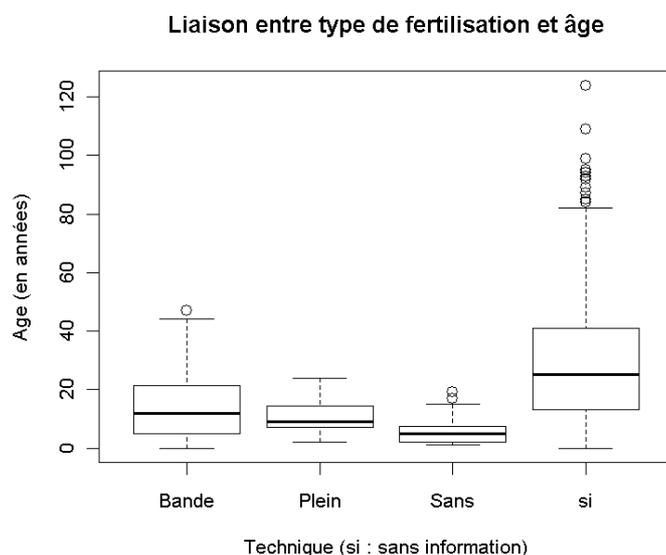


Figure 7 : Age en fonction de la technique de fertilisation

Comme précédemment, les renseignements concernant le travail du sol sont essentiellement renseignés pour les parcelles les plus jeunes (moins de 20 ans). Parmi les informations enregistrées, le labour en bande a été appliqué sur des parcelles dont l'installation est plus tardive.

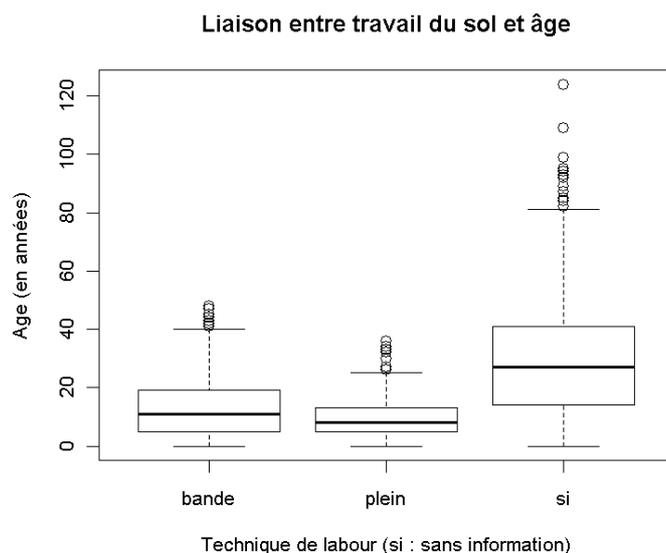


Figure 8 : Age en fonction de la technique de travail du sol

Etant données la forte différence dans les dimensions des arbres d'âge éloigné ainsi que la forte corrélation de cette variable avec nombreuses variable d'étude, il est nécessaire de tenir compte de ce paramètre dans nos analyses. Pour cette raison, les comparaisons seront réalisées à âge équivalent. Nous avons pour cela défini 6 classes d'âge : 0-10 ans, 10-20 ans, 20-30 ans, 30-40 ans, 40-50 ans, 50 ans et plus.

Comme l'illustre la figure 9, les comparaisons par paires servant à l'estimation des paramètres du modèle se feront donc entre parcelles de même lieu et d'âges comparables.

