

# Dépérissement du châtaignier :



État des lieux de la ressource

Outils de diagnostic

Adaptation des itinéraires  
sylvicoles



Août 2014

Etude réalisée avec l'appui d'Elodie DEGARDIN grâce à la participation financière de l'Etat.

# Sommaire

<b>Introduction</b>	<b>p.1</b>
<b>1) Contextes et objectifs de l'étude</b>	<b>p.2</b>
<b>1.1) Présentation de l'essence</b>	<b>p.2</b>
1.1.1) Généralités	p.2
1.1.2) Caractéristiques biologiques et botaniques	p.3
1.1.3) Distribution géographique	p.3
1.1.4) Autécologie du châtaignier	p.2
<b>1.2) La place du châtaignier à bois</b>	<b>p.5</b>
1.2.1) Le châtaignier en France	p.5
1.2.2) Le châtaignier en Poitou-Charentes	p.6
<b>1.3) Problèmes rencontrés sur le châtaignier</b>	<b>p.8</b>
1.3.1) Les pathogènes	p.8
1.3.2) La concurrence	p.11
1.3.3) Vieillessement de l'ensouchement	p.11
1.3.4) Dépérissement	p.12
<b>2) Matériels et méthodes</b>	<b>p.13</b>
<b>2.1) Protocole de l'inventaire</b>	<b>p.13</b>
2.1.1) Cartographie des zones de présence de châtaignier	p.13
2.1.2) Choix des placettes	p.13
2.1.3) Caractéristiques à l'échelle du peuplement	p.14
2.1.4) Caractéristiques à l'échelle de l'arbre	p.15
a) Les caractéristiques dendrologiques	p.15
b) Le relevé phytosanitaire	p.15
2.1.5) Caractéristiques stationnelles	p.17
a) La géomorphologie	p.17
b) La pédologie	p.17
c) La flore	p.18
<b>2.2) Traitement statistique</b>	<b>p.18</b>
<b>3) Résultats et interprétation</b>	<b>p.18</b>
<b>3.1) Etat des lieux de l'état sanitaire du châtaignier</b>	<b>p.18</b>
3.1.1) Etat sanitaire général	p.18
3.1.2) Situation vis-à-vis du chancre	p.19
3.1.3) Situation vis-à-vis de l'encre	p.19
3.1.4) Situation vis-à-vis de la mineuse	p.19
3.1.5) Prise en compte de l'âge des peuplements	p.19
<b>3.2) Analyse des facteurs en jeu</b>	<b>p.20</b>
3.2.1) Les axes majeurs ressortant du jeu de données	p.20

3.2.2) Les paramètres déterminant le dépérissement du châtaignier	p.20
3.2.3) Les paramètres expliquant la présence de chancre	p.21
a) Le taux de ceinturation	p.21
b) Etat de virulence	p.22
3.2.4) Les paramètres expliquant l'indice de fertilité	p.22
3.3) Modélisation	p.23
4) Adaptation des itinéraires sylvicoles	p.25
4.1) Intérêt d'une adaptation des itinéraires sylvicoles	p.25
4.2) Précaution générales	p.25
4.3) Proposition d'itinéraires	p.26
4.4) Précautions en fonction des pathologies	p.27
4.4.1) Vis-à-vis du chancre	p.27
4.4.2) Vis-à-vis de l'encre	p.27
5) Discussion et Conclusion	p.27
Bibliographie	p.29

## Liste des illustrations

<b>Figure 1</b> : feuilles, fleurs et fruits de châtaignier	p.3
<b>Figure 2</b> : aire de répartition du châtaignier en France	p.3
<b>Figure 3</b> : répartition des essences picto-charentaises	p.6
<b>Figure 4</b> : classement des régions en fonction de la surface en châtaigniers	p.6
<b>Figure 5</b> : évolution du volume de bois (en m <sup>3</sup> ) d'œuvre récolté entre 2005 et 2012 en France, Poitou-Charentes, et en Charente	p.7
<b>Figure 6</b> : répartition du chancre du châtaignier en France de 2007 à 2014	p.8
<b>Figure 7</b> : répartition de l'encre en France de 2007 à août 2014	p.9
<b>Figure 8</b> : évolution du nombre de rejets vivants par are	p.11
<b>Figure 9</b> : hiérarchisation des principaux facteurs impliqués dans les processus de dépérissement d'après Manion (1981) adaptée aux conditions françaises (Landmann, 1994)	p.12
<b>Figure 10</b> : prise de mesure des diamètres d'une cépée	p.15
<b>Figure 11</b> : houppier notable (en vert foncé) en fonction de la densité du peuplement	p.15
<b>Figure 12</b> : prise en compte des branches mortes dans le houppier notable	p.16
<b>Figure 13</b> : principe de notation du pourcentage de recouvrement des chancres	p.16

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : volume sur pied des essences principales en France	p.4
<b>Tableau 2</b> : résultats de la logistique caractérisant le dépérissement sur l'ensemble des placettes	p.20
<b>Tableau 3</b> : résultats de la C4.5 caractérisant le dépérissement sur les 94 placettes	p.21
<b>Tableau 4</b> : arbre de décision de la C4.5 caractérisant le chancre	p.21
<b>Tableau 5</b> : arbre de décision de la C4.5 caractérisant le chancre et son état de virulence	p.22
<b>Tableau 6</b> : arbre de décision de la C4.5 caractérisant l'indice de fertilité	p.23

## Liste des graphiques

<b>Graphique 1</b> : répartition des placettes saines et dépérisissantes sur la zone d'étude	p.18
<b>Graphique 2</b> : répartition des placettes en fonction de l'impact du chancre	p.19
<b>Graphique 3</b> : rapport entre l'état sanitaire et les facteurs explicatifs (IF et chancre)	p.21
<b>Graphique 4</b> : probabilité d'observer du dépérissement notable en fonction de l'indice de fertilité (IF) et du chancrefort	p.24

## Liste des photos

<b>Photo 1 : chancre de l'écorce à l'état virulent avec rejets à la base du chancre</b>	<b>p.8</b>
<b>Photo 2 : chancre cicatrisé grâce au mycovirus</b>	<b>p.8</b>
<b>Photo 3 : flamme sous corticale avec fin liseré noir</b>	<b>p.9</b>
<b>Photo 4 : nanification des feuilles, avec coloration plus pâle</b>	<b>p.9</b>
<b>Photo 5 : mortalité par tâche concentrique</b>	<b>p.9</b>
<b>Photo 6 : symptôme du coryneum ou javart : pastille</b>	<b>p.10</b>
<b>Photo 7 : symptôme du coryneum ou javart : fuseau « de pied »</b>	<b>p.10</b>
<b>Photo 8 : symptôme de la mineuse de l'écorce : galerie creusée par la larve</b>	<b>p.10</b>
<b>Photo 9 : symptôme de la mineuse de l'écorce : desquamation due à la sortie de l'insecte</b>	<b>p.10</b>

## Liste des annexes

<b>Annexe 1 : cartographie des peuplements de châtaignier et localisation des placettes</b>	<b>p.i</b>
<b>Annexe 2 : protocole détaillé de l'utilisation du kit de détection du <i>phytophthora</i></b>	<b>p.ii</b>
<b>Annexe 3 : état sanitaire des placettes</b>	<b>p.iii</b>
<b>Annexe 4 : cartographie des placettes présentant du chancre</b>	<b>p.iv</b>
<b>Annexe 5 : cartographie des placettes présentant de l'encre</b>	<b>p.v</b>
<b>Annexe 6 : répartition et quantification de la présence de la mineuse</b>	<b>p.vi</b>
<b>Annexe 7 : modélisation de la probabilité de présence du chancre</b>	<b>p.vii</b>
<b>Annexe 8 : itinéraires techniques sylvicoles</b>	<b>p.viii</b>

## **Glossaire**

ACP : Analyse en Composantes Principales

ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire

CNPF : Centre National de la Propriété Forestière

CRPF : Centre Régional de la Propriété Forestière

DiffTX68 : Différence de température maximale entre juin et août

DSF : Département de la Santé de Forêt

ED : Elodie DEGARDIN

H&T : Horte et Tardoire

IDF : Institut pour le développement Forestier

IF : Indice de fertilité

IGN : Inventaire Géographique National

P-ETP 68-81\_50m : Bilan hydrique estival sur les moyennes trentenaires de 1981 à 2010

PSG : Plan Simple de Gestion

PDM : Plan de Développement de Massif

S-C: Sud-Charente

TMAN81\_10 : Températures moyennes annuelles entre 1981 et 2010

TPI1625m : Index de position topographique de Charente avec précision de 25m

X-RELEVE : Indice d'acidité du milieu

## Introduction

Présent dans de nombreuses régions françaises, le châtaignier est cultivé depuis l'Antiquité, principalement pour ses fruits. Il occupe actuellement une place importante en France, avec une large distribution géographique.

Les utilisations intensives du bois, du Moyen-âge jusqu'à la première moitié du 20<sup>ème</sup> siècle, ont favorisé la culture du taillis de châtaignier (alimentation en charbon de bois des forges, commerce de bois de feu en fagot, merrains). Cette essence a été avantagée car elle a une grande vigueur et était très adaptée aux utilisations de l'époque (BOURGEOIS, 2004). La baisse de la consommation en bois dans le monde rural fût l'un des facteurs du déclin des châtaigneraies à fruits dès la fin du 19<sup>ème</sup> siècle (LEMAIRE, 2005).

Le chancre du châtaignier (*Cryphonectria parasitica*) a fait son apparition en France à la fin des années 1950. Ce champignon pathogène a soulevé les plus grandes craintes et a laissé présager le pire : aux États-Unis il a décimé, entre 1904 et 1945, 40 000 000 ha de châtaigneraies (LEMAIRE, 2005). Compte tenu de l'impact du chancre, les multiples produits de faible diamètre (piquets, tuteurs, échelas, douelles, feuillards) fournis par la culture du châtaignier en taillis ont été ainsi dévalorisés et ont vu leurs débouchés progressivement taris. Ce n'est qu'au début des années 1980 que s'est développée, sous l'impulsion du groupe Châtaignier de l'Institut pour le Développement Forestier (IDF), une nouvelle sylviculture du châtaignier qui vise à répondre à la demande grandissante en bois d'œuvre (LEMAIRE, 2005). Les besoins en produits de châtaigniers sont évolutifs. Les débouchés actuels sont entre autres les produits de jardinerie, des poteaux pour les littoraux, marquants ...

Aujourd'hui, l'évolution de la santé des taillis de châtaigniers interroge, voire inquiète.

Les dépérissements semblent s'aggraver. D'après le Département de la Santé des Forêts (DSF) 60% des châtaigneraies seraient touchées et ces dépérissements seraient à l'origine de la mortalité de 40% des châtaigniers (LEMAIRE, SAINTONGE, 2005). Pourtant, depuis une dizaine d'années, on assiste à une nette régression du chancre dans le sud de la France. Ce pathogène ne serait donc pas la seule source de leur affaiblissement.

Dès lors, il convient de s'interroger sur le rôle des stations, notamment dans le cadre des changements climatiques annoncés.

Dans le cas particulier du châtaignier, il est urgent de rechercher les conditions stationnelles susceptibles d'en amortir les effets, mais aussi de s'interroger sur le rôle du traitement sylvicole (taillis). La réponse serait à explorer dans ces deux voies stationnelles et sylvicoles.

Dans le secteur géographique du centre Charente, aucune étude sur la santé des châtaigniers n'a été menée jusqu'à présent. Pourtant, ce territoire est une zone historique de la production de châtaignier à bois, drainant des enjeux économiques importants. D'où l'intérêt des questions posées dans le cadre de la présente étude : quelles sont les causes du dépérissement des taillis de châtaigniers et quel avenir a cette essence dans la région ?

Dans cette étude, l'avenir des peuplements de châtaigniers est pris en compte par une analyse sur le terrain de l'état sanitaire de la châtaigneraie charentaise. A la suite de cette phase de terrain, l'étude statistique des données permet de pouvoir caractériser les stations et de créer des outils de diagnostic, simples d'utilisation. Des itinéraires techniques sont alors adaptés afin de valoriser au mieux le bois de châtaignier dans la région, et de produire ce bois d'œuvre tant recherché actuellement.

## **1) Contexte et objectifs de l'étude**

Depuis une trentaine d'années, des dépérissements de châtaigniers sont observés dans la région Poitou-Charentes. Ils étaient principalement causés par un pathogène : le chancre de l'écorce (*Cryphonectria parasitica*). Malgré la forte régression du chancre, les dépérissements persistent et s'aggravent même de manière importante depuis quelques années sur l'extrême sud-est de la région (à dire d'experts). A l'image des problèmes observés sur le chêne, les facteurs mis en cause semblent multiples et complexes : climat, station, sylviculture, vieillissement des ensouchements, déficit de gestion, problèmes sanitaires ...

Ces dépérissements soulèvent de nombreux problèmes tant sur la modification des paysages que sur l'alimentation en bois de qualité des entreprises locales de transformation sans qu'aucune étude n'ait été réalisée à ce jour sur la région. C'est un point qui est abordé de manière récurrente dans les chartes forestières de territoire des pays Horte et Tardoire et Sud-Charente.

Par ces dépérissements, le châtaignier tend à être remplacé par le pin maritime. Son adaptation aux stations les plus difficiles et son implantation aisée font du pin maritime un choix privilégié de la part des propriétaires.

Cette étude vise donc à faire un bilan de l'état sanitaire des peuplements sur les deux pays, à identifier des causes des dépérissements observés, et à déterminer les stations favorables à l'essence afin de proposer une sylviculture adaptée.

Des outils de diagnostic simples et facilement utilisables ainsi que des conseils sylvicoles diffusés auprès des propriétaires, permettront à ces derniers de faire un bilan de leurs peuplements.

### **1.1) Présentation de l'essence**

#### **1.1.1) Généralités**

Le châtaignier européen appartient à la famille des Fagacées. L'espèce *Castanea sativa* est une espèce à affinités supraméditerranéennes (RAMEAU et al., 1989). On le retrouve abondamment en France suite à son introduction importante par l'homme (châtaigneraie à fruits, piquets de vigne ...) depuis l'époque romaine (BOURGEOIS, 1992) ; il y vit désormais à l'état subspontané.

D'autres espèces du genre ont été introduites à partir de la fin du 19<sup>ème</sup> siècle pour leur résistance à l'encre (*Phytophthora cinnamomi* et *Phytophthora cambivora*), comme les cultivars Marigoule et Bouche de Betizac. De plus, de nombreux hybrides interspécifiques ont été créés afin d'obtenir des individus résistants à l'encre ou des peuplements producteurs de fruits non cloisonnés et de grosses tailles, appelés « marrons ». Dans ce mémoire, l'utilisation du terme « châtaignier », ne fera référence qu'à *Castanea sativa*.

### 1.1.2) Caractéristiques biologiques et botaniques

Le châtaignier est un arbre longévif qui peut vivre 500 à 1500 ans à l'état isolé. Il atteint généralement 25 à 30 m de hauteur. Ses feuilles caractéristiques sont allongées, simples, dentelées et caduques.

Le châtaignier est monoïque dicline : on trouve sur le même individu des fleurs mâles et femelles séparées. Néanmoins elles sont autostériles. Les fleurs mâles sont regroupées en chatons pendants, les fleurs femelles (groupées par 1 à 5) sont à la base de certains chatons (figure 1). Les fruits, appelés châtaignes, sont regroupés par 1 à 9 (le plus souvent par 3) dans une bogue hérissée de

piquants. La pleine fructification n'apparaît que vers une quinzaine d'années.

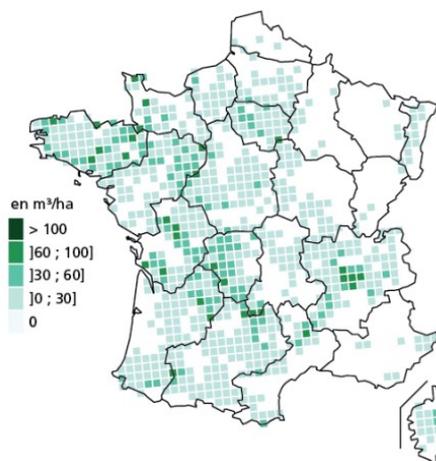
Le cycle végétatif annuel de *Castanea sativa* se compose de trois phases : débourrement (25 mars – 15 mai), floraison (15 juin – 15 juillet), maturité des fruits (1<sup>er</sup> octobre – 15 novembre). Le châtaignier est monocyclique, c'est-à-dire qu'il ne fait qu'une seule pousse dans l'année.



Figure 1: feuilles, fleurs et fruits de châtaignier

### 1.1.3) Distribution géographique

#### Le châtaignier



Volume moyen à l'hectare

L'aire de répartition s'étend sur l'ensemble du territoire, mais l'essence est sporadique dans le quart nord-est et le golfe du Lion. 50% du châtaignier à bois européen se trouve en France.

En Poitou-Charentes, le châtaignier est bien présent, avec des massifs importants inégalement répartis. Au nord, il est bien implanté sur les terres rouges à châtaigniers (diagonale nord-ouest/sud-est sur la région Poitou-Charentes, entouré sur la carte en figure 2). Sur la zone d'étude il est aussi inégalement réparti, avec une plus grande concentration dans le Périgord Montmorélien et la châtaigneraie Limousine.

Figure 2 : aire de répartition du châtaignier en France (source IFN : 2011)

### 1.1.4) Autécologie du châtaignier

Le châtaignier forestier est issu en grande partie de la culture fruitière. Nombre de stations où il a été introduit ne correspondent pas à son autécologie en vue d'une production de bois. Autécologie et station sont des éléments clés de la sylviculture du châtaignier, c'est pourquoi il est important dans cette étude de bien discerner quelles sont ses limites écologiques.

Le châtaignier est une espèce des plaines, collines et moyennes montagnes. Le froid et la sécheresse sont les deux facteurs climatiques limitant son implantation.

