Pérennité de la production de Douglas et changements climatiques : contribution à l'étude des facteurs de vulnérabilité

Nathalie Bréda, Anne-Sophie Sergent, Francois Geremia, Yves Lefevre, Patrick Behr, Nicolas Métral, Thierry Paul

▶ **To cite this version:**

Nathalie Bréda, Anne-Sophie Sergent, Francois Geremia, Yves Lefevre, Patrick Behr, et al.. Pérennité de la production de Douglas et changements climatiques : contribution à l'étude des facteurs de vulnérabilité. [Contrat] 2010. hal-02824044

HAL Id: hal-02824044
https://hal.inrae.fr/hal-02824044

Submitted on 6 Jun 2020

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

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

Pérennité de la production de Douglas et changements climatiques : contribution à l'étude des facteurs de vulnérabilité

Photo N. Bréda, Autun, 2008

Rapport final, juin 2010

Coordination INRA
Nathalie Bréda, Directrice de Recherche
UMR INRA UHP 1137, Ecologie et Ecophysiologie Forestières
54 280 Champenoux

Participants INRA Nancy
Anne-Sophie Sergent, François Gérémia, Yves Lefèvre,
Patrick Behr, Nicolas Métral, Thierry Paul

Contributeurs : Alice Morel - Baptiste Ollier
Chargés de mission CRPF de Bourgogne / IDF

Sommaire

Avant-propos 3

1 Contexte de l'étude 4
1.1 Le douglas en Bourgogne 4
1.2 Le dépérissement du douglas 5

2 L'étude sur la région Bourgogne 6
2.1 Rappel du projet 6
2.2 Méthodologie 7
2.2.1 Calendrier des travaux 7
2.2.2 Prospection de 60 peuplements 8
2.2.3 Sélection de trente peuplements et relevés effectués 9
2.2.4 Etude pédologique approfondie sur 10 placettes 11
2.3 Données envoyées aux propriétaires 12

3 Premiers constats et résultats ressortant de l'enquête et des relevés de terrain 13
3.1 L'enquête sur l'historique de gestion des peuplements 13
3.1.2 L'antécédent cultural 13
3.1.2 La densité de plantation 13
3.1.3 L'âge des peuplements 14
3.1.4 L'âge de la première éclaircie 14
3.1.5 La tempête de 1999 15
3.2 Les relevés de terrain 15
3.2.1 Descriptions générales des placettes 15
3.2.2 La flore observée sur les placettes 16
3.2.3 Descriptions pédologiques 16
3.2.4 Descriptions sylvicole et dendrométrique 16
3.3 Evaluation du déficit foliaire 17
3.4 Analyse dendroécologique 18
3.4.1 Analyse de la croissance radiale brute 18
3.4.2 Calcul des ERC (écarts relatifs de croissance) et détermination des années caractéristiques de croissance 18
3.4.3 Relation entre croissance et réserve utile des sols 19
Eléments de conclusion et perspectives 21

Références bibiographiques 22

Annexes 23

Avant-propos

Ce rapport vise à faire état des travaux menés par l'INRA en collaboration avec le CRPF dans le projet concernant la « Pérennité de la production de Douglas » dans le cadre des changements climatiques. Ce projet est inclus dans le travail de thèse confié à Anne Sophie Sergent, recherche plus large se déroulant sur 3 ans et qui s'achèvera en fin 2010. Les résultats de ce projet sont donc qu'une part de l'étude des facteurs de vulnérabilité et des cas de dépérissements que nous étudions. Il est nécessaire de garder à l'esprit que ces résultats sont partiels et ne seront définitifs que lorsque toutes les étapes du travail seront terminées. Les résultats définitifs acquis sur le douglas seront décrits et discutés dans la thèse. Une restitution orale de cette thèse pour informer et échanger avec les propriétaires mais aussi la profession pourra être sollicitée auprès de l'INRA au printemps 2011.

1 Contexte de l'étude

Le douglas (*Pseudostuga menziesii* [Mirb.] Franco), essence exotique originaire de la zone côtière Pacifique d'Amérique du Nord, a été introduit en France au milieu du dix-neuvième siècle et planté de façon importante depuis les années 1960. Sa forte valeur économique, sa croissance rapide, sa faible sensibilité aux pathogènes et son bois de grande qualité en ont fait une essence de choix pour le boisement et le reboisement. Grâce à une politique active de reboisement engagée par l'Etat dans les années 1950 jusqu'au début des années 1990, la France est devenue le premier pays européen producteur de Douglas. La majorité des arbres actuellement sur pied sont donc encore jeunes, ce qui laisse prévoir une augmentation de la production dans les 30 prochaines années. Les disponibilités en sciage de bois de douglas, qui sont aujourd'hui de 750 000 m^3 par an, devraient progresser dans les années à venir : 1,7 millions de m^3/an vers 2020 et 2.5 millions de m^3/an à l'échéance 2030 d'après les projections de l'AFOCEL (Association FOrêt CELlulose). Mais ces prévisions peuvent paraître optimistes aux vues des événements climatiques extrêmes qui ont eu lieu ces 5 dernières années.

La Bourgogne comme de nombreuses régions en France a subie en 2003, une sécheresse édaphique précoce, longue et intense puis un épisode estival de sécheresse atmosphérique exceptionnel. Suite à cet événement extrême de nombreux peuplements de Douglas dépérissent d'années en années, entraînant des récoltes anticipées conduisant à une perte d'avenir pour de ces peuplements.

De nombreuses questions se posent sur ce phénomène complexe ainsi que sur la durabilité de la ressource en douglas :

- L'aire d'introduction est-elle réellement adaptée à la production de douglas ?
- Quelles sont les causes et les mécanismes du dépérissement ?
- Quelles provenances choisir pour le renouvellement des peuplements en place ?

Le programme de recherche et de développement sur la réponse du douglas aux aléas climatiques appliqué à la Bourgogne a été mis en place en coordination avec le projet national Dryade, financé par le programme Vulnérabilité Milieux et Climat de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR). Ce programme coordonné par l'Institut National de la Recherche Agronomique de Nancy (INRA) rassemble 11 partenaires dont les cellules recherches et développement de la forêt privée, l'Institut de Développement Forestier (IDF) et publique (ONF), deux structures de surveillance et d'inventaire de la forêt en France (Département de la Santé des Forêts (DSF) et l'Inventaire forestier National (IFN)), 6 Unités INRA et l'Université d'Orléans (LBGC).

Devant la forte mobilisation de la région Bourgogne et la constatation de dégâts avérés lors d'une première visite de terrain en Octobre 2007 (CRPF, INRA, IDF, DSF), l'INRA s'est engagé avec l'IDF à mener des investigations de terrain à l'échelle régionale en Bourgogne, afin d'étudier les facteurs de vulnérabilité et les mécanismes conduisant au dépérissement des peuplements de douglas.

1.1 Le douglas en Bourgogne

La Bourgogne tient une place importante dans la production du Douglas puisqu'elle fait partie des deux premières régions productrices de douglas en France. La région Bourgogne est seconde au rang national derrière le Limousin en termes de surface en douglas avec 63 407 ha (AFOCEL, 2004). L'évolution de la disponibilité en douglas est en progression en raison de l'âge

des peuplements (fig.1). La disponibilité en douglas estimée à 408 000 m^3/an en 2003-2005, devrait atteindre 767 000 m^3/an en 2011-2015.

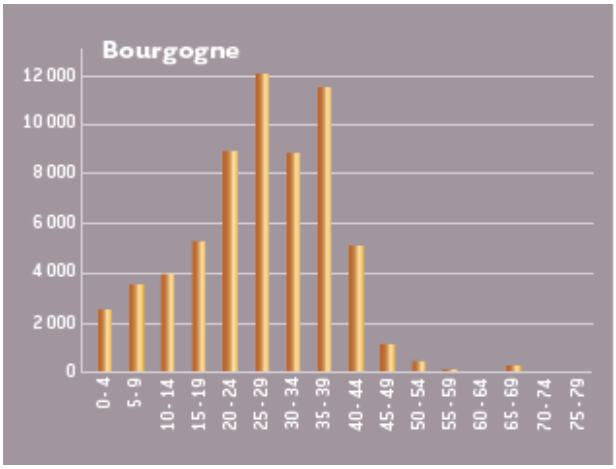


Figure 1 : Surface de Douglas en hectare par classe d'âge pour la région Bourgogne (Source SRGS Bourgogne, 2004)

1.2 Le dépérissement du douglas

Suite à la sécheresse et à la canicule de 2003, de nombreux problèmes sanitaires ont été constatés sur le douglas : rougissements, fentes de sécheresse, cimes sèches, dépérissements.

Le dépérissement est un processus complexe et multifactoriel. Il se traduit par une perte de vitalité de l'arbre, des colorations anormales (jaunissement, rougissement), des mortalités d'organes (feuilles, branches, racines).