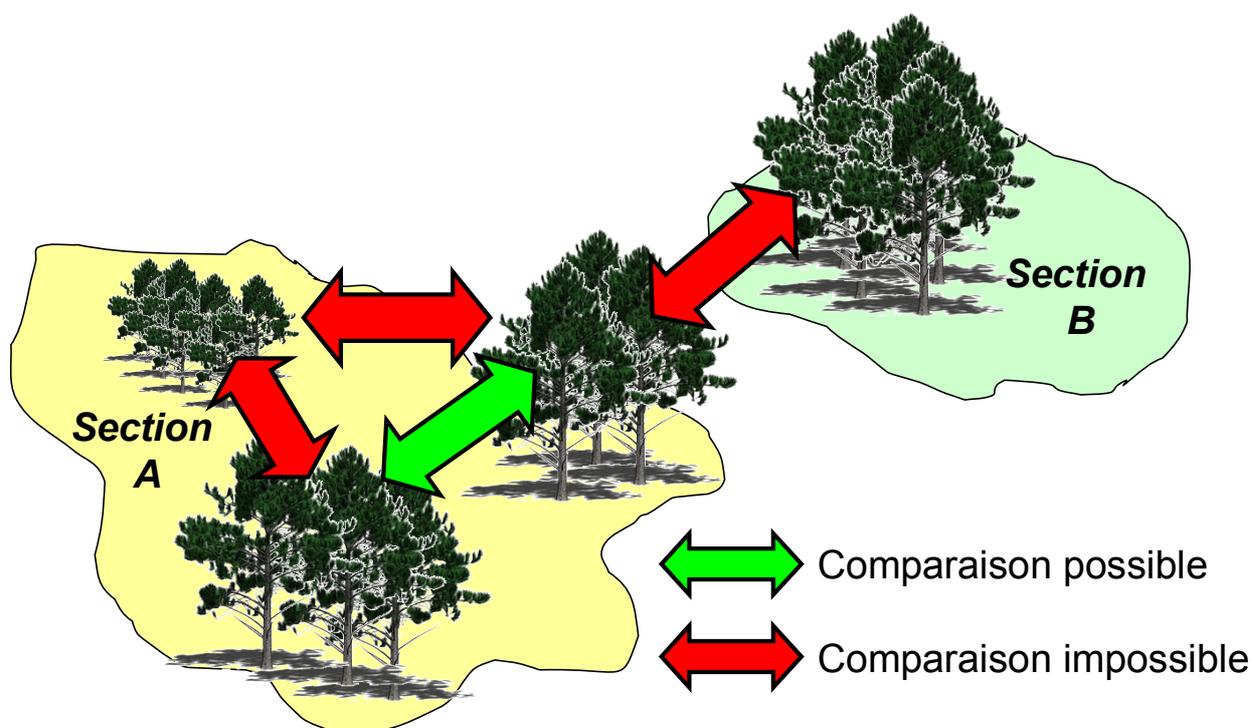


Figure 9 : Principe des comparaisons par paire

3.2 Résultats de l'étude de l'effet des différentes options des scénarios sylvicoles

La méthodologie de comparaison des modalités des différentes options présentée, dans la partie 2.2, est appliquée ici. Les résultats sont exposés sous forme d'un positionnement sur une échelle de résistance allant de 0 (aucune résistance) à 1 (résistance optimale comparativement aux autres options). L'accolade « { » indique que la différence entre les traitements n'est pas significative. A titre d'illustration, nous reprenons le positionnement de l'exemple de la partie 2.2 à savoir le traitement A et le traitement B.

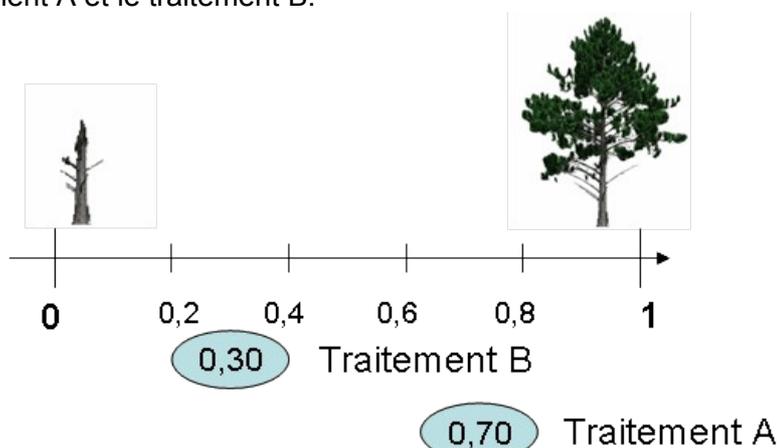


Figure 10 : Présentation de l'échelle de comparaison des traitements

Pour calculer la probabilité que le traitement A résiste mieux que le traitement B il suffit de faire le rapport de la résistance estimée du traitement A (ici 0,70) sur la somme des deux traitements (ici $0,30+0,70=1$). On obtient dans ce cas 70%.