Il est particulièrement sensible aux gelées tardives, qui provoquent la destruction des pousses avec un risque de mortalité dans le jeune âge et des fourchaisons par la suite (BREISCH, 1993). On a pu suspecter sur certaines stations une sensibilité aux gelées précoces, avec une mortalité très brutale (observable en un an), un décollement de l'écorce et ce, dans des zones de microtopographie particulière (petite cuvette). La chute brutale des températures et l'état physiologique de certains châtaigniers encore en « pleine sève » peuvent expliquer ces symptômes (SAINTONGE, 2010). Par contre, le châtaignier résiste bien au froid hivernal une fois qu'il est implanté. Pour la croissance d'un châtaignier, l'optimum de température moyenne annuelle se situe entre 9 et 12°C. Au-delà (entre 12 et 14°C), des facteurs de compensation sont indispensables pour limiter l'effet de ces températures élevées tel qu'une exposition au nord ou des précipitations importantes (IDF, 1981, 1989; JACAMON, 1984; MASSON, 2005; RAMEAU et al., 1989). Sur la zone d'étude, les températures moyennes annuelles sont de 12,3°C.

Les peuplements, particulièrement les jeunes plants, sont sensibles à la sécheresse lorsque la réserve utile est insuffisante. La réserve utile du sol ne doit pas être inférieure à 100 mm. En deçà de cette limite, le châtaignier est susceptible de ne pas résister à un déficit hydrique estival prolongé (BOURGEOIS et al, 2004 ; BOURGERY & CASTANER, 1988 ; MASSON, 2005 ; NAGELEISEN, 1994). L'optimum de pluviométrie pour le châtaignier se situe vers 900 mm par an, avec un minimum de 700 mm (ALEXANDRIAN, 1992; BOURGEOIS et al., 2004; BRETAUDEAU & FAURE, 1990; JACAMON, 1984; MASSON, 2005; SEVRIN, 1994). Les moyennes pluviométriques annuelles sur la zone étudiée sont de 907 mm, et donc excèdent ce minimum.

On peut rappeler que des précipitations excessives au printemps sur des terrains peu filtrants favorisent le développement de la maladie de l'encre, ainsi que l'asphyxie des racines, ce qui peut entraîner d'autres pathogènes opportunistes. Une profondeur prospectable inférieure à 50cm est défavorable au développement des racines.

L'altitude et l'exposition renforcent ou atténuent les effets du froid et de la sécheresse. L'optimum altitudinal du châtaignier se trouve dans l'étage de la chênaie sessiliflore jusqu'à la base de la chênaie-hêtraie, c'est-à-dire jusqu'à 600 à 900 m (BOURGEOIS, 1992). Cette limite n'est jamais dépassée dans la zone d'étude. Concernant l'exposition, les versants nord et est sont favorables. Les expositions sud et sud-ouest présentent des risques de sécheresse estivale, elles sont donc à éviter lorsque la réserve utile en eau du sol est faible (BOURGEOIS, 1992). L'insolation peut aussi être source de dégâts très importants sur l'écorce tant que le rhytidome n'est pas formé.

Le châtaignier est une essence calcifuge, une présence trop importante de calcium provoque une chlorose, puis la mort de l'arbre. La présence de plus de 5% de carbonate de calcium dans le sol lui est aussi néfaste (BREISCH, 1993 ; RAMEAU et al., 1989). Le pH idéal est donc celui des sols peu acides, pH de 4,5 à 6,5 (BOURGEOIS, 1992). L'examen rapide de la végétation présente dans les stations permet d'estimer rapidement le type de sol.

L'essence se plaît sur des matériaux variés de sables et de limons, purs ou pierreux (RAMEAU et al., 1992). Les sols les plus favorables à sa production semblent être dans l'ordre, les textures limono-sableuse, limoneuse, puis sablo-argileuse (BOURGEOIS, 1992).

En résumé :

- Au niveau du sol :

Les racines du châtaignier ne peuvent explorer que des sols meubles et aérés. Toutes les gammes de texture, de sableuses à limoneuses (non tassées) conviennent. Ces sols sont aérés et donc filtrants, il faut donc être conscient et vigilant au déficit hydrique de l'été.

L'engorgement ou le blocage par des éléments grossiers dans les 50 premiers cm de sol sont défavorables.

La profondeur de sol colonisable doit être assez importante et le pH compris entre 4,5 et 5,5. Le sol doit être modérément acide dans la partie superficielle du sol. En Charente, les taillis productifs se situent dans cette fourchette de pH.

- Au niveau climatique :

La température annuelle doit être comprise entre 9 et 12°C et la pluviométrie entre 700 et 1500 mm, avec un optimum à 900.

Les versants nord et est sont les plus favorables avec une situation en bas de pente et à mi-versant(s).

Des compensations par combinaisons de facteurs défavorables et améliorants peuvent permettre de considérer que la station est correcte.

Le châtaignier, comme les autres essences forestières, peut connaître des problèmes phytosanitaires plus ou moins graves, d'origine biotique et/ou abiotique qui peuvent se combiner ou se succéder dans un processus de dépérissement.

## **1.2) La place du châtaignier à bois**

### **1.2.1) Le châtaignier en France**

Le châtaignier est la troisième essence feuillue (tableau 1) en France, après les chênes (sessile et pédonculé) et le hêtre (IFN, 2010). La surface occupée par cette essence est difficile à appréhender du fait de sa présence fréquente comme essence d'accompagnement (taillis, pur ou mélangé, ou sous réserves d'autres essences), mais elle est tout de même estimée à plus d'un million d'hectares (BOURGEOIS, 1992).

Essences	Volume (en millions de m <sup>3</sup> )	%
Chênes sessile et pédonculé	521	54
Hêtre	240	25
Châtaignier	98	10
Feuillus précieux (frênes, érables, merisiers)	86	8
Total	945	100

**Tableau 1 : volume sur pied des essences principales en France, source IGN, 2011**

Le bois de châtaignier possède des propriétés mécaniques et chimiques intéressantes. Si bien qu'il peut être valorisé par une multitude d'utilisations différentes parmi lesquelles nous pouvons citer : la menuiserie, la charpente, la parqueterie, les piquets, la papeterie, la vannerie ou encore le bois de chauffage. Les trois quarts de la transformation française sont réalisés dans le Sud-Ouest, spécialisé dans les petits bois, notamment le parquet et les produits dérivés du piquet qui sont issus de taillis jeunes de moins de 30 ans.

Alors que les départements de la moitié Nord de la France ne représentent qu'environ un quart de la surface de la châtaigneraie française, ils récoltent 40 % du volume de bois d'œuvre exploité en France. Plus marquant encore, si on comptabilise les régions Haute et Basse Normandie, Picardie et Ile de France, ces quatre régions ne représentent que 5 % de la surface de la châtaigneraie nationale. Par contre, elles récoltent 25% du volume de bois d'œuvre exploité sur le territoire national alors qu'elles ne transforment rien sur place.

Dans le Sud et le Sud-Ouest, la châtaigneraie est vieillissante et mal exploitée : on transforme directement mais les ressources locales ne sont pas de très bonne qualité, contrairement au Nord de la France où la ressource est abondante et de bonne qualité (LEMAIRE, 2008).

Depuis début 2008, la filière bois d'œuvre de châtaignier est « en panne ». L'exportation de billes de menuiserie ou de plots est très ralentie. Les usines de parquets sont en difficulté. Le marché français de la restauration fonctionne encore, ce qui est loin de suffire. Le marché du piquet est le seul porteur. Le principal débouché du bois d'industrie de châtaignier est la papeterie notamment en Haute-Vienne. Les bois secs sont valorisés en charbon de bois, en plaquettes pour les chaufferies, en bois de chauffage pour les foyers fermés.

### 1.2.2) Le châtaignier en Poitou-Charentes

La forêt picto-charentaise est essentiellement feuillue avec une part prépondérante de chênes (62%), pins maritimes (16%) et châtaigniers (6%) (Figure 3). Ces derniers constituent une ressource qui contribue à la dynamique de toute une filière et à l'économie locale.

Avec 420 000 ha de forêts (données IFN) essentiellement privées (90%), le Poitou-Charentes a un taux de boisement de 16,3%. Dans cette région aux peuplements variés, le châtaignier couvre 55 500 ha des forêts de production ligneuse (13,2 %). Au niveau national, la région Poitou-Charentes arrive à la 6<sup>ème</sup> place, tant au niveau de la surface de recouvrement du châtaignier que de son volume sur pied (figure 4).

La forêt est assez peu présente dans la région, mais la filière bois est l'un des trois premiers secteurs d'activité en Poitou-Charentes et consomme 50 % du bois de la région. Cependant, une grande partie des bois utilisés ne provient pas d'un approvisionnement local (importation de bois tropicaux en grumes).

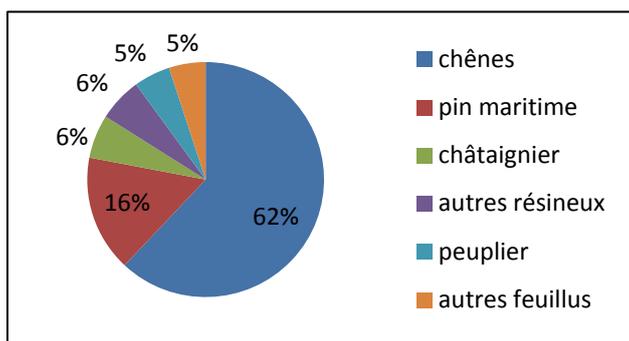


Figure 3: répartition des essences picto-charentaises, source IGN, 2011

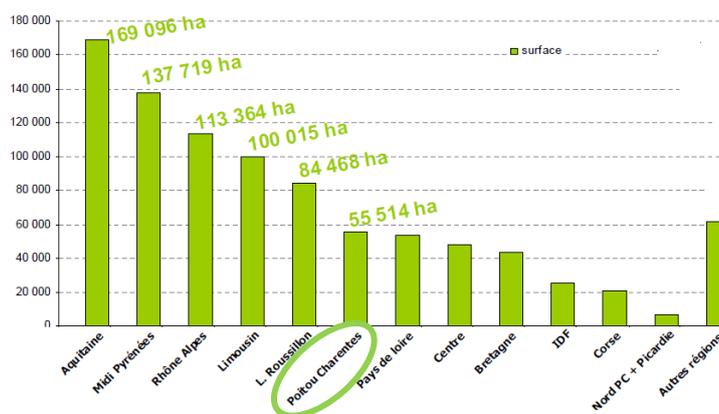
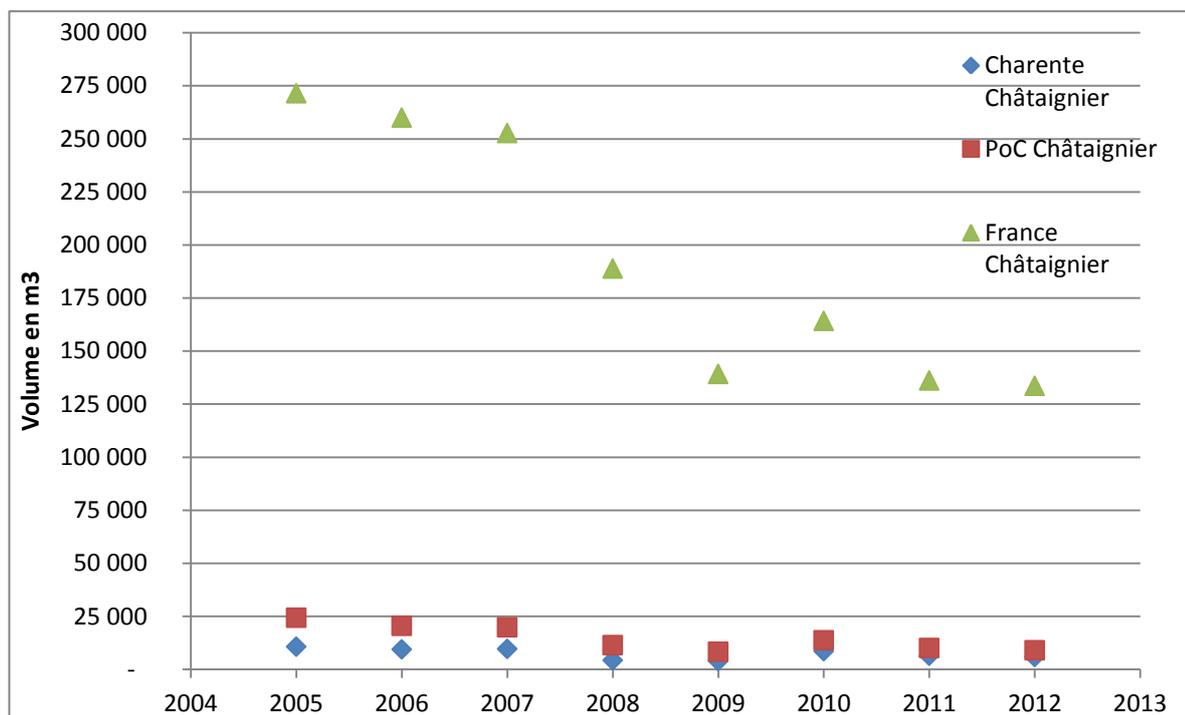


Figure 4 : classement des régions en fonction de la surface en châtaigniers (en hectares). Source IFN

Aujourd'hui, la valeur marchande du bois de trituration est nulle, voire négative. Le marché du billon destiné au parquet (diamètre de 14 cm fin bout minimum) et du piquet, reste souvent local, contrairement aux bois de qualité qui trouvent facilement acquéreur sur le marché national et international déficitaire en gros bois de châtaignier.

En 2012, le volume de châtaignier récolté en Charente représente 4,38 % de la récolte nationale, et 65 % de celle de Poitou-Charentes, ce qui est économiquement non négligeable. On constate tout de même une nette régression du volume récolté depuis 2005. Les volumes en bois rond récolté en Charente passent de 10 710 m<sup>3</sup> en 2005 à 5 858 m<sup>3</sup> en 2012. Le constat est le même sur toute la France (figure 5) (source : AGRESTE, 2012). L'approvisionnement en bois de qualité est un réel problème pour les entreprises du département.



**Figure 5: évolution du volume de bois (en m<sup>3</sup>) d'œuvre récolté entre 2005 et 2012 en France, Poitou-Charentes, et en Charente. Source AGRESTE**

### 1.3) Problèmes rencontrés sur le châtaignier

#### 1.3.1) Les pathogènes

Le châtaignier est affecté par des **pathogènes primaires**, l'encre et le chancre. Mais il existe d'autres agents **secondaires** comme par exemple le javart ou le coryneum et des insectes comme la mineuse de l'écorce.

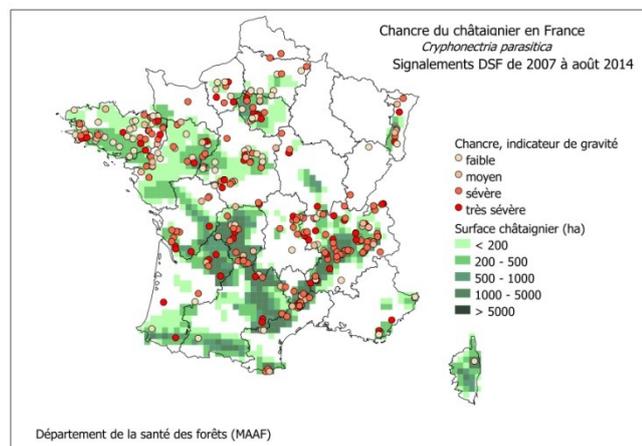
**Le chancre de l'écorce** du châtaignier est causé par un champignon, *Cryphonectria parasitica*. Ce pathogène provient d'Asie et a été introduit au sud de la France aux environs de la seconde guerre mondiale (Ardèche et Pyrénées-Atlantiques). Le champignon ne cesse de gagner du terrain. En 2005 il n'épargnait que le nord de la France (SAINTONGE, 2005). Son incidence en Poitou-Charentes est très forte (figure 6).

Le champignon entre dans l'écorce par le biais de microfissures naturelles ou artificielles et est très agressif. L'attaque se caractérise par une nécrose visible et l'écorce est fissurée. L'hôte subérise les cellules de l'écorce en limite des tissus atteints, mais cette défense n'est pas suffisante pour arrêter l'infection lorsque le champignon est virulent (GLEY, 1993).

Les fructifications du champignon sont nettement visibles de par leur couleur orangée (photo 1). Les symptômes caractéristiques du chancre virulent sont le développement de branches à la base du chancre ainsi qu'un dessèchement de la partie supérieure de la tige (photo 1).

Il est de plus en plus fréquent de rencontrer une guérison spontanée de cette nécrose de l'écorce, c'est ce que l'on appelle « l'hypovirulence ». Elle est due à une contamination naturelle du champignon par un mycovirus. Le virus empêche le champignon de contourner les défenses du châtaignier. L'écorce devient grise à noirâtre et est moins crevassée, il n'y a pas de rejets sous le chancre, et le houppier ne se dessèche pas (photo 2).

Le chancre à l'état virulent peut générer de fortes



**Figure 6 : répartition du chancre du châtaignier en France de 2007 à 2014**

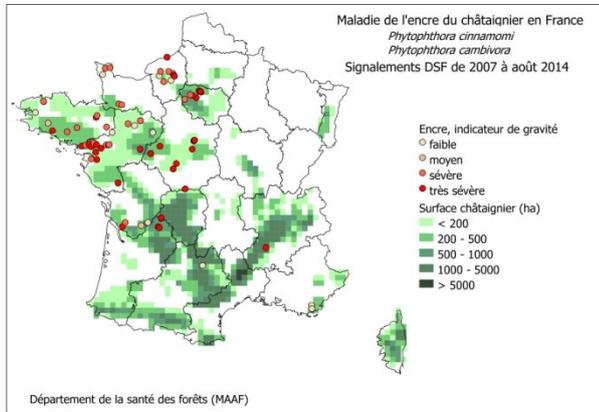


**Photo 1 : chancre de l'écorce à l'état virulent avec rejets à la base du chancre. Photo ED**



**Photo 2 : chancre cicatrisé grâce au mycovirus. Photo ED**

mortalités et sa propagation peut être favorisée par certaines conditions stationnelles et pratiques sylvicoles inadaptées. Il est tout de même possible de lutter contre le chancre en introduisant « le mycovirus ». Mais cette technique est coûteuse et donc peu adaptée au milieu forestier. Malgré cela, le phénomène d'hypovirulence se généralise et permet de diminuer l'impact du champignon et donc les mortalités.