La perte foliaire est un des symptômes du dépérissement. Sur les douglas forte pertes foliaires, l'axe du tronc est visible sur toute la hauteur de l'arbre (fig.2), alors que sur un arbre sain le houppier est dense, le tronc est non-visible sur au moins le tiers supérieur du houppier (fig.3).

Figure 2 : Douglas dépérissant

Figure 3 : Douglas sain

En Bourgogne, suite à la sécheresse édaphique couplée à un épisode caniculaire en 2003, il a été constaté que certains peuplements de douglas manifestaient des symptômes visuels anormaux.

Peu d'études concernant le dépérissement du douglas ont été réalisées à ce jour, cependant certains facteurs sembleraient aggraver les processus de dépérissement.

Suite aux observations effectuées par le Département de la Santé des Forêts (DSF), certains facteurs, a priori, prédisposant ont pu être mis en évidence :

- la faible altitude : pas de dégât au-dessus de 600 mètres (étude CRPF-ONF-ESAP Tarn, 2006)
- les orientations et les situations topographiques chaudes (expositions sud)
- les effets de lisière : les arbres de bordure sont davantage touchés (rougissements, mortalités, cimes sèches)
- l'ouverture des peuplements suite à la tempête de 1999 : davantage de dégâts localisés sur le pourtour des trouées.

Pour le Département Santé des Forêts dans le massif de la Chartreuse et dans le département du Puy de Dôme, les stations non adaptées (trop sèches, sols superficiels), les travaux du sol "violents" (andainage, travaux préparatoires lourds), provoquant un tassement du sol qui devient superficiel, aggravent les symptômes de dépérissement.

D'autre part, les peuplements trop denses seraient plus sensibles (étude CETEF Sologne), en effet la concurrence entre les arbres est accrue dans le sol, notamment pour les éléments minéraux et les réserves en eau des sols.

Enfin, les pathogènes pourraient être impliqué dans le dépérissement. La présence de scolytes sur des peuplements voisins d'épicéa, de pin ou de sapin pourrait aggraver les dépérissements, les scolytes pouvant en effet coloniser les douglas déjà affaiblis. Un champignon racinaire, le fomès, pourrait entraîner des mortalités significatives dans les peuplements de douglas, élément relativement nouveau, pour une essence réputée il y a encore 10 ans peu concernée. Il s'agit en général d'un parasite secondaire sur des arbres déjà affaiblis, il pourrait donc intervenir dans les processus de dépérissement complexe et multifactoriel.

2 L'étude sur la région Bourgogne

2.1 Rappel du projet

Le projet de recherche et de développement sur la réponse du douglas aux aléas climatiques récents et dans la perspective des changements climatiques appliqués à la Bourgogne est partie prenantes des travaux de doctorat menés actuellement par Anne-Sophie Sergent sur la place du Douglas en France dans le cadre des changements climatiques. L'étude des facteurs de dépérissement à l'échelle régionale est basée sur une étude dendroécologique ; dendro- car une étude rétrospective de la croissance est effectuée à partir de la mesures des largeurs de cerne (obtenues par carottage) et –écologiques car la croissance est relié à une description écologique fine (conditions stationelles, pédologiques et sylvicoles) du peuplement étudié. Ces mesures sont très couteuses en temps de travail sur le terrain et en laboratoire. De ce fait, le nombre de placette (30 par région) est donc limité par rapport aux autres études uniquement descriptives réalisées au part avant sur le dépérissement du douglas. Cette contrainte nous oblige a apporté une attention particulier dans la sélection des sites d'étude pour en assurer leur représentativité. Dans le cadre des travaux de doctorat, cette étude dendroécologique a été menée dans deux régions : en Bourgogne et en Midi-Pyrénées. Pour permettre une comparaison et une analyse globale des résultats obtenus dans ces deux régions, les protocoles de sélections des peuplements devaient être les plus comparables possibles. La sélection des 30 sites d'étude en région Midi-Pyrénées s'est basée sur le réseau de placettes de suivi du dépérissement du Douglas installé par le CRPF depuis 2004 (63 placettes). La Bourgogne ne disposait pas de ce type de réseau, l'INRA a donc sollicité le CRPF

pour réaliser une première prospection de sites candidats pour cette étude à partir leurs connaissances du problème de dépérissement dans la région.

Le programme mis en œuvre dans ce projet en région Bourgogne s'est déroulé en quatre actions :

a) *Une phase préparatoire* de prospection dans 60 peuplements (sains et dépérissants) dans le cadre du stage de Benjamin Coureau. Peuplements préférentiellement choisis parmi les peuplements suivis suite à la sécheresse/canicule de 2003 par le Réseau Canicule du DSF et parmi ceux utilisés comme référence par le CRPF, en particulier dans le cadre du RBRF (Réseau Bourguignon de Référence Forestière).

b) *Une phase de sélection sur le terrain* qui a conduit l'équipe Phytoécologie de l'INRA Nancy à retenir 30 peuplements sur les peuplements prospecter initialement. La répartition spatiale de ces peuplements dans la région été établie selon un échantillonnage stratifié, proportionnellement à la surface couverte par le douglas au sein de chacune des régions forestières étudiées (d'après les données de l'IFN).

c) *Une phase de descriptions dendrométriques, stationnelles, pédologiques, historiques, floristiques et écologiques des 30 placettes sélectionnées.* Ces descriptions permettront de réaliser l'analyse dendroécologique du dépérissement à partir des observations de terrain et d'une enquête auprès des propriétaires et/ou des gestionnaires sur l'historique de la gestion sylvicole des parcelles des peuplements forestiers retenus pour l'étude.

d) *Une phase de description pédologique complète* sur un sous échantillon de 10 placettes parmi ces 30 (en raison des coûts des analyses). Une fosse pédologique au pied d'un arbre sain a été ouverte mécaniquement pour décrire les sols, prélever des échantillons pour analyse chimique et granulométrique, décrire l'enracinement du douglas. Les objectifs étaient de connaître la fertilité minérale d'une part et de calculer la réserve utile des sols pour établir un bilan hydrique d'autre part. Ces 10 placettes ont été choisies de façon à représenter les principales configurations pédologiques de la région, en s'appuyant sur les observations réalisées sur les 30 placettes (mini fosse creusée à la main) et la base de données Sols et Territoires de Bourgogne (STB).

2.2 Méthodologie

2.2.1 Calendrier des travaux

L'étude du dépérissement du Douglas en Bourgogne s'est déroulée selon le calendrier suivant.

Tableau I : Calendrier des principaux travaux réalisés lors de l'étude

Travaux	Période de réalisation	Intervenants
Prospection de 60 peuplements	8 semaines en 2008	CRPF
Sélection des 30 peuplements selon échantillonnage stratifié	Fin 2008 à février 2008	INRA
Relevés écologique et dendrométriques sur les 30 placettes	mars à avril 2009	INRA
Réalisation d'un historique de gestion sylvicole des peuplements forestiers et relevés floristiques	avril à juillet 2009	CRPF
Ouverture des fosses pédologiques (10 placettes)	octobre 2009	CRPF
Description des fosses pédologiques	octobre 2009	INRA
Analyses granulométriques et chimiques des sols	janvier 2010 à décembre 2010	INRA
Analyses données et synthèses des résultats	novembre 2009 à janvier 2010	INRA

2.2.2 Prospection de 60 peuplements

a) Critères de prospection des peuplements potentiellement candidats à l'étude

Lors de la première phase de travail, 61 peuplements sains et dépérissants, ont été présélectionnés. Comme dans toutes nos études dendroécologiques, des critères spécifiques ont été imposés avant d'entreprendre la prospection. Les peuplements potentiellement candidats devaient être :

- d'une surface d'au moins 1 hectare pour s'affranchir des effets de lisières
- purs, équiennes, âgés d'au moins 25 ans
- dans des conditions stationnelles homogènes
- à proximité ou dans les mêmes situations climatiques que les stations météorologiques Météo France pour lesquelles les données quotidiennes de pluie, températures, vitesse du vent, rayonnement, humidité relative de l'air sont disponibles depuis au moins 1978.

b) Localisation des sites

La distribution géographique des 60 placettes a été déterminée au sein de la région Bourgogne selon l'importance (en surface) du douglas dans chacune des petites régions forestières définies par l'Inventaire Forestier National (IFN) (fig.4),