3.2.1 Impact de la technique d'installation sur la résistance

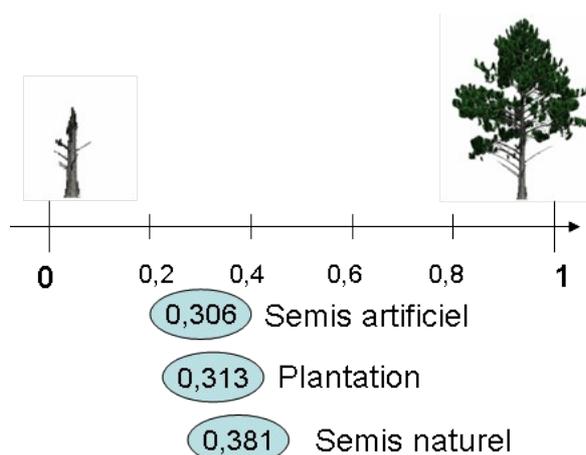


Figure 11 : Comparaison des techniques de plantation

A âge et situation géographique comparable, les traitements les moins sensibles à la tempête sont dans l'ordre le semis naturel, la plantation et le semis artificiel. Les différences entre ces traitements ne sont cependant pas très prononcées. Dans ce cas, un semis naturel a 55% de chance de résister mieux qu'une plantation ou qu'un semis artificiel. Semis artificiel et plantation présentent quant à eux des résistances équivalentes.

Il faut toutefois être prudent dans l'interprétation de ces résultats, car comme le montre la figure 6, il y a peu de comparaison des trois modes d'installation qui peuvent se faire à âge équivalent. En outre, une même technique d'installation peut avoir évolué au cours du temps.

Par ailleurs, et cela reste vrai pour l'analyse des autres effets, les dimensions ne sont pas prises en considération. Or à âge égal les dimensions des arbres peuvent varier en fonction des options : une moins bonne résistance au vent est peut-être donc liée à un meilleur développement (qui offre ainsi une plus grande prise au vent).

Enfin, il peut exister également des interactions avec des variables non prises en considération. Par exemple, les plantations étaient souvent favorisées sur les terrains les plus riches (anciens champs, landes humides) où la réussite du semis était plus aléatoire. La stabilité des pins est moins bonne sur ce type de station (voir ci-dessous).

Dans le cadre d'une étude antérieure sur la résistance au vent des peuplements de pin maritime (Cremiere et al., 2002), il a également été constaté, à partir de l'analyse de 12 couples semis/plantations, qu'il n'existait pas de différence significatives des niveaux de dégâts entre ces deux modalités.

3.2.2 Impact de la fertilisation sur la résistance

L'interprétation des résultats sur l'effet de la fertilisation est délicate, car cette variable est fortement corrélée au travail du sol, comme le montre le tableau d'effectifs suivant :

Fertilisation	Labour en bande	Labour en plein
En bande	863	94
En plein	0	72
Sans	64	72

Afin de limiter cette corrélation, nous allons donc fusionner les classes fertilisation en plein et fertilisation en bande et réaliser la comparaison avec fertilisation contre sans fertilisation. Nous nous limiterons aux deux premières classes d'âge.