**Figure 7 : répartition de l'encre en France de 2007 à août 2014**

Contrairement aux idées reçues, les éclaircies dans les peuplements atteints ne favorisent pas la dissémination du pathogène, mais sont bénéfiques à la croissance des sujets qui sont ainsi valorisés.

**L'encre** est une maladie racinaire provoquée par *Phytophthora cinnamomi* ou *Phytophthora cambivora*. Cette maladie a été signalée en France dans les pays basques en 1860 (ROL, 1961) et n'est encore aujourd'hui que peu étudiée à cause de la difficulté à détecter ce pathogène de manière fiable. C'est une des raisons pour laquelle il n'y a que peu de sites ayant été

réellement désignés infectés. La majorité des foyers d'infection se trouve dans l'ouest de la France (figure 7 : répartition de l'encre en France de 2007 à août 2014).

Le *phytophthora* pénètre par les extrémités des racines et progresse en direction du collet. Les radicelles atteintes sont noires, ne présentent plus de chevelu, et les racines de plus gros diamètre portent des taches noires. L'écorce devient molle, voire présente un début de décomposition et on peut parfois trouver une nécrose corticale en flamme bien délimitée par un fin liseré noir (photo 3) (BAUDRY, 1990). Mais ce dernier symptôme n'est pas systématique. Au niveau aérien, les symptômes sont caractéristiques d'une mauvaise alimentation en eau. Les feuilles terminales, au lieu d'être dressées, prennent un port retombant, ce qui est particulièrement visible lors des périodes de sécheresse et après les journées chaudes (GRENTE, 1961). Les feuilles sont toujours vert pâle sans brillant et souvent nanifiées (photo 4). Les branches meurent du côté où les racines sont infestées et l'arbre meurt rapidement, souvent au sein d'une tâche de mortalité (photo 5).

Le phytophthora progresse dans le sol et passe d'arbre en arbre par contact racinaire. Ce phénomène a lieu surtout lors des années humides, par le ruissellement des eaux contaminées.



**Photo 3 : flamme sous corticale avec fin liseré noir, photo ED**



**Photo 4 : nanification des feuilles, avec coloration plus pâle, photo ED**



**Photo 5 : mortalité par tâche concentrique, photo ED**

Les sols tassés, propices à l'accumulation d'eau, sont aussi favorables à son développement. L'inoculation de la maladie sur un site peut aussi se faire par l'introduction de plants contaminés.

Au contraire du chancre de l'écorce, il n'existe pas de moyen de lutte efficace contre l'encre, mais il est possible de se prémunir de ce pathogène, en évitant d'implanter le châtaignier sur des stations engorgées, peu favorables et en ne replantant pas sur des sites infectés.

Les dépérissements sont donc accompagnés par un cortège de pathogènes du tronc, qui se développent sur les tiges ayant subi des stress plus ou moins récents. Ces champignons secondaires ne sont donc pas à l'origine de la mortalité de l'arbre et ne la déclenchent pas. Ils sont caractérisés par différents symptômes d'importances variables. L'un des symptômes les plus caractéristiques est ce que l'on appelle communément des « pastilles » (photo 6). Ce sont des échancrures de l'écorce pouvant aller de quelques millimètres à plusieurs centimètres, et pouvant évoluer en lésions allongées, de quelques dizaines de centimètres qui finissent par mettre le bois à nu, que l'on nomme fuseaux (photo 7). Il est donc naturel de rencontrer de petites pastilles sur des sujets jeunes et des fuseaux sur les sujets plus âgés : la formation du rhytidome ne permet pas la visibilité de pastille. Le « **javart** » et le « **coryneum** » sont les noms vernaculaires les plus employés dans la littérature pour décrire ce type de symptômes. Ces deux pathologies sont difficiles à distinguer, seule une analyse en laboratoire permet de les identifier avec certitude et c'est pourquoi nous ne les distinguerons pas dans cette étude.



**Photo 6 : symptôme du coryneum ou javart : pastille, photo ED**



**Photo 7 : symptôme du coryneum ou javart : fuseau « de pied », photo ED**

Ces noms correspondent en fait à plusieurs familles de champignons (*Coryneum sp.*, *Dothichiza sp.*, *Cytospora sp.*) qui peuvent donner des fructifications noires. Ces pathogènes ne sont pas agressifs pour l'arbre et il peut totalement cicatriser de ses blessures en formant un tissu de réaction empêchant la progression du champignon (PHILLIPS & BURDKIN, 1992).



**Photos 8 et 9 : symptôme de la mineuse de l'écorce à gauche : galerie creusée par la larve à droite : desquamation due à la sortie de l'insecte photo ED**

Malgré cela, les lésions causées déprécieront irréversiblement la qualité du bois.

L'insecte le plus fréquemment rencontré dans les taillis de châtaigniers est la **mineuse de l'écorce** (*Spulerina simploniella*). L'insecte pond ses œufs à la mi-juillet dans les encoches naturelles de l'écorce des jeunes arbres, de 4 à 10 ans, lorsque l'écorce de la tige est encore lisse, et sans causer de dommages en conditions normales. Après éclosion au printemps suivant, les larves

creusent des galeries (photos 8 et 9). Les tiges peuvent être attaquées à plusieurs reprises, du sol jusqu'à 7-8 m de hauteur. Fin mai, les larves établissent des sites de nymphoses sous le périoderme pour effectuer leur chrysalide. Lorsque l'adulte sort, le périoderme est découpé et le phloème est exposé à l'air libre (DIAMANDIS, 2005). La mineuse de l'écorce du châtaignier pourrait ainsi être un agent facilitant la propagation du chancre du châtaignier.

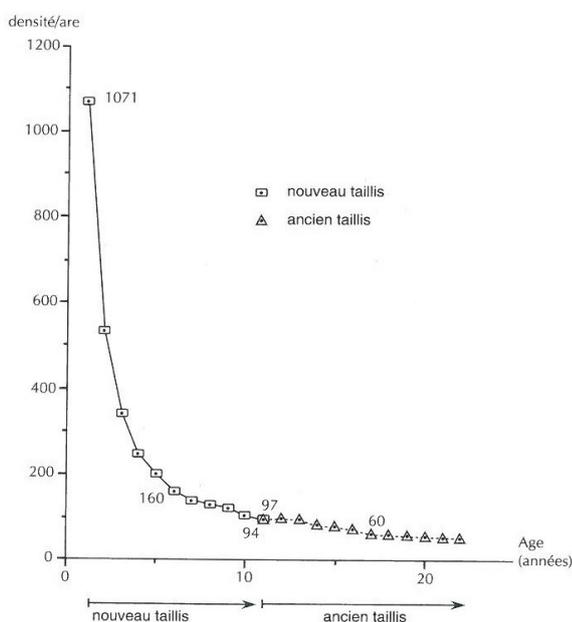
### 1.3.2) la concurrence

Le châtaignier est souvent géré en taillis ; cette gestion n'implique que peu d'interventions sylvicoles jusqu'à la coupe rase du taillis. La sélection des tiges du peuplement se fait donc naturellement, au gré des aléas naturels et souvent par vagues successives de mortalités.

En l'absence d'intervention humaine, tout peuplement forestier subit des pertes numériques importantes durant ses premières décennies, ce principe est nommé : loi d'auto-éclaircie.

C'est une mortalité liée à la densité (concurrence entre les tiges) indépendante de tout problème sanitaire. Elle est très rapide pendant la phase juvénile, et les pertes se poursuivent encore au fil du temps. Nous pouvons noter une diminution du nombre de tiges de 40% entre

12 et 17 ans, un âge où le taillis fait figure de forêt et où ces mortalités ne laissent pas l'œil de l'observateur indifférent (figure 8) (GARSAULT, 1994). L'observation de la largeur des cernes, sur des tiges de nombreux taillis de châtaigniers, montre qu'un ralentissement très net et durable de la croissance radiale, commence, en général, entre la dixième et la quinzième année. C'est aussi à cette période que les tiges dominées semblent plus sensibles aux attaques de champignons corticaux, parasites de faiblesses (*Diplodina castanea*, *Coryneum modonium*). Dans des conditions « normales » de station et de climat, le peuplement dominant résiste très bien à ces attaques ; seules les tiges les plus faibles meurent (BOURGEOIS, 1992).



**Figure 8 : évolution du nombre de rejets vivants par are ; source BOURGEOIS (1992)**

Une crise analogue apparaît également vers 30 à 45 ans selon les peuplements et la station, avec des mortalités encore plus spectaculaires, parfois par cépée entière (BOURGEOIS, 1992).

### 1.3.3) Vieillesse de l'ensouchement

La plupart des forêts de châtaigniers sont des taillis : cette technique de gestion conduit inexorablement à l'affaiblissement des souches. Cet affaiblissement est d'autant plus rapide que la station est inadaptée et que le régime de coupe est trop rapide. Pour des taillis exploités entre 25 et 40 ans, on considère que la souche est encore jeune au bout de 2 coupes, moyenne au bout de 3 coupes et ancienne après 4 coupes. Beaucoup de taillis sont aujourd'hui épuisés (LEFIEVRE, 2008). Plus les cépées présentent un diamètre important, plus elles sont âgées.

Toutefois, le vieillissement intervient par un affaiblissement progressif irréversible de l'activité des racines au fur et à mesure qu'elles vieillissent. Les rejets réussissent à



## **2) Matériel et méthode**

### **2.1) Protocole d'inventaire**

L'étude a deux objectifs :

- Estimer l'état de santé des châtaigniers et son éventuelle variation spatiale
- Identifier les facteurs pouvant expliquer l'état sanitaire des arbres dans le but final de valoriser la production de châtaigniers dans la région

Dans un premier temps, la quantification des problèmes phytosanitaires est faite à l'aide d'un échantillonnage complètement aléatoire et indépendant de toute stratification. Dans un second temps, l'analyse de l'impact stationnel sur l'état de santé des châtaigniers passe par une stratification préalable. Cette étude est réalisée à l'échelle des pays Sud-Charente (S-C) et Horte et Tardoire (H&T).

#### **2.1.1) Cartographie des zones de présence du châtaignier**

Afin d'avoir une vue d'ensemble des peuplements de châtaigniers présents sur la zone d'étude, une cartographie la plus précise possible a été réalisée grâce au logiciel MapInfo.

Pour ce faire, les données issues des sources suivantes ont été croisées :

- Peuplements de châtaigniers signalés par l'IGN
- Plans de développement de massifs : seuls les points où le châtaignier est signalé ont été gardés
- Plans simples de gestion : les propriétés présentant des surfaces en châtaigniers ont été extraites de la base de données et chacun des plans de gestion a été examiné afin de délimiter précisément les parcelles où le châtaignier est présent
- Schémas de mobilisation de la ressource d'H&T (en partie) et S-C concernant les propriétés de plus de 4ha d'un seul tenant

A l'issue de cette étape, une surface cumulée de peuplements de châtaigniers de 7 602 ha pour 563 massifs a été obtenue, la surface unitaire des peuplements variant de 0,2 ha à 482 ha (carte en annexe 1).

#### **2.1.2) Choix des placettes**

Une fois la cartographie aboutie, une grille systématique a été apposée sur les peuplements de châtaigniers, avec un pas de 500 m. Ceci nous a permis d'obtenir 303 placettes réparties sur 183 massifs et d'atteindre l'objectif fixé *a priori* de 150 placettes.

Les premières placettes retenues pour répondre à la quantification du problème de dépérissement ont été choisies aléatoirement parmi ces 303 placettes. Nous en avons retenu 43 dans un premier temps.

La stratification quant à elle, est réalisée à partir des 260 placettes restantes (303 – 43) en prenant en compte les caractères stationnels pouvant varier sur la zone d'étude et ayant un impact sur le développement du châtaignier. Ces facteurs sont la topographie, la texture du sol, et le climat (choix réalisés à dire d'expert : J.LEMAIRE).

Pour la topographie, quatre catégories ont été retenues : bas de versant, haut de versant, mi-versant, et plateau. Les données sont issues d'un modèle numérique de terrain au pas de 50m.

Pour ce qui est de la texture du sol, nous avons réparti les types de sols en grandes classes de texture dominante qui sont argile, limon, sable et autres. Les données proviennent de la base de données sols (IGCS) de l'INRA.

Enfin, concernant la météo, trois catégories sont ressorties en fonction du déficit hydrique climatique calculé par la formule P-ETP (précipitation – évapotranspiration avec calcul de l'ETP par la formule de Turc) sur les mois les plus chauds (de juin à août). Le seuil de développement du châtaignier se trouvant aux environs  $P-ETP = -190$  mm, ce seuil s'est de lui-même imposé comme limite de classe, et grâce à la répartition du nombre de placettes présentes sur le territoire, nous avons pu déterminer l'autre limite se situant vers les  $-210$  mm. Ceci nous amène aux trois classes suivantes: une favorable, inférieure à  $-210$  mm, une classe moyenne comprise entre  $-210$  et  $-190$  mm, et une dernière classe défavorable avec les valeurs dépassant les  $-190$  mm. Les données météo utilisées sont celles des moyennes trentenaires des modèles AURELHY sur les périodes 1961-1990 et 1981-2010.

Dans chaque strate (couple topographie/texture/P-ETP), nous avons choisi aléatoirement 40% des placettes sur la totalité des points recouvrant les massifs, avec au minimum une placette par strate.

A l'issu des relevés de terrain, l'analyse statistique et une modélisation permettront de pouvoir déterminer les zones à risque de dépérissement du châtaignier. Le modèle devra être validé sur les placettes choisies aléatoirement.

Les coordonnées des placettes sont rentrées dans le GPS afin de se rendre sur le point exact.

Les peuplements retenus devront répondre aux critères suivants :

- Diamètre de tige à 1,30 m supérieur à 5cm
- Surface minimale du peuplement de châtaignier : 50 ares
- Taux de recouvrement en châtaignier minimal : 50 %
- Les dégâts de tempête doivent être inférieurs à 25% de chablis
- Pas d'éclaircie durant les 5 dernières années

Un nombre élevé de placettes (150) a été volontairement retenu, car compte tenu de la précision des données IGN, le nombre de placettes ne remplissant pas les critères ci-dessus risque d'être important.

L'objectif est d'avoir un nombre de placettes effectivement réalisées de l'ordre de 100 à 120 (3 à 4 placettes par jour). Notons qu'un jour par semaine est dédié à la saisie des données sur un module du système d'information du DSF spécifiquement conçu pour cette étude.

### **2.1.3) Données relevées à l'échelle du peuplement**

Les observations ne seront effectuées que sur les tiges d'avenir. Le sous-étage, comportant des mortalités dues à la concurrence et à l'évolution normale d'un peuplement, ne sera pas pris en compte.

Grâce au GPS, le centre de la placette sera marqué précisément, les coordonnées ainsi que l'altitude seront notées.

La surface terrière sera mesurée toutes essences confondues à l'aide d'un relascope, dans le but d'avoir une estimation du capital sur pied exprimant le niveau de concurrence existant au sein du peuplement.

Toutes les essences présentes dans la surface de la placette seront recensées et le pourcentage de recouvrement de chacune sera évalué.

L'âge du taillis sera estimé par tranches de 5 ans jusqu'à 30 ans puis par classe de 10 ans.

On notera également présence de gibier, car elle peut avoir un fort impact sur la régénération des semis de châtaigniers ainsi que sur l'abroustissement des jeunes pousses. De plus, elle est susceptible de favoriser l'apparition de l'encre par les apports azotés (SAINTONGE, 2005).

#### 2.1.4) Données relevées à l'échelle de l'arbre

##### a) Les caractéristiques dendrométriques

Diamètre de précomptage fixé à 15 cm de circonférence (en cm couverts).

Les 20 tiges dans l'étage dominant du peuplement les plus proches du centre de la placette seront étudiées avec un maximum de 3 par cépée (les 3 plus dominantes). On précisera l'origine de la tige (franc pied ou cépée). Afin d'estimer le degré de concurrence, on comptera le nombre de tiges présentes dans un rayon de 8 m.

Les diamètres des cépées seront mesurés dans deux directions perpendiculaires (figure 10). On prendra le plus grand diamètre et son opposé, on fera la moyenne des deux diamètres. Cette mesure nous permettra d'estimer l'âge de l'ensouchement. Le nombre de tiges par cépée sera aussi noté.

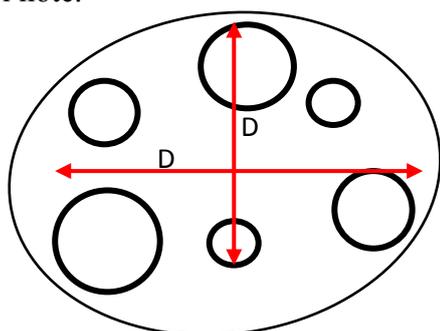


Figure 10 : prise de mesure des diamètres d'une cépée

Les caractéristiques dendrologiques classiques telles que la hauteur et la circonférence sont bien évidemment relevées.

##### b) Le relevé phytosanitaire

- mortalité de branches ou de tiges

L'observation des mortalités de branches se fait sur le houppier notable de l'arbre. Ce houppier dit « fonctionnel » est la partie supérieure exposée à la lumière, en excluant les zones inférieures ou latérales soumises à des phénomènes de concurrence (figure 11).