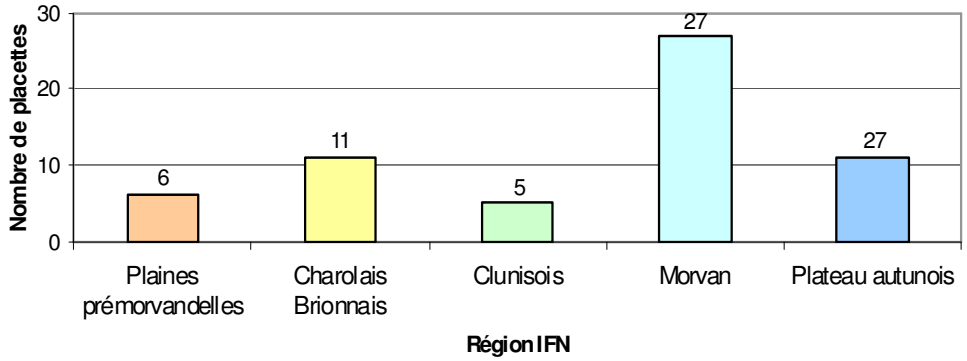


Figure 4 : Nombre de placettes présélectionnées par région IFN

c) Observations effectuées

Pour chacune de ces 60 placettes, une fiche recensant les informations à récolter a été conçue (annexe 1). On y retrouve les données suivantes :

- informations générales : localisation, renseignements administratifs
- description stationnelle : altitude, pluviométrie annuelle, pente et exposition
- données sylvicoles : âge du peuplement, surface, interventions sylvicoles depuis 2003
- description sanitaire : répartition du dépérissement et de la mortalité sur 30 arbres
- notation de coloration anormale, de la présence de gourmands et/ou de fentes
- observations diverses : passage de la tempête de 1999, etc

Une base de données regroupant l'ensemble de ces informations a ainsi été créée. Elle permet d'avoir les données pour chacune des placettes et en particulier une estimation de l'état sanitaire en 2008.

d) Bilan de la prospection

Rappelons que l'objectif final de cette prospection est de constituer un réseau qui soient représentatif de la réalité de terrain et pertinentes quant aux conditions stationnelles et aux états sanitaires. Cette prospection propose un large éventail de placettes, dans des conditions stationnelles, sanitaires et sylvicoles variées. Sur l'ensemble des peuplements visités, 18 placettes ne présentaient aucun signe de dépérissement (soit 31%), 12 présentaient des signes de dépérissement (soit 20%) et enfin 30 placettes présentaient des mortalités d'arbres (soit 49%) (fig.5).

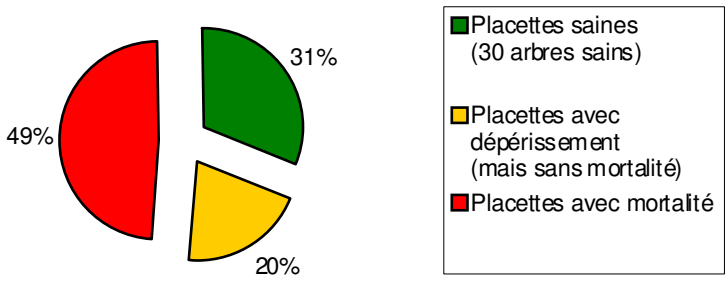


Figure 5 : Etat sanitaire des 60 peuplements prospectés

Des placettes avec mortalité ont été observées dans chacune des régions IFN Les placettes saines étaient situées principalement dans le Morvan, région IFN où le douglas est le plus abondant. L'analyse des données correspondantes aux 60 peuplements sont disponibles dans le rapport de stage (BTSA "gestion forestière") de Benjamin Coureau (Coureau, 2009).

2.2.3 Sélection de trente peuplements et relevés effectués

Suite à la visite sur le terrain des 60 peuplements prospectés, nous avons retenus les 30 peuplements pour l'étude dendroécologique du dépérissement. Cette étude a été prise en charge intégralement par l'INRA. La répartition des 30 placettes étudiées a été établie proportionnellement à la surface couverte par le douglas au sein de chacune des régions IFN étudiées (fig.6, tab. II).

Parmi les placettes prospectées, nous avons éliminé les placettes dont le critère d'homogénéité stationnelle n'avait pas été respecté avec rigueur et les placettes à densité trop faible traduisant des dégâts de tempête ou une exploitation récente importante.

Tableau II : Echantillonnage stratifié par régions IFN

IFN	Nom IFN	Surface de douglas (ha)	% de la surface	Nb. théorique de placettes	Nb. de placettes étudiées
581	Morvan	27 468	52	15,5	15
716	Charolais et annexes	9 152	17	5,2	5
719	Clusinois	6 580	12	3,7	3
213	Plaines Prémorvandelles	2 705	5	1,5	2
71A	Plateau Autunois	3 505	7	2,0	3
582	Nivernais	3 688	7	2,1	2
	TOTAL	**53 098**	100	30	**30**

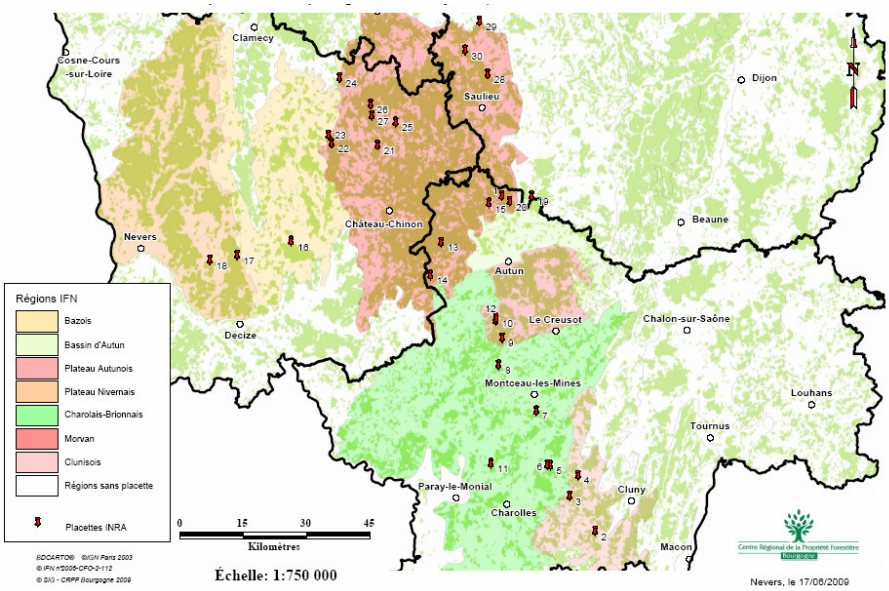


Figure 6 : Carte de localisation des 30 placettes étudiées par l'INRA

a) Enquête auprès des propriétaires

Un questionnaire type (annexe 2) a été envoyé à chaque propriétaire et/ou gestionnaire pour renseigner le passé cultural et sylvicole du peuplement, accompagné d'un plan de localisation de la placette avec les références cadastrales et, lorsqu'un Plan Simple de Gestion (PSG) existait, le numéro de la parcelle forestière correspondante. Des contacts téléphoniques et des rencontres ont eu lieu. Pour l'ensemble des 30 placettes, il y a eu une vingtaine de personnes à contacter.

Parallèlement à cela, les informations disponibles au CRPF via les Plans Simples de Gestion et les dossiers des placettes RBRF ont été recherchées dans le but de compléter les informations transmises par les propriétaires.

b) Données relevées sur chacune des placettes

Sur chaque peuplement sélectionné, nous avons installé une placette circulaire de 700m² (15 mètres de rayon). Les mesures dendrométriques et sanitaires décrites ci-dessous ont été effectuées sur tous les arbres situés dans le périmètre concerné.

Chaque placette a fait l'objet d'une description :

- historique (antécédent, âge plantation, gestion sylvicole du peuplement),
- stationnelle (altitude, pente, exposition, topographie et microtopographie, relevé floristique, description pédologique)
- dendrométrique (circonférence moyenne, hauteur dominante, surface terrière, densité, nombre de souches avec évaluation de leur ancienneté, réalisation d'un élagage),
- phytosanitaire : évaluation du déficit foliaire, et identification d'éventuels pathogènes notamment la Rouille Suisse et le Fomes.

Ces données ont été collectées de mars à juillet 2009.

Sur chaque placette, 15 arbres ont fait l'objet d'un carottage à cœur à 1,30 mètre du sol à l'aide d'une tarière de Pressler mécanisée (Gérémia et Nassau, 2006). Le carottage a mobilisé 3 personnes se déplaçant depuis l'INRA Nancy pendant le mois de mars 2009. Chaque arbre a fait l'objet d'un géo-référencement (mesures de la distance et des angles de chacun des arbres par rapport au centre de la placette.

2.2.4 Etude pédologique approfondie sur 10 placettes

a) Sélection des sites

Sur dix placettes, une analyse approfondie du sol a été réalisée par l'INRA dans le courant du mois d'octobre 2009. L'ouverture d'une fosse pédologique à la pelle mécanique a permis une description du sol et de l'enracinement afin d'établir d'estimer la réserve utile du sol. Ce paramètre clé est nécessaire aux calculs de bilan hydrique et aux quantifications des intensités de déficits hydriques. De même, la distribution verticale des racines fines du douglas a été observée et servira à paramétrer les calculs de bilan hydrique par peuplement.