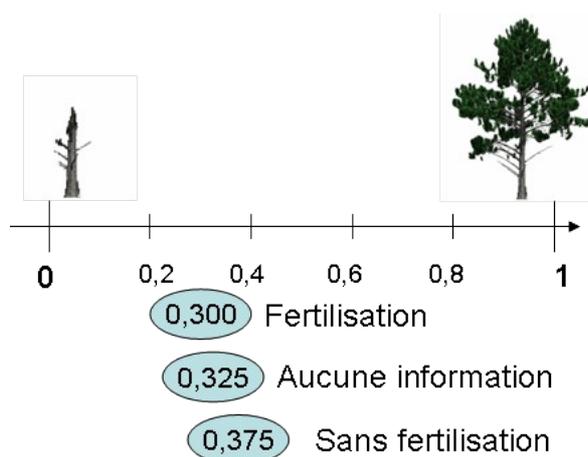


Figure 12 : Comparaison des techniques de fertilisation

La comparaison entre parcelles fertilisées et parcelles non fertilisées donne 56% de chance qu'une parcelle non fertilisée résiste mieux qu'une parcelle fertilisée.

Une fois encore plusieurs éléments peuvent expliquer ce résultat :

- une sensibilité effective des arbres fertilisés par rapport aux arbres non fertilisés,
- un meilleur développement des arbres fertilisés qui, à âge égal, deviennent donc plus sensibles au vent,

- un biais lié à la relation entre la fertilisation et le type de lande.

Ces résultats concordent avec des études antérieures réalisées suite à la tempête de 1999. Trichet *et al.*(2008) indiquent que, dans le cas des parcelles expérimentales, les modalités fertilisées sont significativement plus touchées par la tempête de 1999 que les modalités non fertilisées. Cremière *et al.* (2002) ont également constaté qu'un itinéraire très intensif (fertilisation annuelle N, P, K, Ca, Mg, oligoéléments) entraîne des niveaux de dégâts nettement supérieurs à celui observé sur des parcelles non fertilisées. En revanche, selon les mêmes auteurs, la pratique de la fertilisation phosphatée à des niveaux compris ente 80 et 120 kg de P₂O₅/ha n'entraîne pas de niveaux de dégâts remettant en cause l'avenir des peuplements mais simplement une légère augmentation du taux d'arbres peu penchés (>20%).

3.2.3 Impact du travail du sol sur la résistance

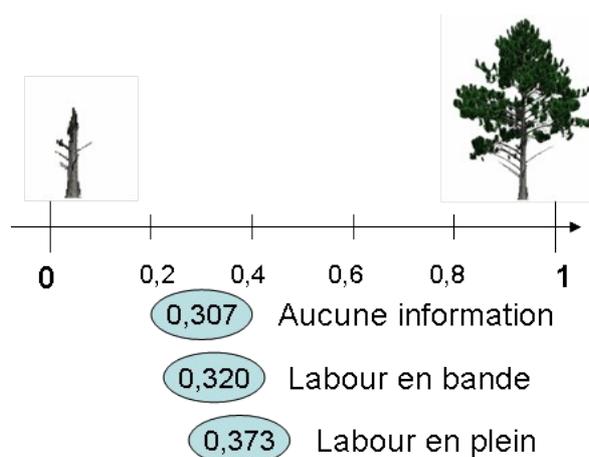


Figure 12 : Comparaison des techniques de travail du sol

Une fois encore les différences entre les traitements ne sont pas très marquées. Les résultats montrent tout de même qu'une parcelle labourée en plein aura 54% de chance de mieux résister au vent qu'une parcelle labourée partiellement.

3.2.4 Impact des éclaircies sur la résistance

Les modalités étudiées sont le nombre d'années écoulées depuis la dernière éclaircie. Les informations concernant les éclaircies ne remontent pas au-delà de cinq années. La modalité « plus de cinq ans » regroupe donc les parcelles dont les éclaircies sont antérieures à cinq années mais également les parcelles n'ayant jamais été éclaircies ou encore les parcelles dont nous n'avons aucune information concernant le passage en éclaircie.