L'étude s'effectuant en période de feuillaison et de non feuillaison, seule la quantification des branches mortes a été retenue comme caractère de notation. La présence de branches mortes dans le houppier fonctionnel est un

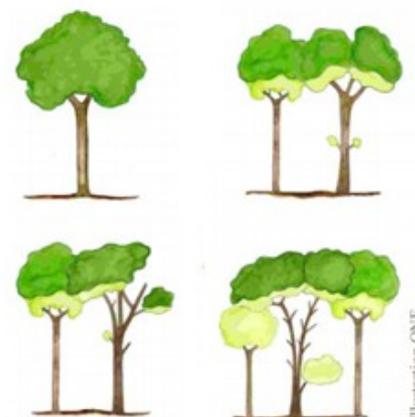
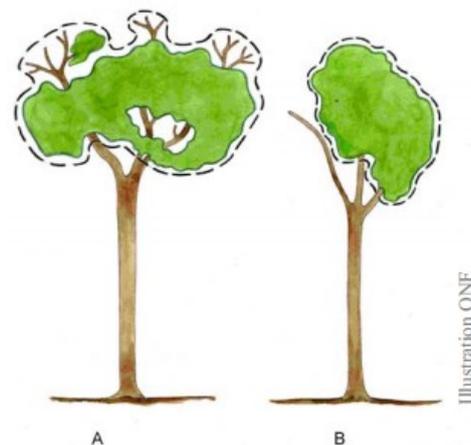


Figure 11 : houppier notable (en vert foncé) en fonction de la densité du peuplement

indicateur rustique mais robuste de l'impact des différents facteurs de stress, à l'échelle de l'arbre (figure 12).

La notation s'effectue sur les branches mortes et par classe d'intensité pondérée en fonction du diamètre des branches :

CLASSE	% indicatif de branches mortes
0	0 à 5
1	6 à 25
2	26 à 50
3	51 à 75
3+	76 à 95
4	96 à 100
M	Arbre mort



**Figure 12 : prise en compte des branches mortes dans le houppier notable**

- Pathologie

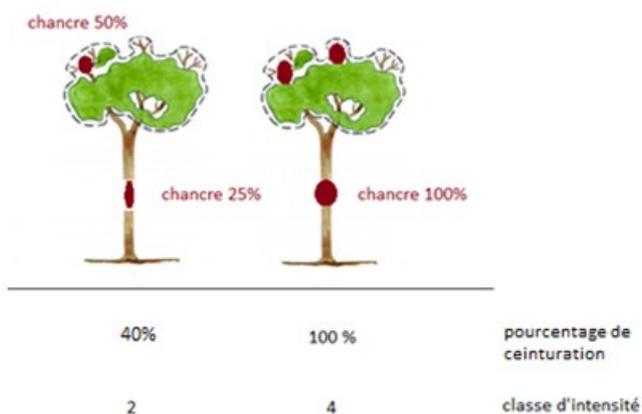
L'encre et le chancre sont des « pathogènes » primaires ayant une action pérenne et aboutissant parfois à des mortalités de branches ou de tiges.

Pour la notation du chancre du châtaignier, le pourcentage de ceinturation totale de l'arbre sera apprécié par somme des recouvrements des surfaces des chancres et estimé par l'importance de la tige (tige principale, secondaire ou tertiaire). On utilisera les mêmes classes d'intensités que pour la détermination du pourcentage de branches mortes, seule la classe M disparaît.

Pour exemple :

Un chancre recouvrant plus de la moitié de la tige principale aura pour recouvrement plus de 50% donc une note de 3.

Lors d'un cumul de chancre sur le même arbre, si l'on a un chancre recouvrant 25 % de la tige principale et un autre 50 % d'une tige secondaire, le pourcentage global sera d'environ 40 %, on attribuera alors une note de 2 (figure 13).



**Figure 13 : principe de notation du pourcentage de recouvrement des chancres**

En cas de présence combinée de chancre virulent et hypovirulent, la notation sera réalisée pour le chancre virulent, et la présence du chancre hypovirulent sera précisée dans la colonne « observation ». Un chancre hypovirulent est caractérisé par l'absence de symptômes caractéristiques de la virulence (fructifications orangées, rejets sous le chancre, ...).

Pour la notation de *Phytophthora*, on tentera de détecter la dépression causée par le « pathogène » au niveau du collet

de l'arbre, de la dégager et d'observer la flamme caractéristique de la présence de l'encre. Une notation de l'intensité de recouvrement de la flamme sera effectuée par le biais des mêmes classes d'intensité utilisées précédemment. Un test ELISA (Enzyme-linked immunosorbent assay) pourra être aussi réalisé afin de confirmer la présence du pathogène, et chaque test sera identifié et pris en photo. Dans le cas d'une suspicion d'encre, sans présence de dépression du collet ou de site à colonisation trop ancienne, le test pourra être effectué à partir d'un échantillon de sol. Le protocole détaillé de l'utilisation du kit de détection se trouve en annexe 2

Des échantillons de sol seront alors prélevés lors d'un doute sur la validité du test et à des endroits différents de la placette afin de pouvoir déterminer l'espèce de *phytophthora* présent sur le territoire. Ces échantillons seront envoyés à l'ANSES (laboratoire de santé du végétal) à Nancy.

Le protocole prévoit aussi de pouvoir stipuler la présence de facteur(s) secondaire(s) au dépérissement comme :

- la présence de pastilles dues au Javart ou au Coryneum. Lorsqu'elles sont présentes sous la forme de fuseaux, on notera l'intensité de recouvrement en utilisant toujours la même méthode de notation (0 à 4)
- la présence d'autres problèmes phytosanitaires, telle que la mineuse de l'écorce du châtaignier, *Spulerina simploniella*. Elle sera notée à l'échelle de l'arbre quand elle est détectée sur les tiges, ou, à défaut, dans les observations de la placette

### **2.1.5) Caractéristiques stationnelles**

Les caractéristiques stationnelles sont majoritairement décrites par la pédologie. Une fiche spécifique sera donc mise en place.

#### **a) La géomorphologie**

Une description sommaire de la topographie à grande échelle et à petite échelle sera notée par des codes présents sur la fiche. Cette codification va de 1, pour une situation sur plateau, à 7 lorsqu'on se trouve en banquette alluviale. Un schéma pourra alors être fait en complément pour insister sur une microtopographie particulière et une note sera donnée (de 1 à 3) en fonction du type de microtopographie observée.

L'apport en eau lié à la topographie sera aussi apprécié grâce à une note allant de 1 à 4, où la note 1 représente une perte en eau et 4, un approvisionnement important en eau.

Lorsque la station se trouve sur une pente supérieure à 5%, l'exposition sera notée.

#### **b) La pédologie**

Une prospection à la tarière permettra de déterminer la profondeur du sol et des différents horizons. La profondeur de l'arrêt du sondage ainsi que sa cause seront stipulées sur la fiche. Pour chaque horizon, on examinera la texture, et on quantifiera les éléments grossiers présents.

Un autre point important sera étudié : l'hydromorphie. Ce caractère est primordial car il peut être un frein majeur au développement du châtaignier et favoriser le développement de l'encre. Son intensité ainsi que sa profondeur seront évaluées. L'intensité sera estimée à l'aide d'un barème allant de 1 à 4.

### c) La flore

Une fiche caractérisant les grands types de stations grâce à la présence de certaines plantes indicatrices a été réalisée. Il suffira de repérer la présence de ces plantes et d'apprécier approximativement leur quantité en abondance, afin de pouvoir déterminer le groupe écologique de la station. Lors de la saisie, chaque plante sera reportée avec son abondance dans le logiciel Ecoflore. Ce dernier nous permettra de décrire avec plus de précision la station.

Les données récoltées sont intégrées aux bases de données DSF et IDF, aussi bien dans un contexte phytosanitaire que de changements climatiques.

### 2.2) Traitement statistique

Les données ont été analysées statistiquement grâce au logiciel TANAGRA, le but étant de déceler les facteurs ayant un impact sur le dépérissement.

Dans un premier temps, une analyse en composante principale (ACP) a permis de faire ressortir les principaux paramètres les plus influents sur le dépérissement. Pour affiner les recherches, des arbres de segmentation sont réalisés par la méthode C4.5. Cette méthode sépare dichotomiquement l'échantillon en fonction des différents paramètres choisis. Cette segmentation permet d'obtenir un arbre de décision expliquant les dépérissements ainsi que des valeurs seuils. Afin d'appuyer les conclusions obtenues par segmentation, les résultats sont croisés avec ceux d'ANOVA (analyse de variance).

## 3) Résultats

### 3.1) Etat des lieux de l'état sanitaire du châtaignier sur les Pays Horte&Tardoire et Sud-Charente

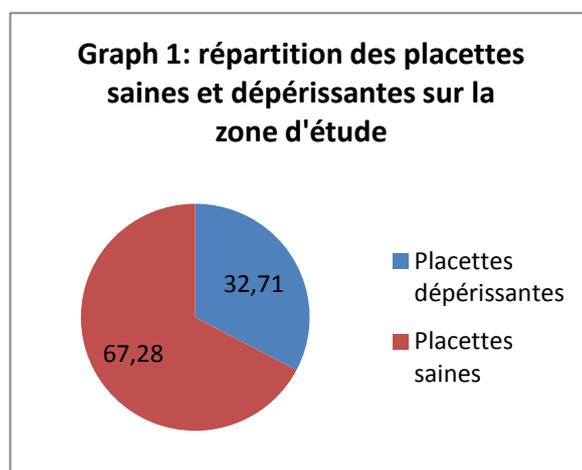
Les placettes choisies aléatoirement devant nous permettre de pouvoir décrire l'état sanitaire de la région étudiée n'ont pas été assez nombreuses. Au total seulement 27 placettes ont été retenues, ce qui n'est pas un échantillon suffisant pour tirer des conclusions. L'étude quantitative des dépérissements a donc été réalisée sur l'ensemble de l'échantillon. Les placettes ayant été choisies de manière aléatoire, la stratification n'a alors que peu d'impact à ce niveau de l'analyse.

#### 3.1.1) Etat sanitaire général

Il convient de rappeler qu'une placette est considérée comme dépérissante par le DSF si elle présente plus de 20% de tiges notablement atteintes, c'est-à-dire présentant plus de 50% de branches mortes pour cette étude.

Les résultats de l'inventaire montrent qu'un tiers des peuplements sont dans un mauvais état sanitaire (graph1).

Un tiers des peuplements de châtaignier présente donc un fort taux de dépérissement. Sur la carte de répartition des placettes en fonction de leur état sanitaire (Annexe 3), on distingue une zone où le châtaignier se porte bien (au nord de Villebois-



Lavalette, zone de la forêt d'Horte) et on constate que les dépérissements se concentrent majoritairement dans le sud du pays d'Horte et Tardoire ainsi que le Sud-Charente.

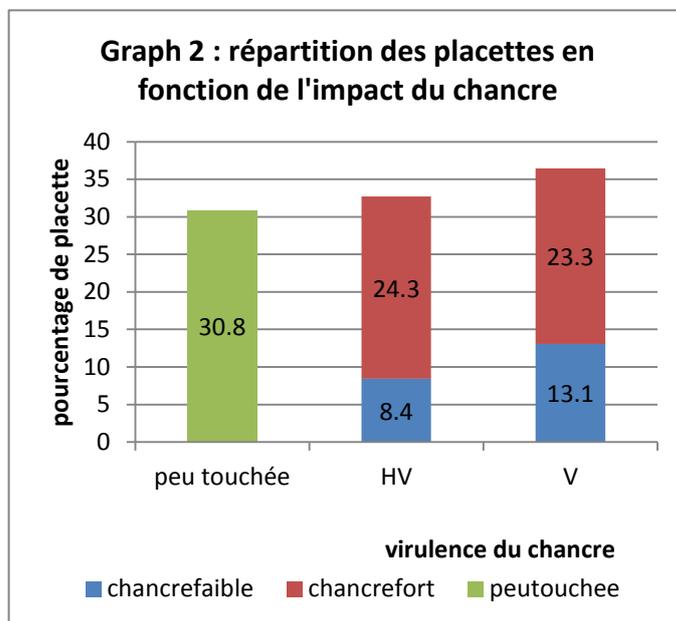
### **3.1.2) Situation vis-à-vis du chancre**

31% des placettes sont considérées comme saines, c'est-à-dire avec moins de 30% de tiges fortement touchées (ceinturation du chancre supérieur à 50%) (graph. 2 et annexe 4).

Parmi les 69% de placettes chancreuses une petite majorité (53%) sont atteintes par le chancre à l'état virulent (V) contre 47 % atteintes par le chancre en état d'hypovirulence (HV) (graph. 2).

La carte de répartition des placettes présentant du chancre à dominante V ou HV sur la zone d'étude (Annexe 4) nous montre :

- que le chancre est présent sur tout le territoire
- qu'une zone, au nord du pays Horte et Tardoire, autour de La Rochefoucauld est très fortement touchés par ce pathogène.



### **3.1.3) Situation vis-à-vis de l'encre**

Toutes les placettes présentant des symptômes bien caractéristiques de l'encre (tiges entièrement sèches, microphyllie, flammes...) ont été testées. Et sur chacune de ces placettes le test s'est avéré positif. Au final, 8,5% des placettes sont positives aux tests ELISA. Ces résultats semblent considérables au vu des dégâts causés par ce pathogène (carte de répartition des placettes positives au test de l'encre, et localisation du test, annexe 5). La réalisation d'une étude sur le *phytophthora* à cette échelle et de manière systématique, n'a pas de précédent nationalement. C'est donc la première fois que l'on peut quantifier la présence de ce pathogène.

### **3.1.4) Situation vis-à-vis de la mineuse**

Les relevés de présence de la mineuse de l'écorce du châtaignier, montrent son absence totale dans le sud du pays Sud-Charente (carte en annexe 6, répartition et quantification de la présence de mineuse). On note aussi que la forte concentration en châtaignier dans la région de la forêt d'Horte semble favoriser son développement.

### **3.1.5) Prise en compte de l'âge des peuplements**

- Si l'on enlève les placettes les plus jeunes (inférieures à 10 ans), on obtient alors 94 placettes.
- 63 % des ces placettes sont « saines », et donc près de 40% présentent un mauvais état sanitaire (cf. définition du 3.1.1).
  - Quant au chancre, 27% des placettes sont peu touchées, 36% dominées par des chancres hypovirulentes, et 36% par des chancres virulents. Ceci montre bien l'ampleur que prend le phénomène d'hypovirulence. Et cette tendance confirme l'évolution constatée par le DSF : les jeunes arbres sont plus touchés par le chancre virulent, et ensuite s'installe l'hypovirulence.

Cette proportion importante de placettes dépérissantes mérite d'être étudiée plus précisément afin de bien comprendre les différents facteurs ayant une influence sur les dépérissements constatés.

### **3.2) Analyse des facteurs en jeu**

#### **3.2.1) Les axes majeurs ressortant du jeu de données**

Afin de faire ressortir les éléments les plus importants du jeu de données, une ACP (Analyse en Composantes Principales) a donc été appliquée. Quatre axes principaux sont mis en évidence et permettent à eux seuls d'expliquer 61% des résultats :

- L'axe 1 est associé aux éléments climatiques. Mais il faut prendre avec précaution le poids que représente cet axe, car les variables climatiques du jeu de données sont très nombreuses et corrélées entre elles.

- L'axe 2 est représentatif de la différence de températures entre les années 1961-1990 et 1981-2010. Cette différence, lorsqu'elle a été importante s'avère avoir eu un effet notable sur le chancre.

- L'axe 3 fait ressortir les données liées au **chancre**. En indiquant qu'il semblerait être relié aux données de différences de températures.

- L'axe 4 correspond au **dépérissement** et à la **fertilité** de la station, opposant les stations avec un indice de fertilité faible (classes 4 et 3) aux stations les plus fertiles (classes 2 et 1).

#### **3.2.2) Les paramètres déterminant le dépérissement du châtaignier**

Les éléments impactant l'état sanitaire sont déterminés par segmentation (C4.5) et confirmés à l'aide d'une régression binaire logistique.

Trois paramètres montrent que l'état sanitaire est corrélé à : (tableau 2)

- la présence de chancre
- l'indice de fertilité (IF)
- l'âge

values prediction		Confusion matrix			Attributes in the equation		
values	recall		depe	sain	sum	attribute	coef
depe	0.7143	depe	25	10	35	constant	-6.703
sain	0.9167	sain	6	66	72	intesiteclass>=3	0.039
		sum	31	76	107	age	0.107
						IF	1.014

**Tableau 2 : résultats de la logistique caractérisant le dépérissement sur l'ensemble des placettes**

La segmentation obtenue est très significative, car elle permet de bien replacer 92% des placettes saines et 71% des placettes dépérissantes. Une placette présentant un fort taux de ceinturation de chancre et étant sur une station à faible indice de fertilité (station pauvre) a donc une probabilité importante d'être dépérissante.

Pour la suite de l'analyse, l'âge des placettes fut un problème. Il ressort très fortement que les placettes les plus jeunes (moins de 10 ans) ne sont pas dépérissantes et donc que le dépérissement est lié à l'âge. Or ceci amène un biais à l'explication du dépérissement. Le fait de posséder un système racinaire préexistant apporte aux jeunes tiges de châtaignier une vigueur et une résistance non négligeable dans leur première décennie. L'échantillonnage n'a

pas été assez restrictif. L'effet de l'âge sur les différents facteurs a donc été amoindri en supprimant les placettes ayant un âge inférieur à 10 ans.

Toutes les analyses qui suivent portent sur les 94 placettes de plus de 10 ans de l'échantillon.