Le choix s'est fait de façon à couvrir la gamme de roche-mère et de types de sol présents dans chaque région IFN étudiée. D'autre part, la sélection s'est faite à partir des données pédologiques (profondeur et type de sol) recueillies sur le terrain lors de l'ouverture de mini fosse à à main.

b) Prise de contact avec les propriétaires et les entrepreneurs

Dans un premier temps, les propriétaires et/ou gestionnaires des parcelles concernées ont été contactés par le CRPF. Pour chacune des placettes, une convention autorisant l'ouverture d'une fosse pédologique à la pelle mécanique a été signée par le propriétaire ou le gestionnaire. Celle-ci était accompagnée d'une explication concernant la méthodologie employée et d'un planning des interventions (ouverture, description et fermeture des fosses).

Dans un second temps, un appel d'offres a été lancé et des contacts ont été établis avec des entrepreneurs de travaux forestiers ou de travaux publics. Au final, trois entreprises ont été retenues (tab. III).

Tableau III : Entreprise concernée par l'ouverture d'une fosse pédologique pour chaque placette sélectionnée

Région IFN	N° des placettes	Géologie	Entreprises concernées
Clusinois	2	Granites	S.A.R.L. R & R Jaffre
Charolais-Brionnais	5	Grès	Bosselet
	7	Grès	
Plateau Autunois	9	Granites	Sylvar
	12	Granites	
Bazois	16	Argile	
Nivernais	18	Argile	
Morvan	20	Basaltes et Rhyolites	
	26	Granites	
	28	Granites	

L'ouverture des fosses s'est effectuée du 12 au 16 octobre 2009 par les entreprises ci-dessus (exemple de devis en annexe 3). Les entrepreneurs étaient accompagnés par un technicien du CRPF.

c) Caractéristiques des fosses pédologiques

La méthodologie et les caractéristiques des fosses pédologiques sont décrites dans les annexes 4 et 5

d) Relevés effectués

L'INRA et un technicien du CRPF ont procédé à la description des fosses (19 au 23 Novembre 2009). Chaque horizon pédologique a été décrit : taille, couleur, texture, structure, charge en éléments grossiers (> 2 mm), densité de racines. L'objectif de ce travail est d'évaluer la réserve utile du sol, c'est-à-dire la quantité d'eau disponible pour l'arbre.
D'autre part, des échantillons de terre fine de chaque horizon ont été prélevés pour analyses granulométriques (5 fractions) et chimiques : granulométrie, teneur en eau, teneur en carbone (C) organique et en azote (N), détermination du pH selon deux méthodes (l'eau et le Kcl N), teneur en phosphore, teneur en calcium (Ca), magnésium (Mg), sodium (Na), fer (Fe), manganèse (Mn) et aluminium (Al).

Figure 7 : Description de la fosse de la placette n°16 par Yves Lefèvre (pédologue, INRA)

L'INRA a procédé jusqu'au 15 novembre à un prétraitement des échantillons, consistant à sécher et à tamiser la terre (enlèvement des racines et des éléments grossiers). Puis les échantillons ont été conditionnés et envoyés à l'INRA d'Aras qui a été chargé d'en réaliser les analyses chimiques et granulométriques. Les résultats complets de ces analyses sont disponibles depuis mars 2010. Les analyses granulométriques ont permis de calculer la réserve utile du sol de chaque placette.

2.3 Données envoyées aux propriétaires

Un dossier pour chacune des placettes a été constitué. Un exemplaire est conservé par le CRPF de Bourgogne, un autre sera remis à chacun des propriétaires (et/ou des gestionnaires) qui ont accepté qu'une placette soit installée dans leur propriété.

Chaque dossier contient l'ensemble des documents et des données relatifs à la placette :

- un plan de localisation des 30 placettes sur la région Bourgogne
- un plan de localisation précis de la placette du propriétaire
- l'historique de la gestion sur la parcelle
- un exemplaire du relevé floristique
- une fiche synthétique de l'ensemble des données relevées sur la placette (annexe 6)
- pour les sites où une fosse pédologique a été réalisée, les résultats des différentes analyses effectuées seront transmis.

3 Premiers constats et résultats ressortant de l'enquête et des relevés de terrain

3.1 L'enquête sur l'historique de gestion des peuplements

Les questionnaires sont dans l'ensemble assez complets. Il s'agit pour la plupart d'acquisitions récentes. Néanmoins, pour 3 des 30 placettes, il semblerait qu'il n'y ait pas de trace de l'historique.

Plusieurs points ressortent de l'étude des historiques :

3.1.2 L'antécédent cultural

Les peuplements étudiés ont été installés, dans la plupart des cas sur des anciennes parcelles de taillis (chêne-charme) (fig.8).

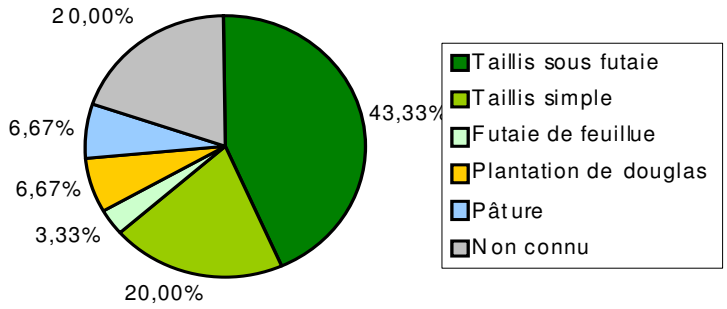


Figure 8 : Statut de la parcelle avant le peuplement de douglas actuel

Sur les 60% des peuplements où les travaux préparatoires à la plantation sont connus (47%) ont subi une mise en andains, avec une préparation du sol réalisée au bulldozer. Cette préparation a certainement entrainé des phénomènes de décapage des humus et des horizons A pouvant s'accompagner de déplacement de fertilité minérale, et dégradation de la porosité par tassement pouvant induire des phénomènes anthropiques d'engorgement temporaire. La plantation a été effectuée selon la technique du coup de pioche pour l'ensemble des parcelles.

3.1.2 La densité de plantation

La densité de plantation s'étend de 2 500 à 1 100 tiges par hectare (t/ha) (fig.9). La majorité des densités se situe entre 1250 t/ha et 1600 t/ha. Les configurations de plantation les plus souvent rencontrées sont 1 300 t/ha (2,5m x 3m) et 1600 t/ha (2m x 3m). Les recommandations actuelles sont de 1100 t/ha.

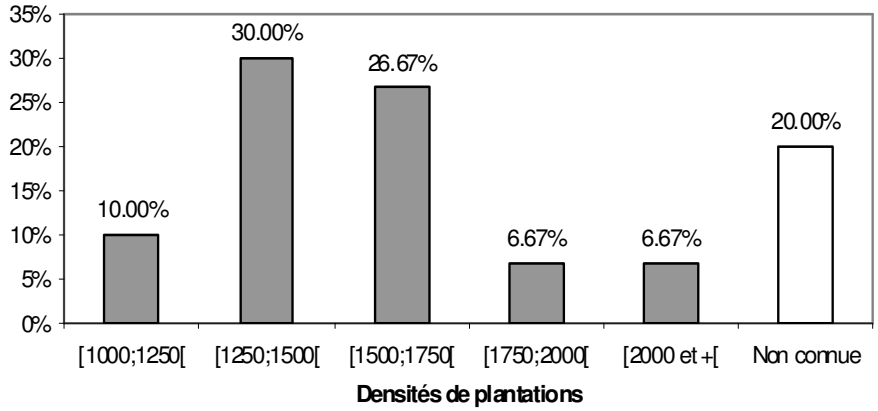


Figure 9 : Répartition des peuplements étudiés par classes de densité plantation

3.1.3 L'âge des peuplements

L'étude porte sur des peuplements dont l'âge moyen s'étend de 25 ans pour le plus jeune, à 772 ans pour le plus ancien. Une forte proportion des peuplements (40%) ont un âge qui se situe dans la tranche 35-39 ans (fig.10).

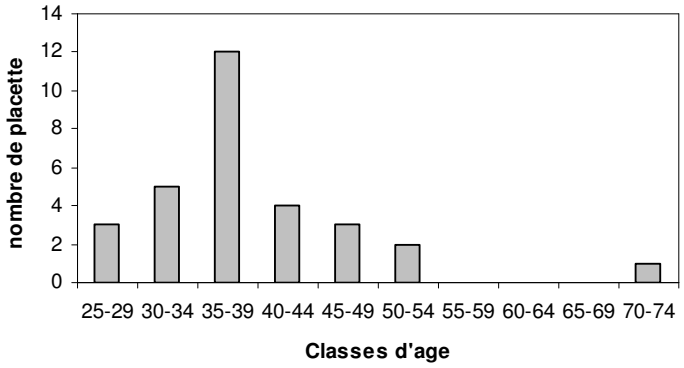


Figure 10 : Age des peuplements étudiés

Il s'agit de peuplements relativement jeunes dans l'ensemble. L'âge d'exploitabilité recommander par le CRPF du Douglas en Bourgogne est fonction du volume des arbres. Le volume minimum recommandé est atteint entre 45 et 60 ans. Ce graphique reflète donc l'importance du problème du dépérissement en Bourgogne car il touche des arbres n'ayant pas atteint l'âge d'exploitation.