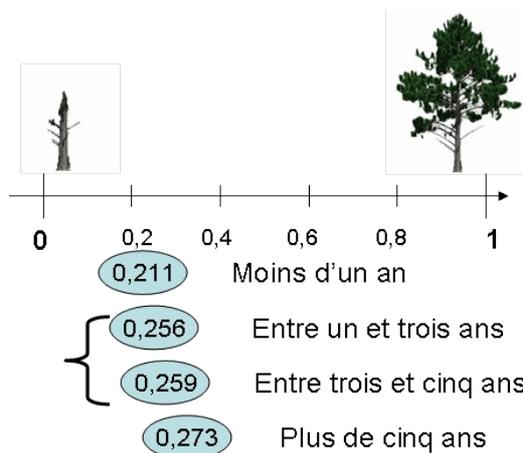


Figure 14 : Comparaison des effets des éclaircies

Les résultats de cette comparaison confirment un phénomène déjà observé lors de la précédente tempête, à savoir que les parcelles venant juste d'être éclaircies sont plus sensibles à la tempête que les autres (Crémière, 2002). Dans le cas présent, les parcelles éclaircies ont 56% de chance de moins bien résister que les parcelles de la modalité « Plus de cinq ans ».

3.2.5 Impact des entretiens sur la résistance

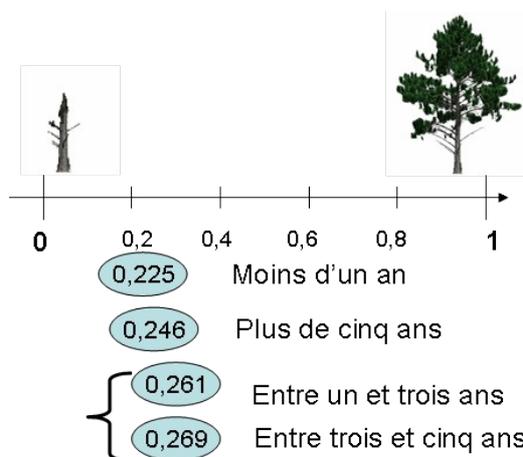


Figure 15 : Comparaison des effets des entretiens

Comme pour l'étude de l'effet des éclaircies, les résultats provenant de la classe du dernier entretien remontant à plus de cinq ans sont difficiles à interpréter du fait du mélange de différentes modalités de la variable étudiée.

Nous obtenons ici un résultat comparable à celui des effets des éclaircies, à savoir que les parcelles dont l'entretien a été réalisé moins d'un an avant la tempête sont plus sensibles que celles dont l'entretien est plus ancien.

3.2.6 Impact du type de lande sur la résistance

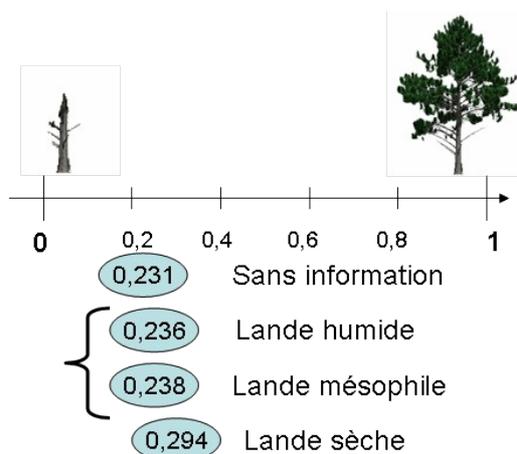


Figure 16 : Comparaison des types de lande

Les parcelles situées sur lande sèche présentent une meilleure résistance que celles situées sur lande humide ou mésophile. Plusieurs éléments peuvent expliquer cette observation :

- le développement des arbres sur lande sèche est moins rapide que sur lande mésophile ou lande humide bien drainée. De ce fait, à âge égal, les arbres sont plus petits et moins sensibles au vent.
- au moment de la tempête les landes humides présentaient des sols particulièrement détrempés pouvant entraîner un ancrage moins solide des arbres.
- les arbres sur landes humides présentent généralement un écart à la verticalité plus important que sur landes mésophiles ou landes sèches, ce qui aggrave l'instabilité.