Les résultats des analyses dégagés de l'effet de l'âge permettent toujours d'expliquer l'état sanitaire par l'indice de fertilité et la présence de chancre (tableau 3).

valeurs prediction	
values	recall
depe	0.6206
sain	0.8983

**Decision tree**

- IF < 2.5 then CLSAIN20% = **sain** (80,70% of 57 examples)
- IF >= 2.5
  - Intensiteclas>=3 < 7,778 then CLSAIN20% = **sain** (77,78% of 9 examples)
  - Intensiteclas>=3 > 7,778 then CLSAIN20% = **depe** (78,57% of 28 examples)

**Tableau 3 : résultats de la C4.5 caractérisant le dépérissement sur les 94 placettes**

Sur le graph 3, il est indéniable que l'IF a un net impact sur le dépérissement (8% de dépérissement en IFBON, contre 29% en moyenne pour les stations en IFFAIBLE). L'autre effet visible ici, est que la présence de chancre semble liée à l'IF. Dans cette analyse, le chancre sera désormais classé en « chancrefort » et « chancrefaible ». Un chancre fort est un chancre ceinturant la tige à plus de 50%. Ces derniers se retrouvent majoritairement sur les mauvaises stations.

### 3.2.3) Les paramètres expliquant la présence de chancre

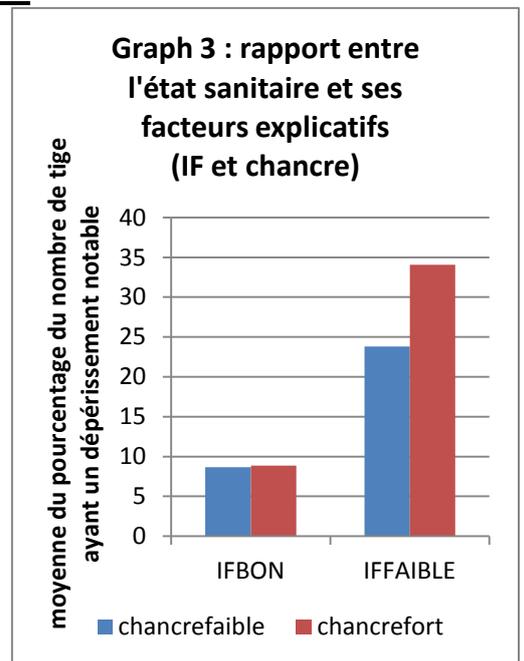
Comme le laissait supposer l'ACP, le chancre est le premier facteur à prendre en compte.

Le premier état du chancre étudié est son taux de ceinturation, le deuxième son état de virulence.

#### a) Le taux de ceinturation

L'arbre de décision de l'analyse statistique par segmentation a permis de conclure que l'augmentation des températures avait un très net impact sur la ceinturation, et en particulier les différences de température (tableau 4).

En effet, pour 80% des placettes, si l'augmentation de la différence des températures moyennes annuelles entre 1961 – 1990 et 1981 – 2010 est inférieure à 0,6 degré Celsius, le chancre est « faible ». Sinon des facteurs de compensation entrent en jeu. Ce sont les températures moyennes annuelles entre 1981 et 2010 et les différences de températures maximales sur la période estivale (tableau 4).



#### Decision tree

- DiffTMAN < 0,6162 then CHANCRFORT = **chancrefaible** (81,21% of 16 examples)
- DiffTMAN > 0,6162
  - TMAN81\_21 < 12,4250
    - DiffTX0608 < 1,65 then CHANCRFORT = **chancrefaible** (73,68% of 19 examples)
    - DiffTX0608 >= 1,65 then CHANCRFORT = **chancrefort** (60% of 20 examples)
  - TMAN81\_21 >=12,4250
    - DiffTX0608 < 0,9499 then CHANCRFORT = **chancrefaible** (52,38% of 21 examples)
    - DiffTX0608 >= 0,9499 then CHANCRFORT = **chancrefort** (94,64% of 16 examples)

**Tableau 4 : arbre de décision de la C4.5 caractérisant le chancre**

En résumé, là où il y a eu une augmentation de température ces dernières années, il semblerait qu'il y ait eu une augmentation de la présence du chancre et de sa ceinturation.

### b) Etat de virulence

Pour étudier la virulence, les placettes ont été réparties en trois classes :

- les placettes dites « peu touchées », correspondent à celles ayant moins de 70% de leurs tiges chancreuses, elles sont considérées comme saines
- les placettes « V », ont une majorité de tiges présentant des chancres virulents
- les placettes « HV » ont une majorité de tiges présentant des chancres hypovirulents

L'analyse statistique par segmentation a permis de conclure que la température a un impact sur la virulence, et en particulier les différences de température. La C4.5 l'explique pour 95% des placettes « V », 63% des placettes « peu touchées », et 24% des placettes « HV ». En suite des facteurs compensatoires expliquent la virulence. Le premier est la température moyenne entre 1981 et 2010 et le deuxième est l'indice de position topographique (TPI) (tableau 5).

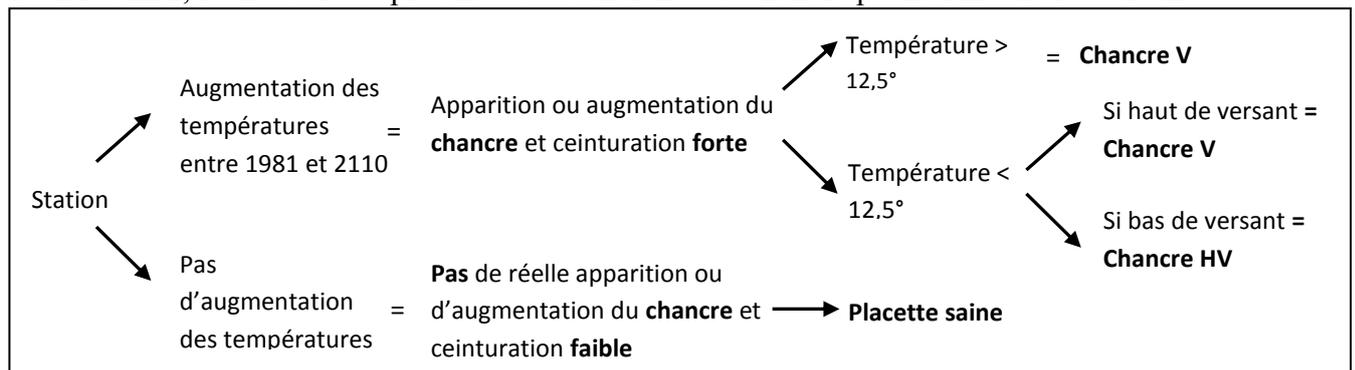
#### Decision tree

- DiffTX0608 < 0,6833 then PLACETTEtoT = **PEUTOUCHEE** (60% of 15 examples)
- DiffTX0608 >= 0,6833
  - TMAN81\_21 < 12,55
    - TMAN81\_21 < 12,4450
      - TPI1625m10 < 0,2317 then PLACETTEtoT = **PEUTOUCHEE** (52,38% of 21examples)
      - TPI1625m10 >= 0,2317 then PLACETTEtoT = **V** (36,11% of 36 examples)
    - TMAN81\_21 >= 12,4450 then PLACETTEtoT = **HV** (81,82% of 11 examples)
  - TMAN81\_21 >= 12,55 then PLACETTEtoT = **V** (81,82% of 11 examples)

**Tableau 5 : arbre de décision de la C4.5 caractérisant le chancre et son état de virulence**

L'arbre de décision (tableau 5) permet de conclure que les placettes où le chancre est virulent se situent plutôt en haut de versant, avec une température moyenne annuelle supérieure à 12,5 degrés Celsius. Et également, aux endroits où la différence des températures a excédé 0,6 degré.

Pour résumer, les facteurs de présence et de virulence du chancre pourraient être les suivants :



### 3.2.4) Les paramètres expliquant l'indice de fertilité

L'indice de fertilité de chaque placette est obtenu en appliquant l'âge moyen de la placette et sa hauteur dominante aux courbes de fertilité. Ces courbes de références sont applicables aux châtaigneraies françaises (LEMAIRE, 2008). Les placettes du jeu de données ont donc des IF allant de 4 (stations pauvres) à 1 (bonnes stations).

La fertilité est transformée en variable discrète de la manière suivante :

- les classes 1 et 2 sont nommées « IFBON »

- les classes 3 et 4 sont nommées « IFFAIBLE »

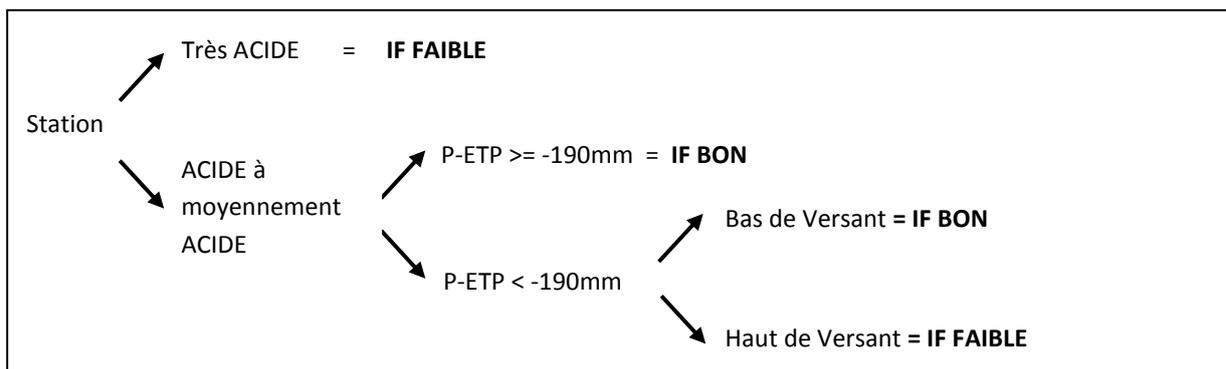
L'analyse par segmentation nous permet d'établir assez précisément les liens entre la fertilité et les différents paramètres du jeu de données. 79% des placettes ayant un indice de fertilité « bon » et 57% de celles ayant un indice de fertilité « faible » sont expliquées par les variables suivantes. L'acidité du milieu semble être le premier facteur impactant la fertilité du milieu, ensuite les facteurs de compensation sont, le bilan hydrique climatique (P-ETP) qui correspond donc à l'état hydrique de la station en fonction des besoins du châtaignier et la topographie (tableau 6). Pour exemple, une station acide ayant un P-ETP insuffisant aura un IF faible, mais si elle se trouve en bas de versant son IF sera amélioré et deviendra bon. Une station très acide aura forcément un IF faible. On peut noter aussi que la présence d'hydromorphie au delà de 50 cm est néfaste au châtaignier.

#### Decision tree

- X\_RELEVE < 1,0750 then CLIF= **IFFAIBLE** (66,67% of 10 examples)
- X\_RELEVE >= 1,0750
  - P\_ETP68\_81\_50m < -187
    - TPI1625m10 < 1,21 then CLIF= **IFBON** (69,81% of 53 examples)
    - TPI1625m10 >= 1,21 then CLIF= **IFFAIBLE** (60% of 15 examples)
  - P\_ETP68\_81\_50m >= -187 then CLIF= **IFBON** (100% of 8 examples)

**Tableau 6 : arbre de décision de la C4.5 caractérisant l'indice de fertilité**

Pour résumer, les facteurs ayant un impact sur l'indice de fertilité sont les suivants :



### 3.3) Modélisation

L'application des paramètres influant sur le « chancrefort » et sur l'IF à une régression binaire logistique, permet d'obtenir les coefficients des équations expliquant la probabilité de les observer. Les équations de logistiques sont ensuite transformées en probabilité.

L'équation de logistique du **chancrefort** est :

$$f(x)_{\text{chancre}} = - 50,40 + 3,93 \times \text{TMAN81}_{10} + 1,37 \times \text{DiffTX68}$$

Et l'équation de probabilité en résultant est :

$$p(x) = 1/(1 + e^{-f(x)_{\text{chancre}}}) \times 100$$

L'équation de logistique de l'**IF** est :

$$f(x)_{\text{IF}} = - 7,11 - 0,035 \times \text{P-ETP } 68-81_{50m} + 0,16 \times \text{TPI1625m} - 0,36 \times \text{X-RELEVE}$$

Et l'équation de probabilité en résultant est :

$$p(x) = 1/(1 + e^{-f(x)_{\text{IF}}}) \times 100$$

Une fois les équations obtenues, le logiciel de cartographie Q-GIS permet de modéliser la probabilité d'avoir du chancre à partir des cartes de TMAN81\_10 et de DiffTX68.

Les modélisations représentent donc la probabilité d'avoir du chancre fort en un point donné en fonction de la différence de température et des températures moyennes annuelles (annexe 7)

La probabilité d'avoir un indice de fertilité faible à un point donné en fonction de la topographie et du bilan hydrique climatique et de l'acidité n'a pas pu être établi. La réalisation de cette modélisation nécessite les fonds de carte de pH que nous n'avons pas pu obtenir.

Afin de visualiser graphiquement (graph 4) l'impact du chancre et de l'IF conjointement sur le dépérissement, ces facteurs ont été intégrés à une régression binaire logistique. Cette dernière a permis de produire l'équation expliquant la probabilité d'observer un dépérissement notable en fonction de l'IF et du taux d'attaque du chancre fort.

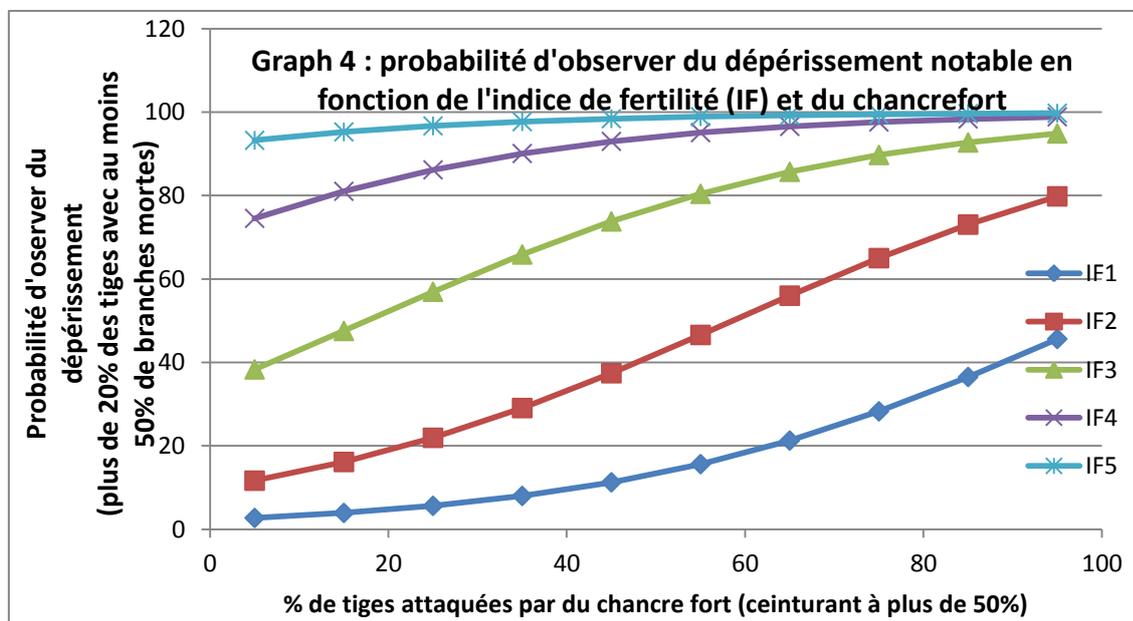
L'équation de logistique du dépérissement est :

$$f(x)_{\text{dépérissement}} = - 5,314 + 0,038 \times \% \text{ de tige chancreuse} + 1,55 \times \text{IF}$$

Et l'équation de la probabilité en découlant est :

$$p(x) = 1/(1 + e^{-f(x)_{\text{dépérissement}}}) \times 100$$

En appliquant cette équation de probabilité à des pourcentages de tiges chancreuses fixes (de 5% en 5% de 0 à 100) pour chaque classe d'IF (de 1 à 5) j'obtiens la représentation graphique suivante :



Cette représentation graphique met encore une fois en évidence le lien existant entre les deux paramètres étudiés et le dépérissement. En effet, si on se trouve sur des stations d'IF 2 et que l'on a 40% des tiges fortement atteintes par le chancre, la probabilité d'avoir du dépérissement est environ de 30%. Les stations étant en IF faible ont de très forte chance d'être dépérissantes.

## **4) Adaptation des itinéraires sylvicoles**

### **4.1) Intérêt d'une adaptation des itinéraires sylvicoles**

Aujourd'hui, plus de 99% de la châtaigneraie de la région se trouve sous la forme du régime du taillis simple. Les problèmes majeurs rencontrés avec cette pratique sont :

- d'une part, l'épuisement des sols, en particulier avec le développement du bois énergie, et le vieillissement des souches. Ceci ne permet pas de maintenir longtemps le châtaignier sur ces stations et surtout de manière vigoureuse.

- d'autre part le taillis simple favorise la production de bois d'industrie et énergie au détriment du bois d'œuvre. Les transformateurs peinent à s'approvisionner en bois de qualité.

Il est donc nécessaire d'adapter les pratiques pour maintenir au maximum le châtaignier et l'économie qui en dépend.

### **4.2) Précautions générales**

La sylviculture propose des actes permettant de favoriser le développement des arbres et d'obtenir des bois de qualité recherchés par la filière. Les différences stationnelles rencontrées lors de cette étude imposent une reconsidération de la sylviculture du châtaignier. Pour répondre aux conclusions de l'analyse, plusieurs itinéraires sylvicoles sont proposés.

La croissance juvénile du châtaignier est très rapide et les souches rejettent fortement. Des interventions sylvicoles précoces (avant 12 ans) sont donc indispensables pour lui permettre de se développer normalement dans la perspective de produire du bois d'œuvre.

De nombreuses stations où le châtaignier est présent sont fragiles, et quel que soit l'itinéraire choisi, il faut impérativement mettre en place des cloisonnements d'exploitation et proscrire le passage d'engins lourds en période humide, afin de ne pas tasser irrémédiablement le sol. Ces cloisonnements peuvent avoir des écartements variables suivant l'itinéraire choisi.