3.1.4 L'âge de la première éclaircie

L'âge de la première éclaircie se situe entre 13 et 40 ans et l'âge moyen est de 23 ans. La première éclaircie est donc dans la plupart des cas tardive. Cette sylviculture peu dynamique associée à des densités de plantation assez élevées a pour conséquence d'augmenter la compétition entre les arbres. Ces éléments sylvicoles seront pris en compte dans l'analyse des facteurs de vulnérabilité au dépérissement et pourront constituer des pistes de recommandations aux propriétaires et sylviculteurs.

3.1.5 La tempête de 1999

La tempête a frappé au moins 40% des peuplements échantillonnés. Il conviendra de prendre en compte cet élément dans la réponse possible de la croissance radiale des arbres.

Tableau IV : Pourcentage de peuplements étudiés frappés par la tempête de 1999

Peuplements sinistrés	40%
Peuplement non touchés	33%
Données non connues	27%

3.2 Les relevés de terrain

3.2.1 Descriptions générales des placettes

Les 30 placettes retenues pour l'étude dendroécologique ont été choisies conformément aux critères cités dans le *paragraphe 2.2.3*, en visant à couvrir le plus de situations altitudinales et topographiques possibles. Ces situations ont pour but de confirmer ou d'infirmer les premiers facteurs de dépérissements établis à dire d'expert dans plusieurs régions. La gamme d'altitudes couverte par notre échantillonnage est de 200 à 600 (fig.12). La pente quant à elle varie de 2 % (plat) à 45% (pente très forte) (fig.13). Toutes les expositions sont également représentées dans l'échantillon (fig.14). Les figures ci-dessous illustrent que l'étude a porté sur des peuplements dont les caractéristiques stationnelles couvrent une large gamme de situations.

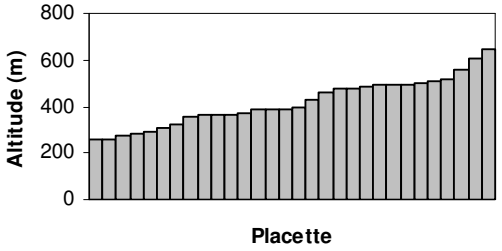


Figure 12 : Altitude pour chacune des placettes

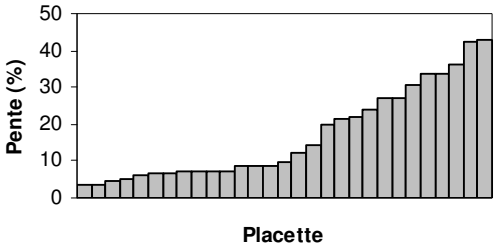


Figure 13 : Pourcentage de pente pour chacune des placettes

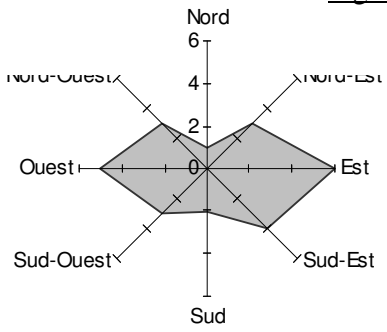


Figure 14 : Distribution des placettes par exposition

3.2.2 La flore observée sur les placettes

La flore identifiée est principalement de type neutrophile à acidicline. Sur certaines placettes, on trouve une flore plutôt acidiphile mais cela reste rare. On note également la présence de nombreuses espèces neutronitroclines à nitrophiles traduisant une richesse en azote, pouvant indiquer un antécédent cultural ancien.

3.2.3 Descriptions pédologiques

Les descriptions pédologiques réalisées sur les 30 placettes, combinées aux descriptions sur fosse et analyses granulométriques réalisées sur les 10 placettes ont permis de calculer la réserve utile de chaque sol selon la méthode de Jamagne. Les réserves utiles calculées sur 110 cm de sol ou moins en cas de contrainte majeure à l'enracinement (dalle rocheuse) sont comprises entre 26 et 162 mm. Ces valeurs sont comparables (valeur comprise entre 5mm et 205mm) à celles calculées à l'échelle des pédopaysages en Bourgogne (Rapport Alterre,2010).

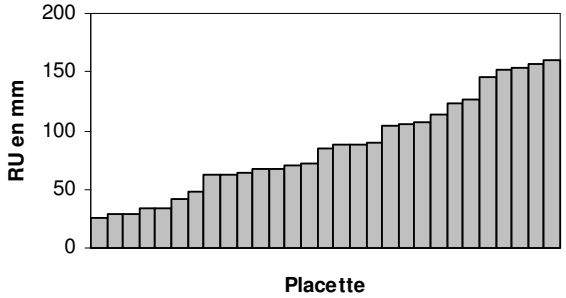


Figure 15 : Distribution des réserves utiles observées

3.2.4 Descriptions sylvicole et dendrométrique

a) Situation des peuplements vis-à-vis des courbes de fertilité

Les classes de fertilité sont représentées par des courbes établies entre la hauteur dominante (hauteur des plus gros arbres du peuplement) et l'âge d'un peuplement (fig16). Ainsi la classe de fertilité 1, correspondant à une hauteur de 40 mètres à 50 ans, est meilleure que la classe de fertilité 2 (32 mètres à 50 ans), elle-même meilleure que la classe de fertilité 3 (26 mètres à 50 ans).

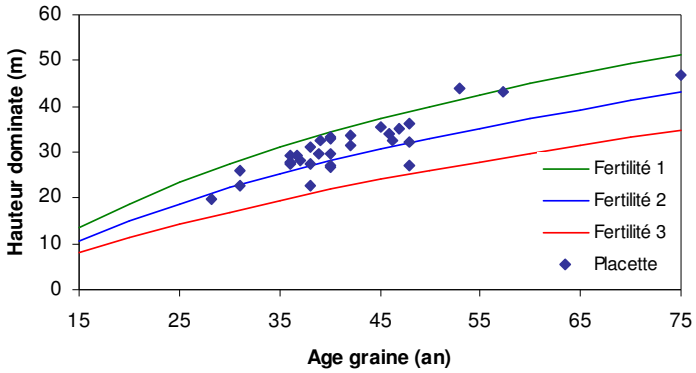


Figure 16 : Situation des peuplements étudiés en fonction des classes de fertilité (Courbes établies pour la France par l'ONF - 2007)

Les placettes observées se situent toutes dans la gamme de fertilité établie pour la France. 8 peuplements sont situés dans la classe de fertilité 1, 20 peuplements sont situés dans la classe de fertilité 2 et 2 peuplements se situent dans la classe de fertilité 3. Ce résultat confirme le fait que le dépérissement ne concerne pas les mauvaises stations. Les peuplements dépérissants sont des peuplements de production avec des croissances en hauteur normales voir importantes.

b) Situation des peuplements vis-à-vis des itinéraires sylvicoles recommandés

Les peuplements en 2003 étaient pour la majorité d'entre eux en retard d'éclaircie vis-à-vis des itinéraires sylvicoles recommandés pour le Douglas (fig. 17). La quasi-totalité des peuplements a été éclaircie entre 2003 et 2009 soit pour des raisons sanitaires ou sylvicoles, ces interventions ont permis de rattraper le retard d'éclaircies dans de nombreux peuplements. On peut donc considérer que la surdensité des peuplements est un facteur de vulnérabilité face aux aléas climatiques extrêmes comme la sécheresse de 2003. Réduire cette vulnérabilité des peuplements consiste à respecter les normes de sylviculture.