Des résultats similaires ont été obtenus lors de l'analyse des dégâts de la tempête de 1999 (Alazard *et al.*, 2002) à savoir que les zones à hydromorphie marquée sont à l'origine d'une stabilité très mauvaise (et d'une mauvaise croissance). Inversement, la stabilité est meilleure dans les zones où la fougère est présente (zones en général bien drainées).

3.2.7 Impact des densités sur la résistance

Les parcelles dont la densité est renseignée sont peu nombreuses et pas nécessairement situées dans une même section cadastrale, ce qui ne nous permet pas de distinguer de différences significatives concernant la résistance au vent. À titre d'illustration, le diagramme ci-dessous résume l'information concernant la densité et montre la variabilité des taux de dégâts vis-à-vis de cette variable.

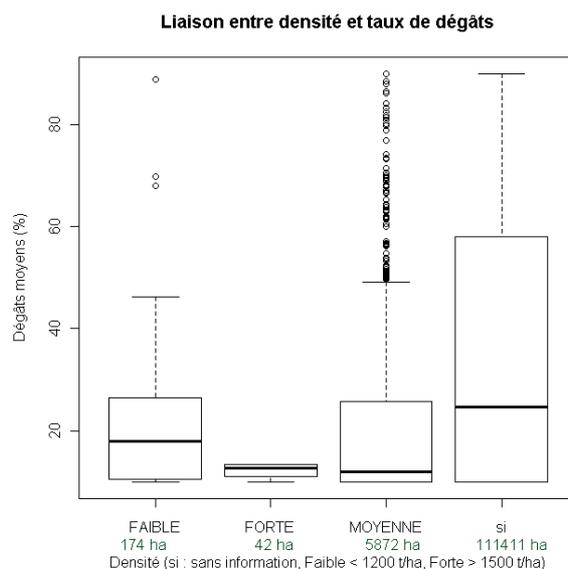


Figure 15 : Répartition des taux de dégâts en fonction de la densité

3.3 Test de l'effet combiné des différentes options de traitement

Comme signalé dans la partie méthodologie (2.4), il est possible d'appliquer le raisonnement précédent à une combinaison d'options. Cependant, le croisement des différentes modalités des différents traitements conduit à 729 combinaisons possibles. Or seulement 249 d'entre-elles sont présentes dans les données étudiées et 107 seulement sont présentes dans au moins 10 comparaisons. Ce déséquilibre induirait des risques de mauvaise interprétation des résultats. La comparaison des effets combinés des différentes options de traitement nécessiterait la définition d'un plan expérimental ad hoc et la réalisation des observations associées.

4. Discussion

L'analyse de la base de données CAFSA a permis de faire un état des lieux chiffré de l'effet de différentes modalités de traitements sylvicoles concernant la sensibilité des peuplements à la tempête.

Cette analyse est basée sur une comparaison par paires à partir de la variable « intensité des dégâts » obtenue à l'aide de la carte des dégâts de l'IFN. Si nous sommes parvenus à dégager certaines tendances, il paraît délicat de pouvoir obtenir des conclusions plus nettes du fait de la nature de cette variable :

- la résolution des images ayant servi aux calculs du niveau de dégâts présentent des pixels dont la résolution est de 20 m. Il n'est donc pas envisageable d'avoir des informations pour des parcelles trop petites ;
- cette variable est issue d'un traitement d'image qui peut introduire une imprécision entre mesure et valeur théorique. D'après l'IFN, il y a 10% de décalage entre l'évaluation des surfaces de dégâts supérieures à 40% estimées par retour sur point et celles estimées par cartographie ;
- lors des mesures de terrain nous avons constaté que les variations des niveaux de dégâts au sein d'une même parcelle, donc pour un même traitement sont parfois très fortes. Une part importante de variabilité de la réponse des traitements à la tempête ne peut donc pas

simplement s'expliquer uniquement à partir des différences entre modalités des options sylvicoles.