L'export des rémanents doit aussi être pratiqué avec précaution. Lors de leur croissance, les végétaux synthétisent des molécules organiques complexes grâce à la photosynthèse et l'absorption via les racines de minéraux présents dans le sol. Ces dernières peuvent être restituées au sol via plusieurs processus lors de la chute des feuilles et des branches. Ce cycle peut être perturbé lors de la récolte des bois, ce qui tend à réduire la fertilité des sols forestiers. Des études scientifiques ont montré que 75 % des nutriments se trouvent dans les jeunes rameaux de moins de 7cm de diamètre (ADEME, 2007). L'exploitation des taillis est donc très largement touchée par la question en particulier sur les stations les plus pauvres. Sur celles-ci, il est préconisé de ne pas récolter l'ensemble des rémanents ou de le faire lorsque les feuilles sont au sol car elles contiennent un tiers de la masse totale des minéraux. Si ce n'est pas possible, les jeunes rameaux étant utilisés pour le bois énergie, il est conseillé de les laisser sécher sur la parcelle avant de les broyer. Cela laisse le temps aux feuilles de tomber et permet un retour de matière organique (ADEME, 2007).

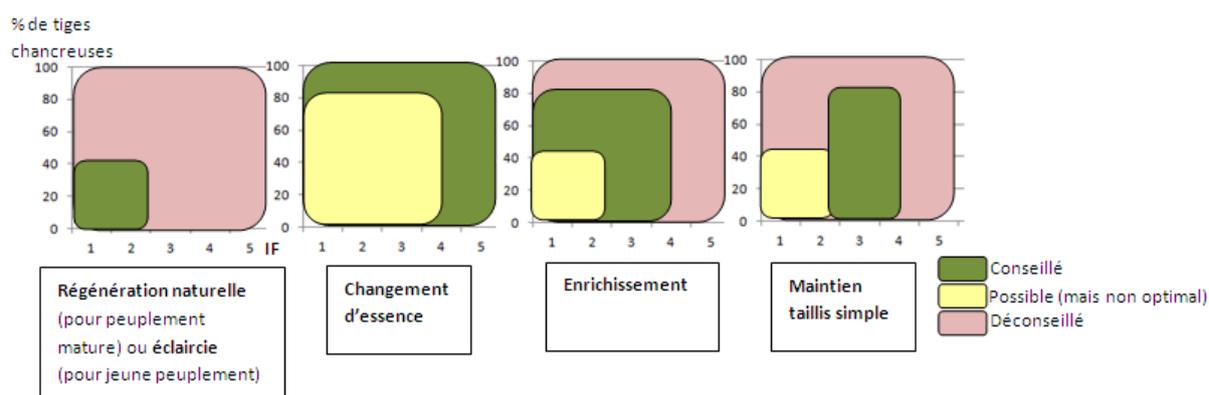
Afin de favoriser le renouvellement par régénération naturelle et le rajeunissement du taillis, le sylviculteur doit effectuer la coupe finale après la chute des châtaignes. Ce qui permettra de surcroît, de réaliser l'exploitation des bois pendant la période de repos végétatif, permettant ainsi une meilleure repousse l'année suivante.

### 4.3) Proposition d'itinéraire

On peut distinguer trois catégories de stations :

- celles où le châtaignier n'est plus adapté
- celles où le châtaignier est relativement encore convenable
- celles où il peut être valorisé pour produire du bois d'œuvre

Les graphiques ci-dessous présentent les différents itinéraires sylvicoles proposés en fonction de la présence de chancre et de l'indice de fertilité. Avec pour chacun les zones où l'itinéraire est conseillé, là où il est possible mais pas vraiment optimal, et les zones où il est fortement déconseillé. Les itinéraires détaillés sont en annexe 8.



Les essences recommandées en enrichissement ou substitution d'essence sur la zone d'étude sont :

- **le robinier faux acacia**, essence à croissance rapide essentiellement traitée en taillis. L'acacia est assez plastique mais supporte mal les sols compacts, argileux et mal drainés. C'est une essence avantageuse car elle est peu attaquée par les cervidés (présence d'épines), et on ne lui connaît pas d'ennemi majeur en Poitou-Charentes. De plus il est encore meilleur que le châtaignier pour la production de piquets et en utilisation extérieure.

- **le chêne sessile et le chêne pédonculé**, essences assez rustiques. Elles peuvent accepter une faible alimentation en eau estivale et une certaine pauvreté du sol. On évitera leur implantation sur des sols trop acides. Dans un souci de diversité on pourra mélanger cette essence avec du chêne tauzin. Tout en sachant que ce dernier est inapte à produire du bois d'œuvre.

- **le chêne rouge d'Amérique**, essence à croissance rapide. Ce chêne préfère les sols légers et pouvant être très acides. Il craint les sols superficiels et ceux présentant des traces d'hydromorphie en surface. Il ne supporte pas le calcaire actif. Le chêne rouge est fortement abrutis, mais ses ravageurs sont peu nombreux **hormis la maladie de l'encre**.

- **les pins (maritime, teada, laricio)** essences de pleine lumière, ils aiment les sols profonds et acides, sans engorgement permanent sauf pour le pin maritime qui supporte les sols hydromorphe. Ce sont des arbres calcifuges. Les pins sont sensibles aux attaques d'insectes comme les hylobes, les scolytes ou la chenille processionnaire et sont aussi sensibles aux dégâts de chevreuil.

#### **4.4) Précautions en fonction des pathologies rencontrées :**

##### **4.4.1) Vis-à-vis du chancre**

Le balivage permet d'augmenter la vigueur des tiges et rend donc la cicatrisation du chancre plus efficace lorsque l'hypovirulence est installée. Cela permet aussi de limiter la progression du champignon. Mais cette opération reste intéressante tant que le pourcentage de tiges atteintes reste compatible avec l'objectif sylvicole souhaité (cf. proposition d'itinéraires au paragraphe précédent). L'élagage ou autres opérations sylvicoles doivent être favorisés en hiver quand le potentiel infectieux est le plus faible (SOUTRENON, 2006).

##### **4.4.2) Vis-à-vis de l'encre**

Les peuplements atteints par l'encre sont très souvent fortement dépérissants, et dans une optique de production, il est préférable de substituer le châtaignier par une autre essence. Cette essence ne pourra pas être le chêne rouge, étant donné que ce dernier est sensible aux mêmes souches de phytophthora. Si le maintien du régime de taillis est choisi en cas de présence modérée de l'encre, le sylviculteur devra s'assurer que la station ne présente pas de risque de contamination diffuse (stations hydromorphes et/ou en haut de versant).

#### **5) Discussion et conclusion**

Cette étude a permis d'appréhender l'état sanitaire du châtaignier en fonction des pathogènes et des conditions stationnelles qui pouvaient être la cause de ces dépérissements visibles depuis de nombreuses années. Nous avons pu mettre en évidence qu'un tiers des peuplements de châtaignier sur la zone d'étude sont fortement dépérissants, et que cet état dégradé est en lien avec la présence de chancre et la mauvaise fertilité des sols. L'explication des facteurs impactant l'état sanitaire du châtaignier a permis d'affiner la compréhension de ces dépérissements. En effet, l'augmentation des températures plus ou moins importante à certains endroits semble favoriser le développement du chancre. Les variations de fertilité s'expliquent dans un premier temps par l'acidité du milieu (un milieu trop acide ne sera pas propice au développement du châtaignier), dans un second temps par le bilan hydrique climatique (les stations ayant un P-ETP inférieur à -190mm présentent un déficit hydrique néfaste). Enfin le dernier facteur jouant un rôle sur la fertilité est un facteur de compensation de l'acidité et du P-ETP, il s'agit de la position topographique, et en particulier la position en bas de versant.

Les limites écologiques ressortant de l'étude statistique sont très proches de celle de l'autécologie du châtaignier indiquées dans la littérature. Les résultats affirmés sont donc très proches de la réalité et reflètent les limites particulières à la zone d'étude, avec les compensations qui peuvent exister dans la région.

Toutes ces conclusions sont bien évidemment intéressantes à prendre en considération dans la réflexion sur la sylviculture du châtaignier mais il faut tout de même relativiser. Les facteurs évoqués ci-dessus sont loin d'être les seuls à entrer dans le processus de dépérissement du châtaignier. D'autres éléments tels que la réserve utile, l'hydromorphie et la texture du sol doivent faire l'objet d'une attention particulière pour la culture du châtaignier. Ils n'ont pas pu être pris en compte dans cette étude par manque d'homogénéité dans les relevés de terrain.

Pour ce faire le protocole aurait dû prévoir plus d'importance au relevé de ces facteurs. Un autre problème rencontré lors de cette étude en lien avec le protocole est celui de l'âge des placettes. Les placettes d'un âge inférieur à 10 ans ont présenté un biais lors de l'analyse. La présence du système racinaire permet aux jeunes tiges de se développer avec beaucoup de vigueur dans leurs premières années, faussant alors l'estimation de l'indice de fertilité de la station. De plus, l'impact du chancre n'est pas le même sur les jeunes peuplements, car le chancre attaquant les jeunes tiges est forcément virulent, ce n'est qu'après que le mycovirus s'installe, permettant ainsi au châtaignier de pouvoir se défendre.

Cette étude aurait pu être améliorée en prenant des échantillons de plus 10 ans et en détaillant le descriptif et botanique. On pourra ajouter aussi une détermination du pH de la station. Les hauteurs pourront aussi n'être prises que pour l'arbre dominant de chaque cépée, ce qui sera un gain de temps qui pourra être redistribué dans d'autres mesures. Idéalement, la détermination de l'âge avec une tarière de Presler, pourrait être faite afin d'affiner l'appréciation de l'indice de fertilité. Par ailleurs, d'autres éléments relevés avec le protocole utiles pour cette étude n'ont pas été nécessaires, comme le relevé floristique de la strate arborée ou la présence de dégâts de gibier.

Il serait intéressant d'améliorer les modélisations proposées dans cette étude. En effet, il est dommage que la probabilité de dépérissement des peuplements de châtaignier n'ait pas pu être modélisée à cause du manque de fiabilité du modèle de l'IF. Une nouvelle modélisation intégrant l'acidité du sol permettrait de compléter cette étude.

Le chancre virulent majoritairement présent il y a trente ans, voit son incidence perdre de l'ampleur au profit de l'hypovirulence. A tel point que l'on a désormais, quasiment une équivalence entre les taux de chancres virulents et hypovirulents. L'augmentation des températures va induire l'augmentation de l'incidence du chancre, mais l'hypovirulence s'installant de plus en plus, l'impact du chancre sur l'état sanitaire des châtaigniers sera globalement stable et ou visiblement moins important.

A contrario, les hivers de plus en plus doux vont favoriser l'installation de l'encre et sa propagation du fait de sa survie hivernale (BERGOT et MARCAIS, 2004). Ce phénomène d'ores et déjà très impressionnant risque à l'avenir de devenir un des problèmes primant sur l'état sanitaire du châtaignier. La succession d'étés humides (favorables au développement de l'encre), puis secs renforcera encore ce phénomène de dépérissement dû à l'encre, suite aux conséquences de l'atrophie des racines. C'est pourquoi il est important de bien choisir aujourd'hui les stations où seront implantés les futurs peuplements de châtaignier.

Les itinéraires techniques sylvicoles proposés, sont ici présentés comme un idéal à réaliser. Sans action importante de vulgarisation, de communication et de sensibilisation, le châtaignier continuera à être traité en taillis simple, là où d'autres itinéraires techniques sylvicoles seraient plus adaptés. Un réseau de placettes démonstratives devra être mis en place afin d'informer les propriétaires des nouvelles techniques et améliorations conseillées.

Dans la continuité de cette étude, une typologie des stations de la région pourra être réalisée à l'image de celle faite par le CRPF Limousin. Une prise en compte du sol de manière plus homogène permettra d'affiner les itinéraires sylvicoles en lien avec la station. Et, il est aussi important de porter une attention particulière aux choix des essences d'avenir de substitution du châtaignier, afin d'assurer une production de bois.

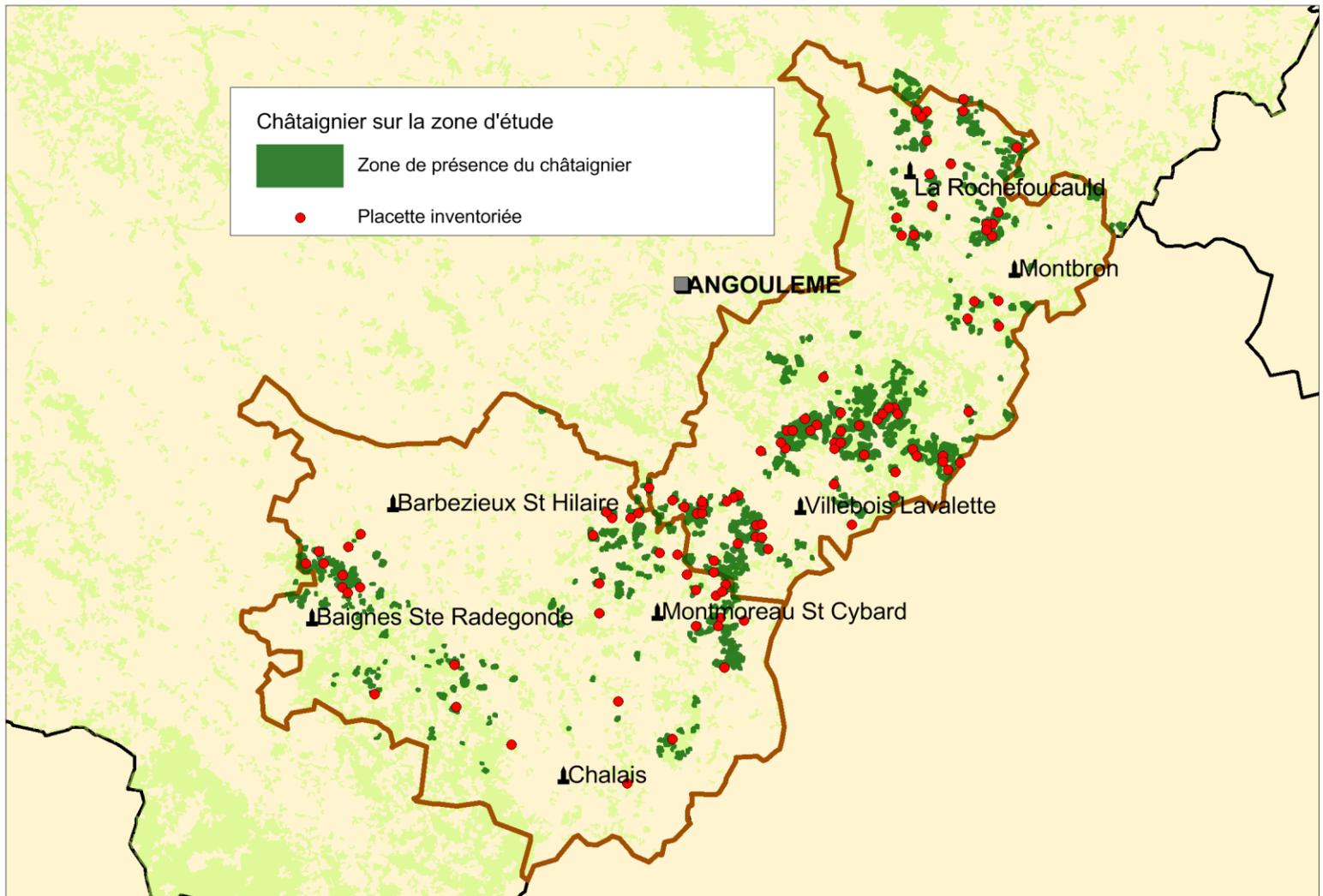
## Bibliographie

- ALEXANDRIAN, D. (1992). *Essences forestières : Guide pratique du forestier méditerranéen français (2ème édition)*. CEMAGREF. Aix-en-Provence.
- AMOUZOU-ALLADAYE, E.; DUNEZ, J.; CLERJEAU, M. (1988) *Immunoenzymatic detection of Phytophthora fragariae in infected strawberry plants*. *Phytopathology* 78, 1022-1026.
- BACCHETTA, R. (1984). *Le châtaignier à bois et la mise en valeur des taillis de châtaignier* (division "techniques forestières" au CEMAGREF Nogent-sur-Vernisson). *Forêt entreprise*, 22.
- BAUDERY, A. (1990) *L'encre du châtaignier*, S.R.V.P. Aquitaine – 7p. (note technique)
- BAUERLE, W.L., Wang, G.G., Bowden, J.D., & Hong, C.M. (2006). *An analysis of ecophysiological responses to drought in American Chestnut*. *Annals of Forest Science*, 63, 833-842.
- Bergot, M., Cloppet, E., Pérarnaud, V., Déqué M., Marçais B., Desprez-Loustau, M-L. (2004) *Simulation of potential range expansion of oak disease caused by Phytophthora cinnamomi under climate change*. *Global Change Biology*. Volume 10, Issue 9, pages 1539–1552 DOI: 10.1111/j.1365-2486.2004.00824.x
- BIROT, Y., LANDMANN, G., & BONHÊME, I. (2009). *La forêt face aux tempêtes*. Quae éditions. pp 433, Versailles (France).
- BOURGEOIS, C., SEVRIN, E., & LEMAIRE, J. (2004). *Le châtaignier : un arbre, un bois*. Institut pour le Développement Forestier. pp 347, Paris.
- BOURGERY, C. & CASTANER, D. (1988). *Les plantations d'alignement - le long des routes, chemins, canaux, allées*. IDF (Institut pour le Développement Forestier). Paris.
- BRETAUDEAU, J. & FAURE, Y. (1990). *Atlas d'arboriculture fruitière*. Tec & Doc - Lavoisier. Pp 263, Paris.
- CACAOT, E. et al. (2007). *Etude de l'impact du prélèvement des rémanents en forêt*. ADEME. Volet 3. Annexe 7.
- DIAMANDIS, S. C, PERLEROU. (2005) *The role of Spulerina simploniella in the spread of chestnut*. *Forest Pathology* Volume 35, Issue 4, pages 315–320, DOI: 10.1111/j.1439-0329.2005.00413.x
- GARSULT, J-F. (1994) *Les dépérissements du châtaignier d'origine abiotique dans le nord-ouest de la France de 1990 à 1993*, DSF
- GLEY-DESCHAMPS, I. (1993) *Le dépérissement de la châtaigneraie audoise*, Université de Toulouse, 243 p. (Thèse doctorat, géographie et aménagement, décembre 1993)
- GRENTE, J. (1961) *La maladie de l'encre du châtaignier*, In : *Annales des Epiphyties*, 12 (I), pp. 5-24.
- IDF (1981). *Cultiver les arbres feuillus pour récolter un bois de qualité*. Institut pour le Développement Forestier. pp 277, France.
- IDF (1989). *Planter du châtaignier*. *Forêt entreprise*, 62, 10-19.
- IDF (1990). *Les terrains boisés- leur mise en valeur*. IDF (Institut pour le Développement Forestier). pp 348, Nancy.
- JACAMON, M. (1984). *Guide de dendrologie - Tome II Feuillus*. E.N.G.R.E.F., pp 256, Nancy.
- LANIER, L., BADRE, M., DELABRAZE, P., DUBOURDIEU, J., & FLAMMARION, J.P. (1986). *Précis de sylviculture*. Génie Rural, des Eaux et des Forêts. pp 468, Nancy (France).