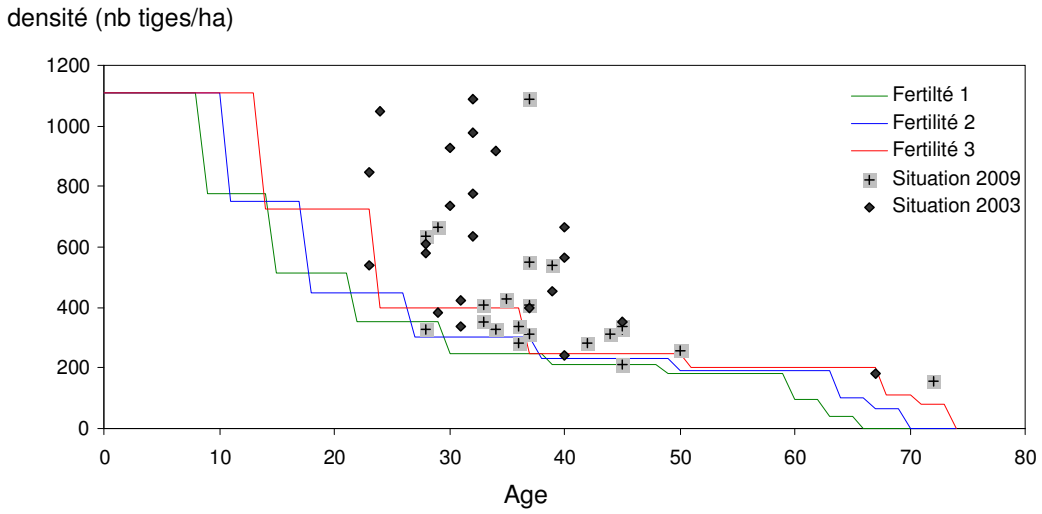


Figure 17 : situation en 2003 et en 2009 des peuplements étudiés par rapport aux itinéraires sylvicoles recommandés en fonction des classes de fertilité
(Courbes établies pour la France par l'ONF-2007)

3.3 Evaluation du déficit foliaire

Les symptômes visuels de dépérissement observés sont principalement le déficit foliaire, caractérisé par des houppiers mités, transparents, quelques mortalités de branches. Dans certains cas, on constate des cimes sèches, la présence de gourmands, de fentes de sécheresse. Des arbres secs sur pied ont également été observés. Afin (1) de dater l'année de la mort des individus secs, et (2) d'analyser la trajectoire de croissance précédent la mort (réduction brutale ou perte de vitalité progressive), les individus morts ont systématiquement été carottés.

Le déficit foliaire moyen est la moyenne des déficits foliaires de tous les arbres dominants et codominants observés sur la placette. Elle varie de 12% à 56% selon les placettes (fig. 18).

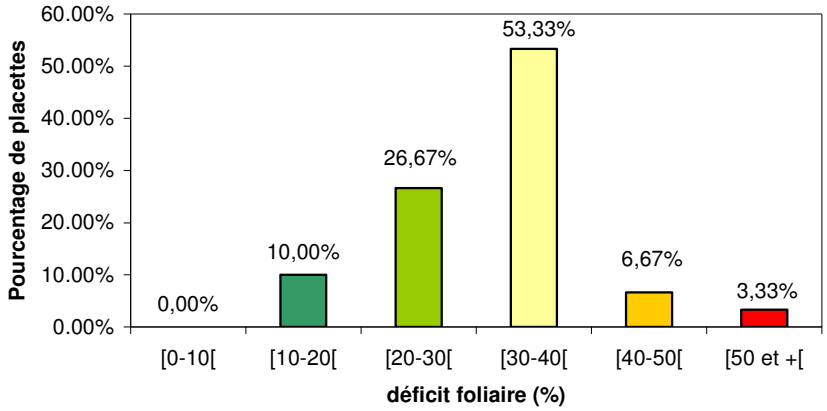


Figure 18 : Distribution des placettes par classe de déficit foliaire (exprimé en %)

Un déficit foliaire supérieur à 30% a été observé sur 2/3 de placettes étudiées (63,33%), ce qui traduit une dégradation significative de l'état des cimes.

3.4 Analyse dendroécologique

3.4.1 Analyse de la croissance radiale brute

Les carottes de bois collectées dans cette étude ont permis de retracer la croissance de 450 douglas. Les carottes de bois sont séchées lentement en étaux et à l'étuve afin de limitre leur déformations. Une double scie est alors utilisée pour extraire de la carotte une fine plaquette de bois. Celle-ci est radiographiée et les mesures sont réalisées sous WinDendro. La croissance des arbres est mesurée en déterminant la largeur annuelle de cerne pour chaque arbre carotté. Cette mesure permet de déterminer la croissance moyenne des peuplements étudiés sur la période 1980 - 2008. Cette croissance moyenne est de 4.4 mm/an, cette valeur est comparable avec les largeurs moyennes de cerne mesurées par Lebourgeois (1997) sur le douglas dans le réseau RENECOFOR (2.99 mm/an à 5.71 mm/an). Cependant, en raison des différences d'âge entre les peuplements étudiés et de la très forte réduction de la largeur de cerne avec l'âge, il n'est pas possible d'analyser les variations interannuelles de croissance en largeur de cerne brute.

3.4.2 Calcul des ERC (écarts relatifs de croissance) et détermination des années caractéristiques de croissance

Pour analyser les variations interannuelles au sens strict, dont le déterminisme à l'échelle d'une région comme la Bourgogne est climatique, les variations de croissance entre deux années consécutives sont calculées. Les effectifs d'arbres (n=450) et de peuplements (n=30) permettent de lisser les variations brutales de croissance liées à des interventions sylvicoles. A partir des croissances annuelles de chaque arbre, les écarts relatifs de croissance entre les années n et n-1 ont été calculés selon la formule suivante :

$$ERC = (largeur_{n} - largeur_{n-1}) / largeur_{n}$$

Les ERC ont permis de déterminer les années caractéristiques et très caractéristiques pour la croissance, définies comme des années au cours desquelles on observe chez respectivement 70% et 80% des arbres une augmentation ou une diminution de la croissance de l'année par rapport à l'année précédente (fig. 19).

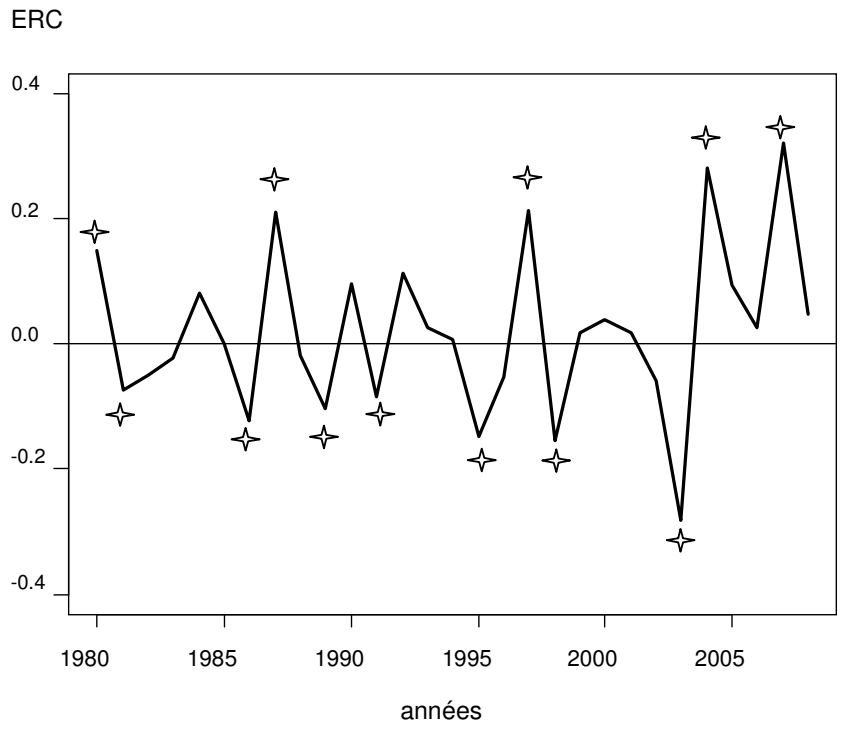


Figure 19 : Ecarts relatifs moyen de croissance pour chaque année moyennés pour les 450 douglas étudiés. Les années caractéristiques sont indiquées par des étoiles

Sur la période 1980 - 2008, 13 années sont caractéristiques ou très caractéristiques (en gras) :

- 5 correspondant à une augmentation de la croissance: 1980, 1987, 1997, 2004, **2007**

- 8 correspondant à une diminution de croissance : 1981, 1983, 1986, 1989, 1991, **1995**, **1998**, **2003**

La fréquence d'années caractéristiques est de 45%, ce qui est élevé. La réduction de croissance enregistrée en 2003 est la plus forte mesurée sur la période 1980-2008. Notons que les années consécutives à la tempête de 1999 (2000 et 2001) ne sont pas caractéristiques pour la croissance sur l'ensemble de l'échantillonnage.

3.4.3 Relation entre croissance et réserve utile des sols

La croissance radiale des arbres varie fortement en fonction de l'âge des arbres, et rend impossible la comparaison directe d'arbres issus de peuplements d'âges contrastés. Pour pouvoir comparer la croissance d'arbres d'âges différents, des indices de croissance ont été calculés pour chaque cerne de chaque arbre en fonction de l'âge cambial du cerne.