Par ailleurs, plusieurs effets non pris en compte dans cette étude viennent ajouter de la complexité au phénomène étudié et être de ce fait sources de variabilité dans ces comparaisons.

Tout d'abord, l'effet du vent : nous avons supposé qu'au sein d'une section cadastrale, l'intensité de vent était uniforme. Cependant, la microtopologie et le voisinage de chaque parcelle peuvent induire des perturbations dans la propagation du vent et donc accentuer ou tempérer sa force.

Ensuite, le sol peut également varier localement. En considérant par exemple la profondeur, son effet peut être opposé suivant les cas : des sols profonds peuvent permettre un meilleur enracinement, et donc une meilleure résistance, mais inversement un sol profond peut entraîner un meilleur développement, donc une plus grande sensibilité au vent. Or, ce paramètre pédologique peut varier nettement au sein d'une même section, voire au sein d'une même parcelle.

Cet exemple fait également apparaître une limite de l'étude plusieurs fois soulignée au cours de l'interprétation des résultats, à savoir l'impact de la dimension des arbres. En effet, les comparaisons se font à modalités équivalentes et à classes d'âges équivalentes. Cependant, lorsqu'une modalité est fortement bénéfique au développement de l'arbre, ce dernier lui confèrera une plus grande prise au vent. Cette étude mériterait donc d'être approfondie par une comparaison de l'effet des différentes modalités à dimensions équivalentes.

Enfin, une dernière difficulté rencontrée dans l'interprétation de ces résultats provient du fait que certaines variables sont fortement corrélées entre elles, mais également que les effectifs de chaque combinaison de modalités sont loin d'être comparables.

5. Recommandations

A partir des résultats obtenus dans cette analyse, nous pouvons revenir sur les différents traitements et émettre un certain nombre d'avis concernant les choix d'options sylvicoles. **Il faut bien garder à l'esprit qu'il s'agit de grandes tendances et que dans les tests réalisés, les probabilités qu'une option donnée résiste mieux qu'une autre n'a jamais dépassée les 60%.**

- L'essence

La résistance du pin taeda semble supérieure à celle du pin maritime. Avant d'opter pour cette essence, le sylviculteur devra naturellement vérifier son adéquation avec le type de lande (préférentiellement landes humides bien drainées et landes mésophiles, péri-landais).

- Technique d'installation

Parmi les techniques d'installation les plus fréquemment pratiquées aujourd'hui à savoir semis artificiel ou plantation, il n'y a pas de différence marquée par rapport à la sensibilité au vent. Le choix reste donc ouvert. Dans les peuplements plus anciens, les peuplements issus de semis naturel semblent avoir mieux résisté.

- Fertilisation

Les effectifs permettant de tester cette modalité dans cette étude n'étaient pas suffisants pour pouvoir tirer une conclusion précise. Il semblerait toutefois que les arbres non fertilisés présentent une meilleure résistance. Comme on ne peut exclure cette pratique, indispensable pour gagner en croissance sur les landes humides notamment, une certaine prudence s'impose, en préconisant des doses modérées (40 à 60 u/ha).

- Travail du sol

La différence entre labour en plein et labour en bande est très faible, au bénéfice du labour en plein. Au regard des bénéfices apportés les premières années, la recommandation serait plutôt d'adopter le labour en plein ou un labour en bande suffisamment large.

- Éclaircies

Une éclaircie réalisée peu de temps avant la tempête est source d'instabilité pour le peuplement. Pour réduire l'exposition aux risques de chablis, il conviendrait donc de limiter le nombre d'éclaircies, avec des scénarios sylvicoles à plus courte rotation, et/ou d'éviter un fort taux de prélèvement lors du passage en éclaircie (taux maximal de 33%).