- LAROCHE, A., FREYSSAC, V., RAHMANI, A., & VERGER, J.-P. (1997). *Growth and mineral content of young chestnut trees under controlled conditions of nutrition*. Annals of Forest Science, 54, 681-693.
- LEMAIRE, J., SAINTONGE, F.-X., ROBIN, C., RABIN, J.-F., & SOUTRENON, A. (2005). *Dossier : Les pathologies du châtaignier évoluent, ses sylvicultures aussi*. Forêt entreprise, 165 (2005/5), 17-49.
- LEMAIRE, J. (2008) *Estimer la potentialité de son taillis de châtaignier et y adapter les éclaircies*. Numéro spécial sylviculture du châtaignier. Forêt entreprise, 179 (2008/5), 14-17.
- LOPEZ, J. (1991). Dossier "*Le châtaignier en Europe*" : Espagne, de la Galice à la Catalogne, une situation diversifiée. Forêt entreprise, 76 (4/1991), 28-32.
- MASSON, G. (2005). *Autécologie des essences forestières. Comment installer chaque essence à sa place* Vol. 2, pp 399. Lavoisier, Londres, Paris, New York.
- MAUREL, M., ROBIN, C., CAPDEVIELLE, X., LOUSTEAU, D., & DESPREZ-LOUSTEAU, M.-L. (2001). *Effects of variable root damage caused by Phytophthora cinnamomi on water relations of chestnut saplings* Annals of Forest Science, 58, 639-651.
- MOHAN, S.B. (1988) *Evaluation of antisera raised against Phytophthora fragariae for detecting the red core disease of strawberries by enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA)*. Plant Pathology 37, 206-216
- NAGELEISEN, L.-M. (1994). *Le dépérissement actuel des feuillus divers: hêtre, merisier, alisier torminal, érable sycomore, peuplier, châtaignier, charme, aulne glutineux*. Revue Forestière Française, XLVI (5-1994), 554-562.
- PICHARD, G. (1992). *La régénération naturelle assistée du châtaignier en Bretagne. Une méthode désormais éprouvée*. Forêt de France, 355 (juillet 1992), 27-29.
- RAMEAU, J.C., MANSION, D., & DUME, G. (1989). *Flore forestière française : Guide écologique illustré. Vol. 1, Plaines et collines*, pp 1785 p. IDF (Institut pour le Développement Forestier), Paris.
- RAMEAU, J.C., MANSION, D., DUME, G., LECOINTE, A., TIMBAL, J., DUPONT, P., & KELLER, R. (1993). *Flore forestière française : Guide écologique illustré. Vol. 2, Montagnes*, pp 2421 p. IDF (Institut pour le Développement Forestier), Paris.
- ROL, R. (1961) *cours de pathologie végétale appliquée aux forestiers* – Nancy : E.N.E.F., - pp. 14-17.
- ROL, R. (1949) *La maladie du chancre du châtaignier* – revue forestière française, n°1, pp. 3-5
- SAINTONGE, F.-X. LONGA, B. *Suspicion de dégâts importants par le gel sur châtaignier en Mayenne, compte rendu de la tournée du 28 juin 2010*. Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt.
- SEVRIN, E. (1994). *Améliorer les taillis de châtaignier*. Forêt entreprise, 97 (4/1994), 13-14.
- SOULERES, G. (1993). *Reboisement : le diagnostic précoce de l'échec*. Revue Forestière Française, 1993/5, 561-572.
- SOUTRENON, A.,(2007). *Chancre du châtaignier après balivage de taillis infectés*. Bilan de la santé des forêts en 2006. DSF
- WERRES, S. (1988) *Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) as a method for detection of Phytophthora fragariae in strawberry roots*. pp. 146-150

**-- ANNEXES --**

**Annexe 1**  
**Cartographie des peuplements de châtaignier et localisation des placettes**



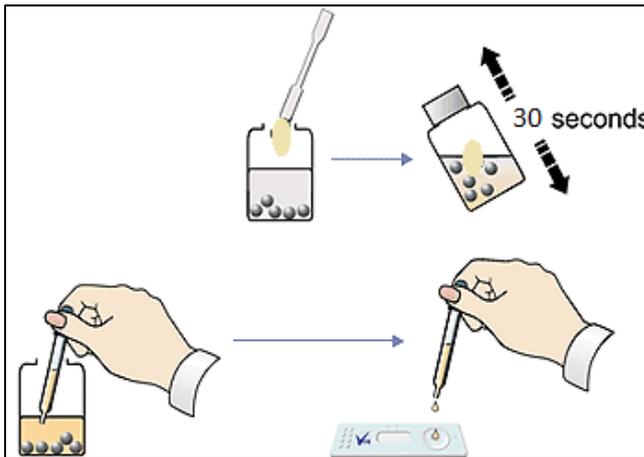
## Annexe 2

### Protocole détaillé de l'utilisation du kit de détection du *phytophthora*

Le kit de détection comprend plusieurs outils (flacon avec billes d'acier, pipette et plaque de test) permettant de déterminer la présence du *phytophthora*.

Méthode d'utilisation du kit (figure 14) :

- Prélever un échantillon là où le pathogène semble le plus actif (haut de la flamme)
- Déposer l'échantillon dans le flacon contenant la solution tampon et les billes d'aluminium
- Secouer le flacon pendant 30 secondes pour broyer l'échantillon
- Prélever un peu de liquide du flacon avec la pipette
- Déposer doucement trois gouttes de l'échantillon dans le puits de la plaque de test
- Regarder le résultat après 3 à 10 minutes

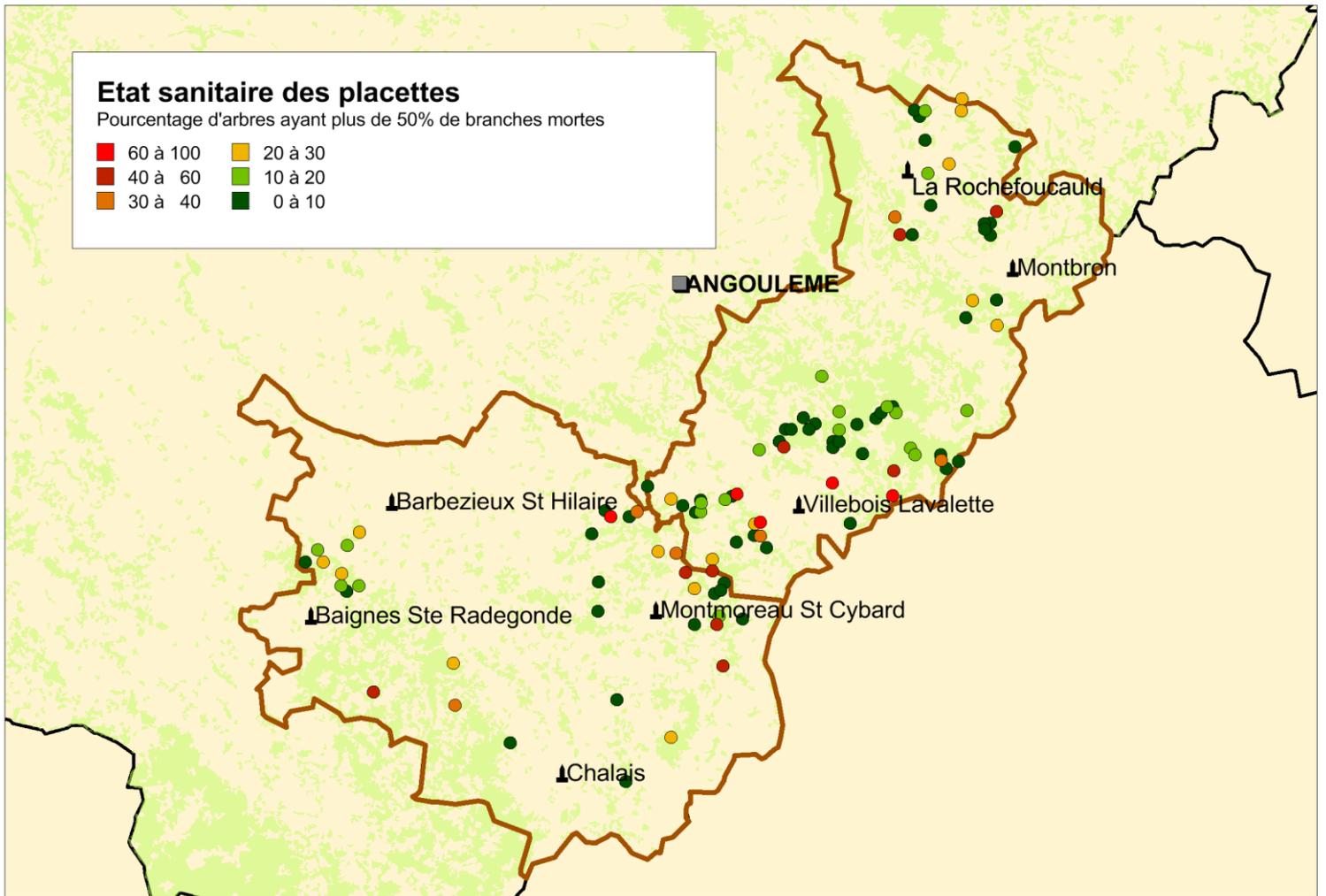


Principe d'utilisation du kit de détermination de présence de *phytophthora*

Les tests ELISA mis au point (Amouzou-Alladaye et al., 1988; Mohan, 1988; Werres, 1988; Pscheidt et al., 1992, Burns & George, 1995) pour détecter *Phytophthora* ne conviennent pas pour une identification précise de l'espèce car ils ne sont spécifiques qu'au niveau du genre *Phytophthora*.

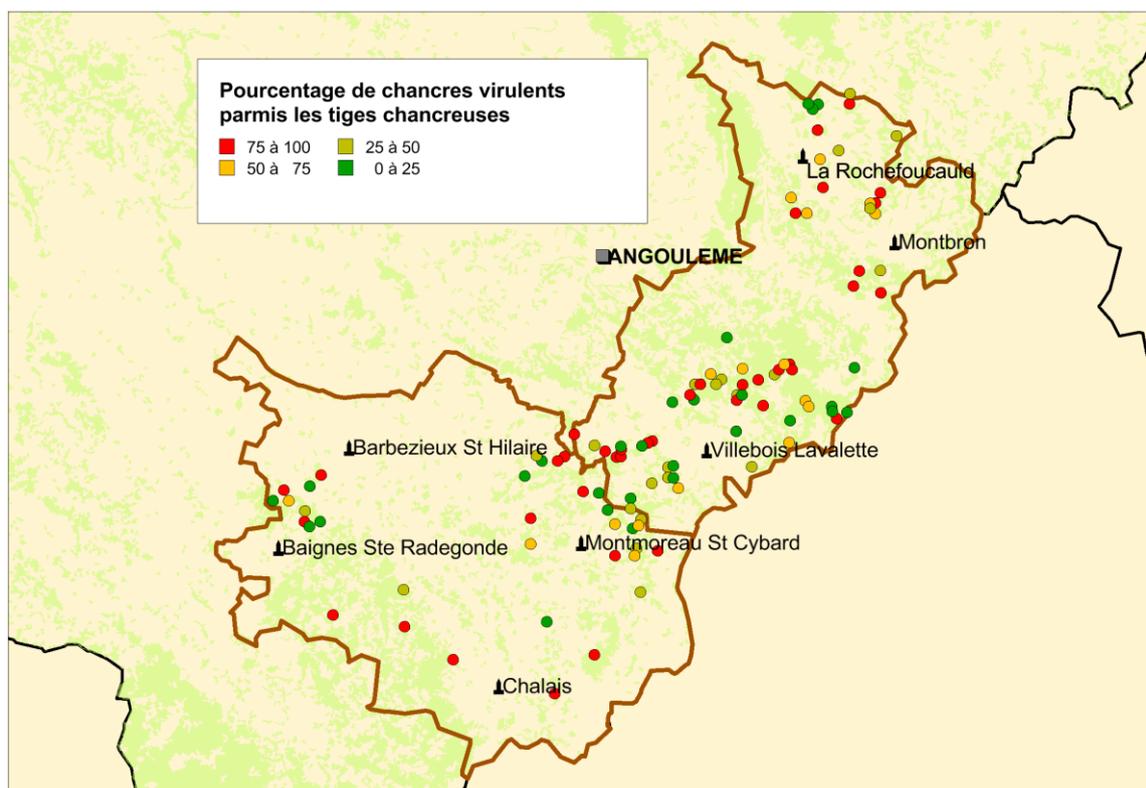
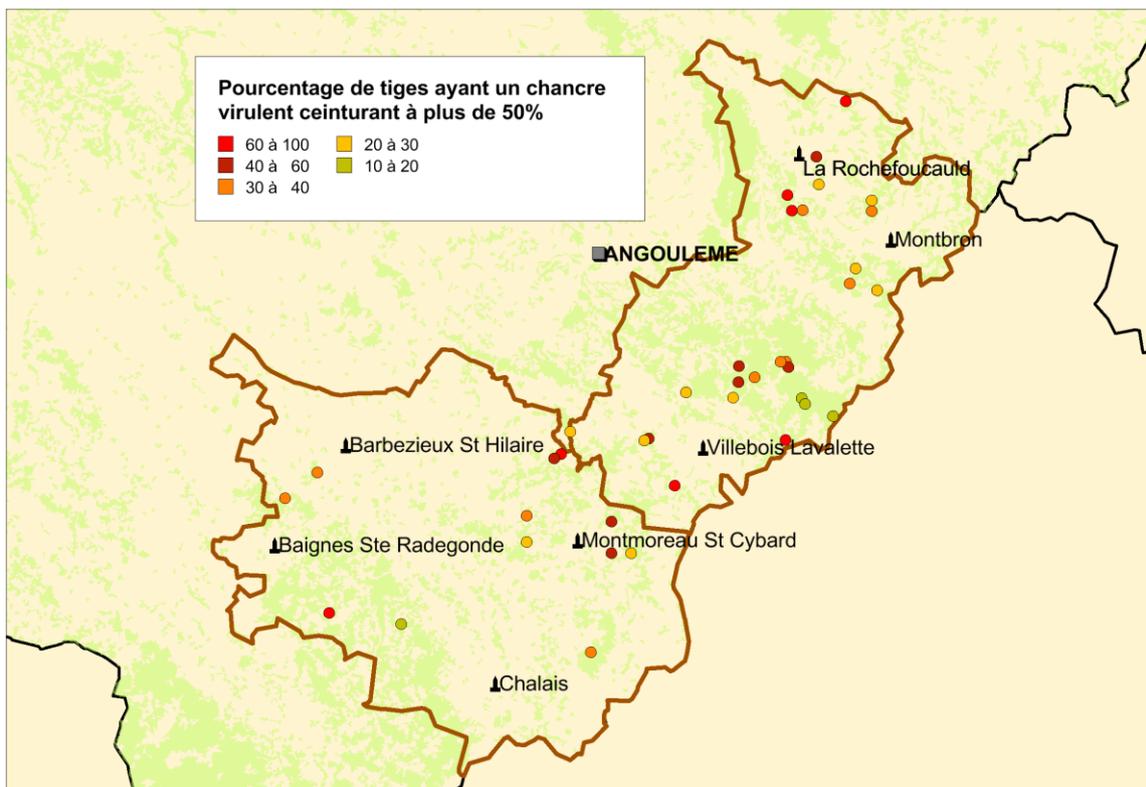
### Annexe 3