Les indices moyens de croissance ont été stratifiés selon trois classes de réserve utile (fig.20) :

Classe 1 - RU≤ 80 mm

Classe 2 - 80 mm< RU ≤ 120 mm

Classe 3 - RU ≥ 120 mm

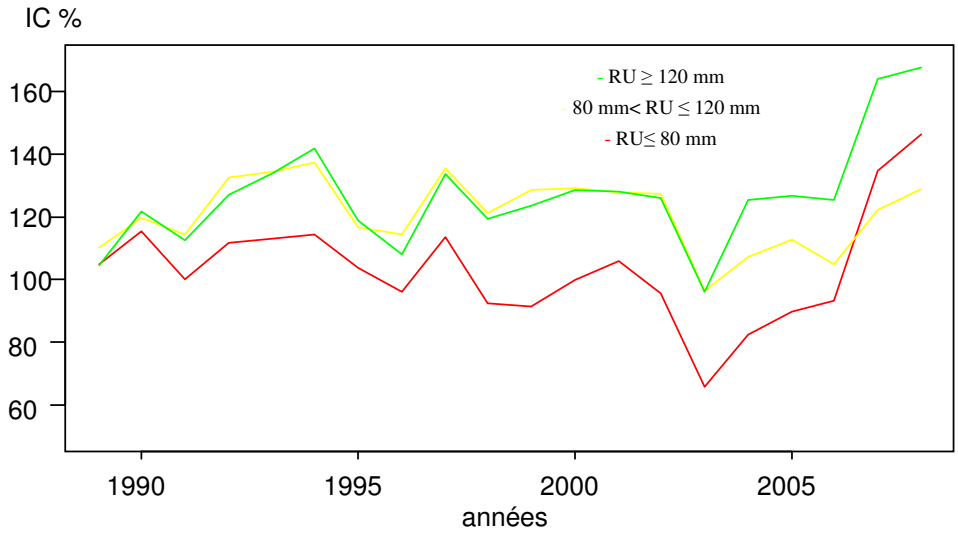


Figure 20 : Variation des indices de croissance radiale selon la classe de réserve utile

La croissance sur les placettes où les réserves utiles sont inférieures à 80 mm (Classe 1) est significativement plus faible depuis le début de la série chronologique. De 1988 à 2003, la croissance sur les placettes avec des réserves supérieures à 80 mm (classe 2 et 3) sont comparables. Après 2003, la croissance des placettes de la classe 2 est plus faible de celle de la classe 3 et une récupération du niveau de croissance plus lente. Pour la classe 1 on observe après 2006 une augmentation de la croissance, cette augmentation pourrait être expliquée par la réaction favorable des arbres aux éclaircies sanitaires qui ont eu lieu après 2003.

Eléments de conclusion et perspectives

Toutes les mesures de terrain et collectes d'échantillons (bois et sol) ont été effectuées au cours de l'année 2009 ; les analyses des prélèvements de sols et des données dendrochronologiques, les calculs de bilan hydrique sont en cours et seront terminés pour septembre 2010, avant cette date il n'est donc pas possible de conclure sur les facteurs de dépérissements ni sur les recommandations à faire aux propriétaires. Cependant une première synthèse des données obtenues et les tout premiers résultats des analyses dendroécologiques présentés dans ce rapport orientent vers un rôle majeur du bilan hydrique des années récentes des placettes. En effet, deux éléments vont en ce sens :

- les données sylvicoles indiquent un retard important d'éclaircie pouvant jouer négativement dans la consommation en eau des peuplements ; notons que les éclaircies sanitaires effectuées suite au dépérissement ont conduit à un rattrapage induisant un rapprochement avec les courbes de sylviculture préconisées.
- Les fosses ouvertes ont montré dans plusieurs cas des profils de sols difficiles pour le douglas avec des prospections racinaires limitées et des contraintes fortes (charges en cailloux, hydromorphie). Ces fosses ont permis de calculer de façon plus précise les réserves utiles sur les placettes où elles ont été ouvertes, et ont contribué à l'affiner les calculs sur l'ensemble des placettes de l'étude dendroécologique. Les premiers résultats montrent qu'une réserve utile faible est un facteur de vulnérabilité majeur et un déterminant clé pour la croissance radiale des arbres.

Il convient également de prendre en compte les variabilités géographiques et interannuelles de la demande climatique et de la pluviométrie. Ce travail, qui dépasse le cadre de la présente étude, est en cours, par modélisation rétrospective des bilans hydriques journaliers (Granier et al., 1999) de chaque peuplement, prenant en compte :

- la densité du peuplement et la largeur du bois d'aubier qui conditionnent l'indice foliaire du peuplement et donc ses besoins en évapotranspiration maximale,
- la réserve utile de chaque placette ainsi que la distribution des enracinements en fonction des grandes couches de sol à contraintes identifiées,
- la pluie et l'évapotranspiration potentielle quotidienne.

Ces éléments sont indispensables pour identifier des seuils de contrainte hydrique susceptibles d'induire successivement des pertes de productivité, des dépérissements et des mortalité de Douglas dans le contexte sylvicole et pédo-climatique de la Bourgogne.

Références citées

Alterre Bourgogne, (2010) Adaptation au changement climatique : évaluation de la réserve en eau des sols. Rapport technique, 50 pages**.**

Angelier A., (2007) Guide des sylvicultures Douglasaies françaises. ONF éditions.

Coureau B., (2009) Le dépérissement du douglas en Bourgogne suite à la sécheresse/canicule de 2003, Mémoire BTS, p.

Gérémia F., Nassau M. A. (2006) Le point sur le carottage mécanisé d'arbres vivants. Les Cahiers Techniques de l'INRA, Numéro spécial *Méthodes et outils pour l'observation et l'évaluation des milieux forestiers, prairiaux et aquatiques*, 83-86.

Granier A., Bréda N., Biron P., Viville S. (1999) A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. *Ecological Modelling*, 116, 269-283

Lebourgeois F., (1997) RENECOFOR - Etude dendrochronologique des 102 peuplements du réseau. Editeur : Office National de Forêts, Département des Recherches Techniques, ISBN 2-84207-075-5, 307 pages.

SRGS, Schéma régional de gestion sylvicole en Bourgogne - CRPF. 243 pages

Annexes

Annexe 1

Fiche de présélection des placettes N°

Généralités			
Localisation	Région IFN : Département : Commune : Lieu-dit : Position GPS :	Administratif	N° PSG : N° de parcelle : Propriétaire :

Descriptions			
Stationnelles	Altitude : Pluviométrie annuelle : Pente : Exposition :	Sylvicoles	Age / date de plantation : Surface terrière : Eclaircie /coupe sanitaire depuis 2003 :

Dépérissement													
Observation de 30 arbres													total
S : arbre sain												S	
D : arbre dépérissant												D	
M : arbre mort												M	
Présence de gourmands :													
Présence de fentes :													

Autre
Peuplement touché par la tempête 99 :
Observations :

Centre Régional de la Propriété Forestière Bourgogne

INRA Institut National de la Recherche Agronomique

Annexe 2

Etude de dépérissement du Douglas en Bourgogne:
Historique de gestion

Références :

Placette : N° PSG :

Localisation :

Numéro de Parcelle :

Référence parcelle cadastrale :

Nom : ……..

Prénom : ……..

□ Propriétaire □ Gestionnaire □ Expert

Plantation

- Statut de la parcelle avant plantation :
  - □ Forêt de feuillus : type : □ futaie □ taillis □ taillis sous futaie
    essence : ……...
  - □ Plantation de résineux : essence ……..
  - □ Parcelle cultivée
  - □ Parcelle pâturée
  - □ autre …….....

- Travaux préparatoires : □ préparation du terrain au bull □ billonnage
  □ labour □ ripage
  □ mise en andain □ broyage
  □ autre ……

- Date ou année de plantation et période : …….

- Superficie de la plantation : …….

- Origine des plants : - Nom de la Pépinière :……
  - Provenance des plants :
    - □ Américaine - Nom de la provenance :…….
    - □ Française - Nom de la provenance : ……...
    - □ Inconnue

- Densité de plantation ou nombre de tige / hectare : ……..

- Mode de plantation : □ potet travaillé □ coup de pioche □ autre ……

- Protection contre le gibier : □ oui □ non

.../...