- Entretiens

Les entretiens semblent avoir un effet néfaste, surtout quand ils sont réalisés peu de temps avant la tempête. Le conseil serait donc de limiter l'impact de ces entretiens en utilisant des appareils plus légers lors des entretiens afin de ne pas perturber le développement racinaire, et si possible de décaler les interventions dans le peuplement (ex nettoyage et première éclaircie).

6. Conclusion

L'analyse de la base de données CAFSA a permis de mettre en évidence de façon quantitative l'effet de certains choix sylvicoles sur la résistance au vent des peuplements de pins. Si certains traitements, comme le choix de l'essence ou l'intensité des éclaircies, semblent influencer la sensibilité au vent, l'effet d'une majorité d'entre eux est plus délicat à interpréter. De façon synthétique, un labour sur une grande largeur, une fertilisation raisonnée, un nombre et des taux d'éclaircie modérés et des entretiens plus légers dans le jeune âge sont les pratiques qui sont ressorties comme étant le plus susceptible d'améliorer la stabilité.

Afin de confirmer ces tendances, l'étude mériterait d'être approfondie par l'apport d'informations supplémentaires, notamment l'apport de données permettant de compléter les tables des bases existantes ou l'amélioration de la précision de la variable « taux de dégâts ».

Par ailleurs, l'enjeu économique du choix de certaines options mériterait d'être approfondi. En effet, il se peut que le choix de certains scénarios sylvicoles optimisent la résistance au vent mais ne soit pas rentables ou encore que le gain espéré en probabilité de résistance au vent ne soit pas à la hauteur de la perte probable de revenu.

7. Bibliographie

- Alazard P., Chantre G., de Boisseson J.M., Fraysse J.Y., Besson F., Rousseau J.P., Brendel B., Reconstitution de la forêt de pin maritime en Aquitaine. Définition d'un cahier des charges agronomiques nécessaire et suffisant pour la réussite des reboisements de pin maritime en Aquitaine. 58p. 2002.
- Bradley R.A., « Paired comparisons : some basic procedures and examples », *Handbook of statistics*, vol. , n° 4, p. 299-326, 1984.
- Buthler K. et Whelan J.T., « The existence of maximum likelihood estimates in the bradley-terry model and its extensions », 2000.
- Courcoux P. et Séménou M., « Preference data analysis using paired comparison model », *Food and Quality Preference*, vol. 8, n° 5/6, p. 353-358, 1997.
- Crémière L., Najjar M., Fraysse J.Y., de Boisseson J.M., Merzeau D., Carnus J/M., Bert D., Cocchi V., Trichet P., Pastuszka P., Sardin T., Canteloup D., Dumas, J.M. Sylviculture et résistance au vent des peuplements de pin maritime, 73p. 2002.
- Dittrich R., Katzenbeisser W. et Reisinger H., « The analysis of rank ordered preference data based on bradley-terry type models », *OR Spektrum*, vol. , n° 22, p. 117-134, 2000.
- Duineveld C.A.A., Arents P. et King M.B., « Log-linear modelling of paired comparison data from consumer tests », *Food and Quality Preference*, vol. , n° 11, p. 63-70, 2000.
- IFN, Carte des dégâts de tempête de janvier 2009 sur le massif landais, MAP - Inventaire Forestier National. 2009
- IFN, *La forêt française, les résultats issus des campagnes d'inventaire 2005, 2006, 2007 et 2008*, 2009.
- Saporta G., Probabilités, analyse des données et statistique, Editions technip, 493p., 1990
- Trichet P., Alazard P., Fraysse J.Y., Canteloup D., Augusto L. Bakker M., Bernier F., Bosc A., Lambrot C., Loustau D., Méredieu C., Merzeau D., Pestuszka P., Sartone M., Facteur limitant de la croissance : analyse expérimentale. Sous-tâche 213c. Sylvogène. Rapport final du projet Sylvogène p. 134-145, 2008.
- Wonnacott T.H., Wonnacott R.J., Statistique. Economie – Gestion – Sciences – Médecine (avec exercices d'application). Economica, 920p, 2000.