## Etat sanitaire des placettes



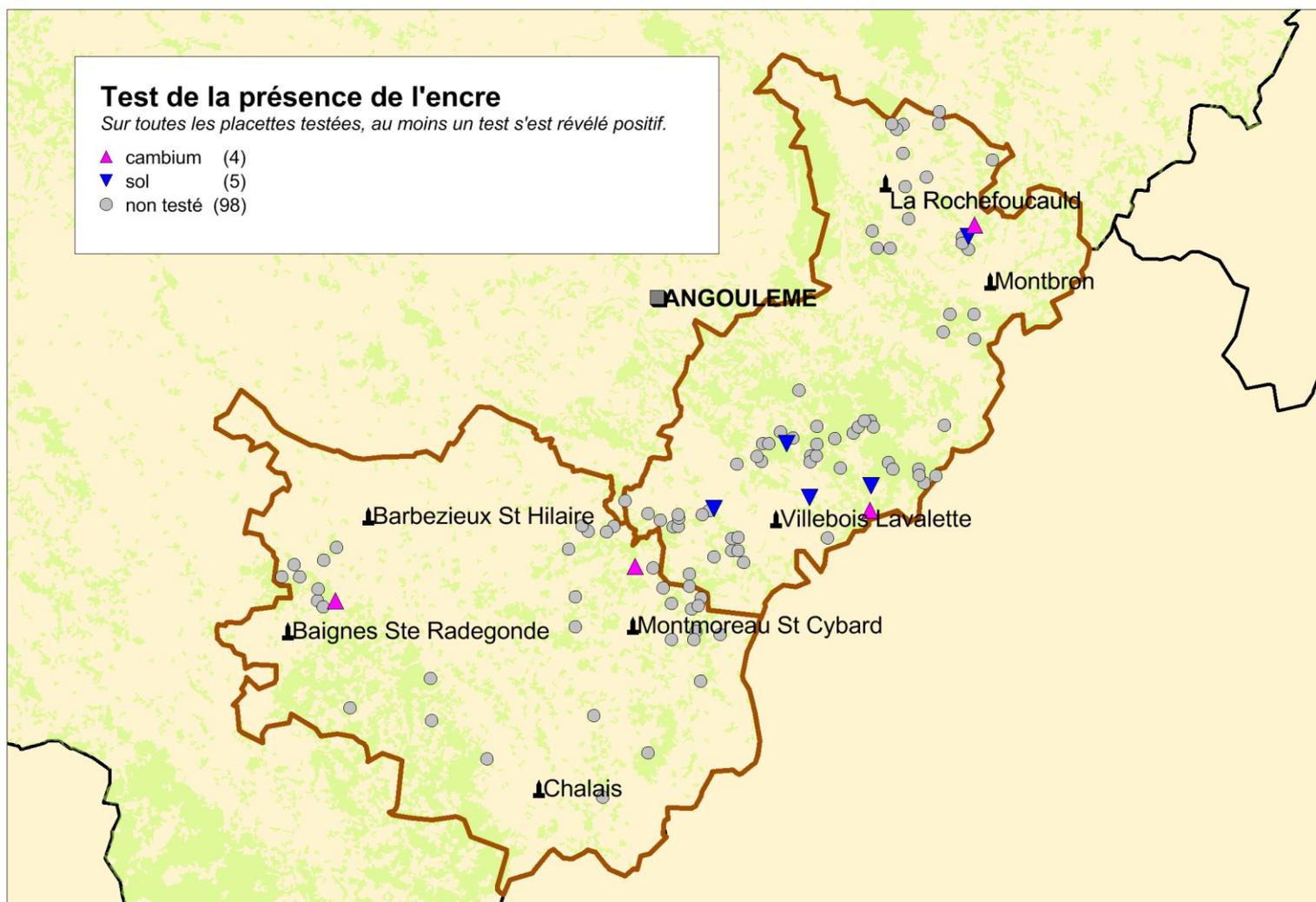
## Annexe 4

### Cartographie des placettes présentant du chancre



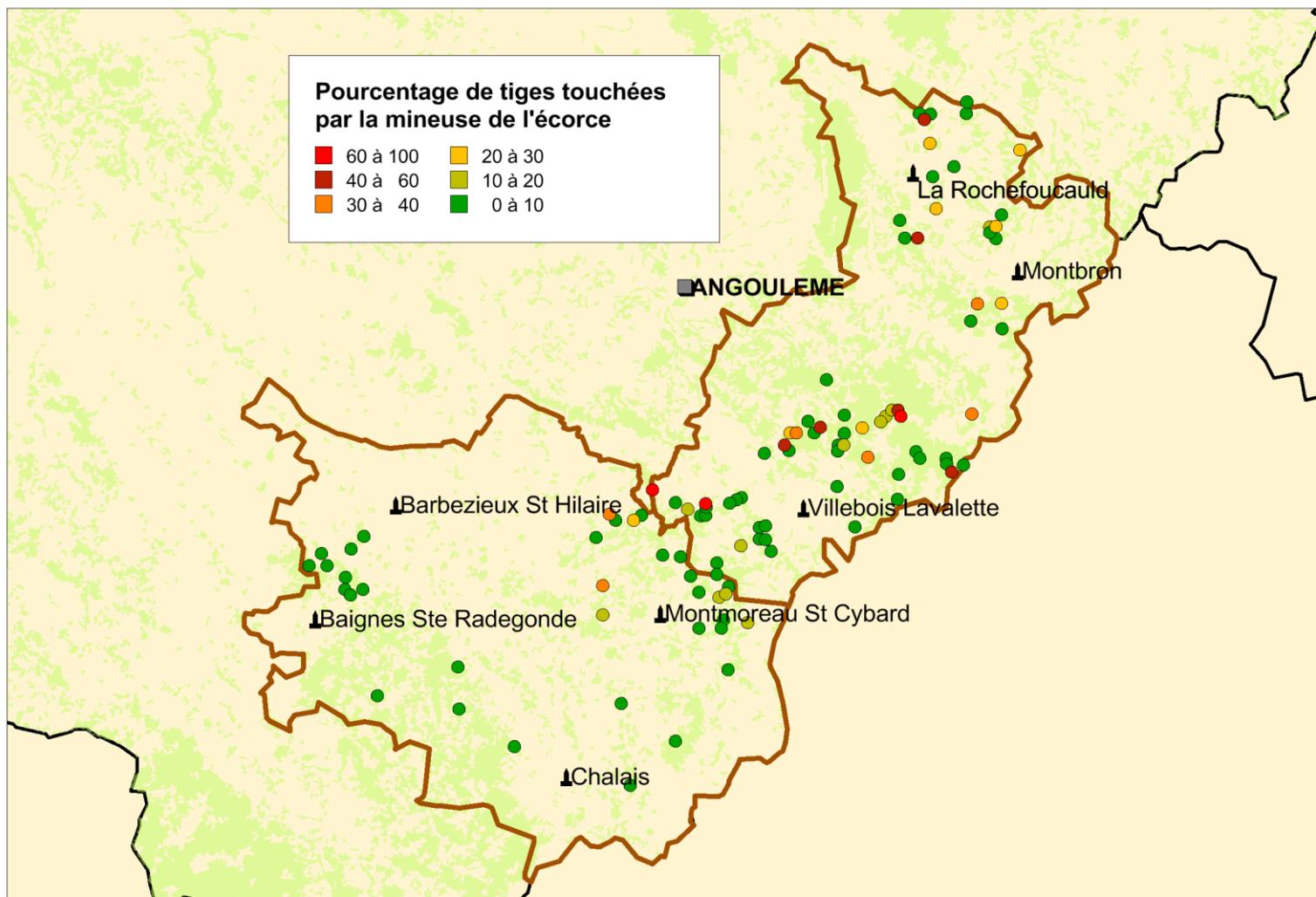
## Annexe 5

### Cartographie des placettes présentant de l'encre



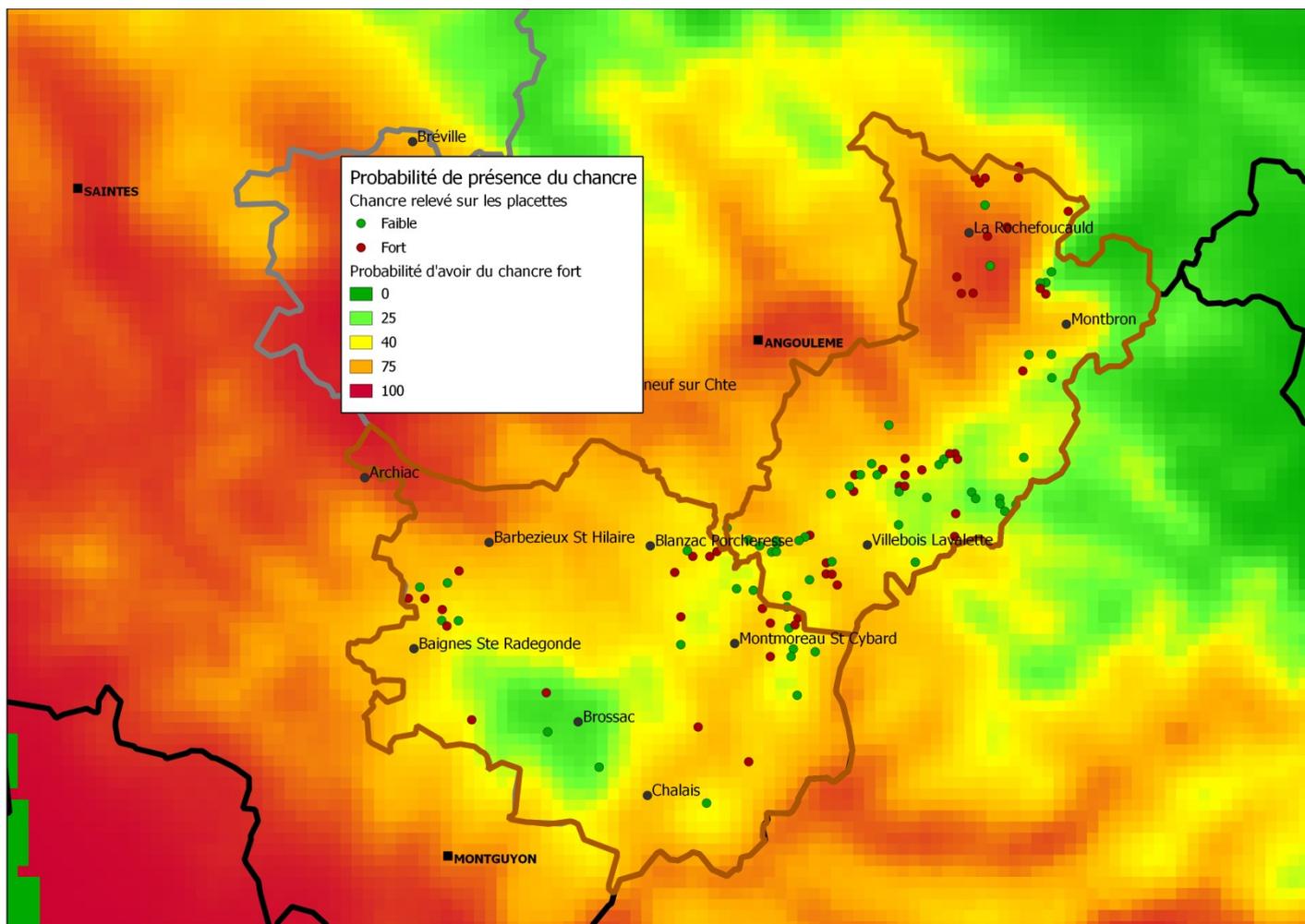
## Annexe 6

### Répartition et quantification de la présence de la mineuse



## Annexe 7

### Modélisation de la probabilité de présence du chancre



**Annexe 8**  
**Itinéraires techniques sylvicoles**

Itinéraires	Objectifs	Facteurs prédisposant	ITINERAIRE	
			Travaux à réaliser	Coût indicatif des travaux récolte comprise /ha
Renouveau par régénération naturelle Et transformation du taillis en futaie	-remplacer les vieilles souches épuisées par des semis  -augmenter la vigueur et la qualité du peuplement  -produire du bois d'œuvre	-station adaptée à la culture du châtaignier  - bonne fructification	<b>→ année n</b> -coupe rase <ul style="list-style-type: none"> <li>attendre la chute des châtaignes</li> <li>souches coupées à ras de terre</li> </ul> -vidange des bois <ul style="list-style-type: none"> <li>attention à préserver les semis=utilisation de cloisonnements</li> </ul> -dévitalisation des souches mécaniquement laisser les plus jeunes souches si le nombre de semis n'est pas suffisant	Coupe : + 1000 à + 3000 €  Croque souche : - 1000 à - 1500 €
			<b>→ année n+5</b> - ouverture des cloisonnements par broyage des interbandes sur 4m et bandes de 6m	Ouverture des cloisonnements : - 800 à - 1300 €
			<b>→ année n+12 à n+15</b> -dépressage en fonction de la vigueur <ul style="list-style-type: none"> <li>densité après intervention est fonction de l'espacement entre les souches : 800 à 1400 tiges/ha</li> <li>sélection des brins les plus droits et le plus vigoureux</li> <li>favoriser les franc-pied</li> </ul>	1ere éclaircie : - 1000 à - 1600 €
			<b>→ année n+18 à n+22</b> -éclaircie <ul style="list-style-type: none"> <li>densité finale 400 à 700 tiges/ha</li> <li>réduction du nombre de tiges de moitié</li> <li>sélectionner les arbres d'avenir : les plus grosses tiges droites, branchaison la plus fine possible, sans chancre virulent sur au moins 5m</li> </ul>	2eme éclaircie : + 150 €
			<b>→ année n+35 à n+40</b> -coupe définitive <ul style="list-style-type: none"> <li>après la chute de châtaignes</li> </ul>	Coupe : + 6000 à +8000 € <b>Coût final : + 4350 à + 6750 €</b>

## Annexe 8

### Itinéraires techniques sylvicoles

<b>Enrichissement du taillis par plantation (deux ou trois bandes )</b>	<p>-créer un peuplement irrégulier, composé d'une futaie plus ou moins claire (issue de la plantation) sur un taillis</p> <p>-produire du bois d'œuvre tout en conservant du châtaignier</p>	<p>-station pas assez riche pour maintenir le châtaignier</p> <p>-station où le châtaignier comme essence objectif, mais devient accompagnatrice</p>	<p>→ <b>année n</b></p> <p>-coupe rase</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• souches coupées à ras de terre</li> </ul> <p>-vidange des bois</p> <p>-dévitalisation des souches mécaniquement sur les bandes plantées</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• bandes ayant une emprise de 10 à 20 m suivant la densité de plantation et l'essence choisie</li> <li>• Interbandes de taillis de 25m</li> </ul> <p>-préparation du sol</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sous-solage et laboure</li> </ul> <p>-plantation en deux ou trois bandes</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• favoriser les essences les plus adaptées à la station</li> <li>• le nombre de plants varie en fonction de l'essence</li> </ul>	<p>Coupe : + 1000 à + 3000 €</p> <p>Croque souche</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- bande 10m = - 333 à - 500€</li> <li>- bande 20m = - 500 à - 750€</li> </ul> <p>Préparation du sol :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- bande 10m = - 200 à - 270€</li> <li>- bande 20m = - 300 à - 400€</li> </ul> <p>Plantation bande 10m :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Chênes = - 833 à - 2333€</li> <li>Robinier = - 280 à - 400€</li> <li>Pins = - 166 à -213€</li> </ul> <p>Plantation bande 20m :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Chênes = - 1250 à - 3500€</li> <li>Robinier = - 420 à - 600€</li> <li>Pins = - 250 à - 320€</li> </ul> <p><b>Coût final :</b></p> <p>Plantation bande 10m :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Chênes = -366 à -103€</li> <li>Robinier = +187 à +1830€</li> <li>Pins = +301 à +2017€</li> </ul> <p>Plantation bande 20m :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Chênes = - 1050 à - 1650€</li> <li>Robinier = - 220 à +1250€</li> <li>Pins = - 50 à + 1530€</li> </ul>
---	--	--	--	---

**Annexe 8**  
**Itinéraires techniques sylvicoles**

<p><b>Changement d'essence par plantation</b></p>	<p>-éliminer le châtaignier et le remplacer par une essence plus adaptée à la production de bois</p>	<p>-quand le châtaignier n'est pas en station</p>	<p>→ <b>année n</b></p> <p>-coupe rase</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• souches coupées à ras de terre</li> </ul> <p>-dévitalisation des souches</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• croque souche</li> </ul> <p>-préparation du sol</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sous-solage et laboure</li> </ul> <p>diminue les couts de plantation</p> <p>-plantation d'une nouvelle essence</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• choix de l'essence en fonction de la station</li> <li>• densité de plantation en fonction de l'essence choisie</li> </ul> <p>→ <b>année n+6</b></p> <p>Entretien plantation</p> <p><b>Coût final : - 8000 à +200 €</b></p>
<p><b>Maintien du régime de taillis</b></p>	<p>-production de piquets</p> <p>-production de bois de chauffage</p> <p>-production rapide pour un investissement minimum</p>	<p>-station moyennement fertile</p> <p>-peu de volonté de la part du propriétaire de faire une réelle sylviculture</p> <p>-l'ensouchement ne doit pas être trop âgé</p> <p>-station fertile</p>	<p>→ <b>année n</b></p> <p>- coupe rase du taillis</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• éviter l'export de la totalité des rémanents</li> <li>• exploiter l'hiver garanti la vigueur des rejets</li> </ul> <p>→ <b>année n+25</b></p> <p>- coupe rase du taillis</p> <p><b>Coût final : +1000 à + 3000 €</b></p>

**Annexe 8**  
**Itinéraires techniques sylvicoles**

<b>Eclaircie</b>	-production de grumes à destination du sciage	-station fertile -capacité à produire du bois d'œuvre -ensouchement assez jeune - peuplement assez sain	<p>→ <b>année n+10 à n+12</b></p> <p><b>Balivage en plein</b></p> <p>- marquage</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• répartir les brins sélectionnés sur l'ensemble de la parcelle</li> <li>• densité obtenue : 600 tiges/ha (90% des tiges seront prélevées)</li> <li>• on ne conserve pas plus d'une tige par cépée</li> </ul> <p>-création des cloisonnements sur 4m et bandes de 6m</p> <p>-abattage et vidange des bois</p> <p>→ <b>année n+35 à n+40</b></p> <p>-coupe définitive</p> <p>après la chute de châtaignes</p>	<p>Balivage : - 1000 à - 1600€</p> <p>Coupe : + 4000 à + 6000€</p> <p><b>Coût final : +3000 à + 4400 €</b></p>
------------------	---	--	---	--