Devis établi par l'entreprise SYLVAR pour les fosses des placettes 16 et 18

SYLVAR
Artisan Sylviculteur

La BARRE
58110 ROUY

Tel/Fax : 03 86 60 28 36
Mail : michel.lable@orange.fr
Site : www.sylvar.net

DEVIS en Euros

lundi 20 juillet 2009

CRPF de BOURGOGNE

2, quai Sainte Marie

71100 ***CHALON SUR SAONE***

Date de validité : ***18/10/2009***
Délai de livraison: ***20/07/2009***

Création de fosses pédologiques

Devis N° D0933

Désignation	Quantité	PU HT	Montant HT	TVA
- Biches (58) - Limon (58)				
Création de fosses pédologiques de 2m à la mini-pelle de 3t500 (non compris la remise en état)	2,00	200,00	400,00	2

Montant HT	TVA	Montant TVA
400,00	19,60 5,50	22,00

Tva intracom : FR 484281464
Naf: 0210Z
Siret: 48428146400012

Mode d'expédition du devis :
Par mail

Devis gratuit. Les prix TTC sont établis sur la base des taux de TVA en vigueur à la date du devis. Toute variation de ces taux sera répercutée sur les prix TTC.
En souhaitant que ces conditions retiendront votre attention, nous vous prions de bien vouloir nous retourner un exemplaire de ce devis avec la mention "Bon pour accord" et votre signature ou un bon de commande.

Entreprise qualifiée QUALI-TF

Total brut HT :	400,00
Remise :	
Net HT :	**400,00**
Frais de port :	
Escompte :	
Total taxes :	22,00
Divers TTC :	
Acompte :	
Règlement reçu :	
NET A PAYER	**422,00**

Annexe 4

Etude de dépérissement du Douglas en Bourgogne: Protocole pour l'ouverture des fosses pédologiques

Caractéristiques des fosses pédologiques

La profondeur : variable selon les placettes, elle est conditionnée par l'apparition d'obstacles non déplaçables (roche compacte). Cependant pour des raisons de sécurité elle ne drevra pas excéder 2 mètres.

La largeur : 0,80 m minimun

La longueur : 2 m + une pente d'accès

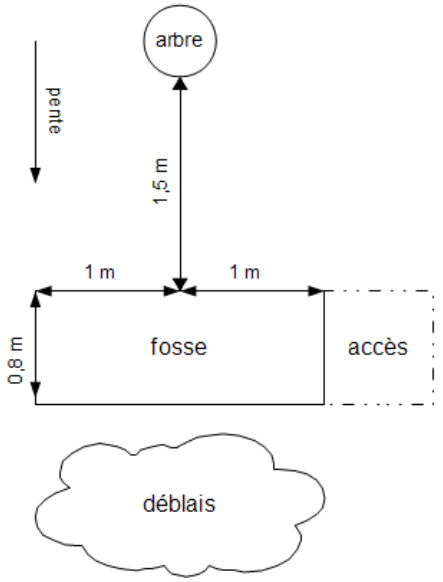
Distance avec l'arbre : 1,5 m maximun

La face située vers l'arbre devra être bien verticale et uniforme.

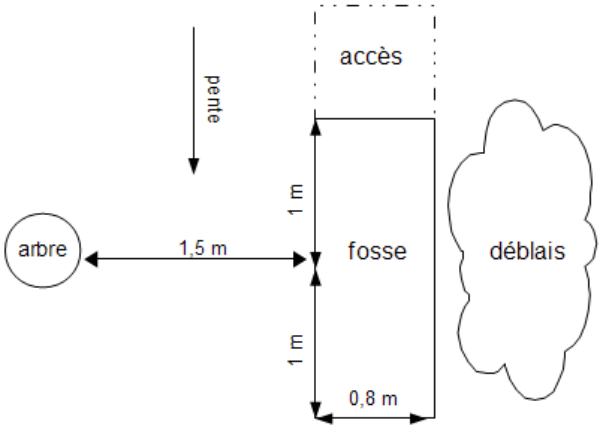
Les déblais devront être déposés derrière la fosse.

Localisation de la fosse :

- Pente faible

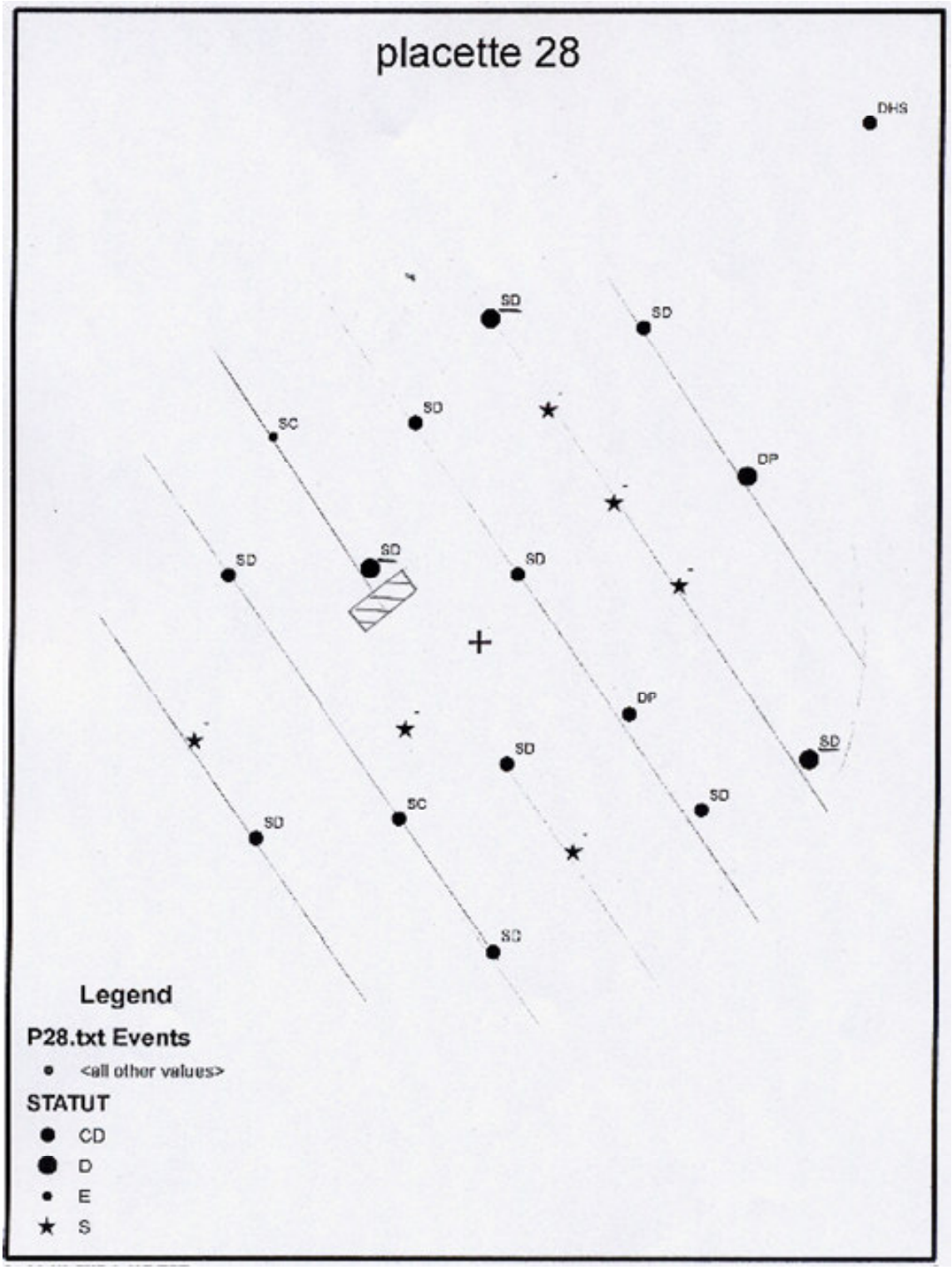


- Pente forte



Annexe 5

Plan de la placette n°28 et localisation de la fosse pédologique



CD : arbre codominant ; D : arbre dominant ; E : arbre dominé ; S : souche récente
SD : arbre sain à houppier dense ; SC : arbre sain à houppier clair ; DP : arbre dépérissant

Annexe 6

Etude de dépérissement du Douglas en Bourgogne: Données issues des relevés dendrométriques, sanitaires, floristiques et pédologiques

Références administratives

Placette : **Propriétaire :**

N° PSG :

Référence parcelle cadastrale :

Numéro de Parcelle Forestière :

Localisation

Département : **Coordonnées GPS** : E

Région IFN : N

Commune :

Lieu-dit :

Données stationnelles

Superficie de la placette	
Pente	
Altitude	
Exposition	
Topographie	
Pédo-paysage de référence (Source : STB)	

Données dendrométriques

Age (aménagement)	
Circonférence moyenne	
Hauteur dominante	
Nombre de tiges sur la placette	
Densité estimée	
Surface terrière	
Site Index : Hauteur à 50 ans (Source : ONF)	

Données géologiques et pédologiques

Lithologie simplifiée (source : carte lithologique - 1/1 000 000 ème – BRGM)	**Géologie** (Source : carte géologique - 1/50 000 ème –BRGM)	**Type de Sol** (Source : STB)

*STB : base de données Sols et territoires de Bourgogne
BRGM : Bureau de recherches géologiques et minières