



HAL
open science

Evaluation et homologation de variétés issues des vergers à graines de l'Etat - Programme 2011

Gwenaël Philippe, Patrick Baldet, Stéphane Matz, Frédérique Santi, Brigitte Demesure-Musch, Sabine Girard

► **To cite this version:**

Gwenaël Philippe, Patrick Baldet, Stéphane Matz, Frédérique Santi, Brigitte Demesure-Musch, et al.. Evaluation et homologation de variétés issues des vergers à graines de l'Etat - Programme 2011. [Contrat] 2012. hal-02806053

HAL Id: hal-02806053

<https://hal.inrae.fr/hal-02806053>

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.

CENTRE DE NOGENT-SUR-VERNISSON

Evaluation et homologation de variétés issues des vergers à graines de l'Etat Programme 2011

RAPPORT FINAL

Convention DGPAAT/Cemagref/INRA/ONF/
CNPFF suf IDF n°E08/2011

FEVRIER 2012

Coordination : G. Philippe
Irstea : G. Philippe, P. Baldet, S. Matz
INRA : F. Santi (coord.)
ONF : B. Musch (coord.)
CNPFF : S. Girard (coord.)

DEPARTEMENT GESTION DES TERRITOIRES
UNITE DE RECHERCHE ECOSYSTEMES
FORESTIERS
DOMAINE DES BARRES
45290 NOGENT-SUR-VERNISSON
Tél. 02 38 95 03 30 – Fax 02 38 95 03 46

Pour mieux affirmer
ses missions,
le Cemagref
devient Irstea



RESUME

Ce rapport présente les actions entreprises de mars 2011 à mars 2012 par Irstea, l'INRA, l'ONF et le CNPF dans le cadre de l'évaluation des variétés issues des vergers à graines de l'Etat. Elles concernent 6 espèces – Douglas, mélèzes, pins laricio et sylvestre, merisier, frêne – et un thème transversal qui consiste à identifier des techniques susceptibles de caractériser l'état physiologique des arbres de différentes espèces/provenances. Dans un premier temps, l'accent est mis sur les applications possibles de la télédétection.

Douglas

Création d'un réseau d'évaluation de vergers

Irstea, l'ONF, l'INRA et le CNPF se sont mobilisés pour mettre en place un réseau national de dispositifs destiné à évaluer les performances des 8 vergers de Douglas français. Les installations, initiées en 2009, se sont poursuivies en 2011. Le réseau s'est enrichi de deux nouveaux essais plantés au printemps dans le cœur de l'aire (ONF) et en altitude (Irstea).

Le programme d'installation, décidé en 2008 lors de la réunion de lancement du projet, est à présent achevé. Le réseau est à présent constitué de 17 dispositifs d'évaluation (12 mono-arbres et 5 dispositifs en grandes parcelles unitaires) et 10 tests de démonstration, soit 27 essais au total. Irstea, l'ONF, le CNPF et l'INRA contribuent respectivement pour 8, 7, 10 et 2 essais.

Type de milieu	Dispos expérimentaux		Tests de démo
	grandes p.u.	mono-arbres	
Cœur de l'aire	2 (ONF)	3 (Irstea)	3 (CNPF)
Altitude		2 (Irstea) + 2 (ONF)	2 (CNPF)
Marge 1	1 (Irstea) + 1 (ONF) + 1 (CNPF)	1 (Irstea) + 1 (ONF)	4 (CNPPF)
Marge 2		1 (Irstea) + 1 (INRA) + 1 (ONF)	1 (INRA)

En outre, deux dispositifs comparant les variétés La Luzette et Californie, pures et en mélange, auront été installés aux Barres (2009) et en FD des Battées (2012). Des placeaux purs de ces deux provenances ont également été plantés dans deux sites en 2011 par le CNPF.

Dans l'ensemble, l'état des dispositifs est satisfaisant puisque 24 d'entre eux ont une mortalité inférieure à 20%. On déplore néanmoins la perte de deux tests : i) Taravant qui a subi deux attaques d'hylobes et qui ne mérite pas d'être conservé malgré le regarni de 2011 (taux de mortalité supérieur à 60%) et ii) Colle du Rouet, planté dans des conditions pédo-climatiques très difficiles, mais qui aura cependant fourni des informations avant son abandon. Une ré-installation est à l'étude sur ce site très "discriminant". Enfin, deux dispositifs ont subi des dégâts importants mais continuent néanmoins à être suivis : Les Barres qui a été regarni et Anglès.

Des mesures de hauteur ont été prises régulièrement dans la majorité des sites. La variété californienne se caractérise par une faible vigueur initiale dans tous les milieux. Si l'on

excepte Darrington, relativement peu vigoureuse, les autres variétés ont généralement une croissance supérieure au témoin de l'aire naturelle (seed zone Washington 403) mais leur classement varie d'un site à l'autre et les différences sont rarement significatives. L'analyse multi-site qui sera réalisée à l'issue de la 5^{ème} année sur le terrain fournira des informations plus précises sur la croissance juvénile, la forme et sur la relation performances x milieu.

Contrairement à la croissance, la tardiveté de débournement est un caractère qui peut être évalué de façon fiable dans le jeune âge. Les notations réalisées dans le Morvan au printemps 2011 confirment la hiérarchie établie l'année précédente et, surtout, permettent de classer le verger Washington par rapport aux 7 autres vergers français. Il se situe dans le groupe de La Luzette et Washington 2, c'est-à-dire parmi les provenances tardives, moins sensibles aux gels de printemps. En définitive, 4 vergers de l'Etat apportent une amélioration sur ce caractère par rapport au témoin Washington 403 : Washington 2, La Luzette, Washington et, à un degré moindre, Darrington.

Les plants sont aussi particulièrement vulnérables aux gelées d'automne, susceptibles d'occasionner des dégâts importants lorsque les pousses ne sont pas complètement aoûtées. Compte tenu des risques encourus, il est important de pouvoir classer les variétés françaises en fonction de leur sensibilité. Malheureusement, le degré d'aoûté des pousses est difficile à déterminer et l'étude de ce caractère se heurte à des problèmes méthodologiques. En 2011, Irstea et l'INRA ont cherché à lever ce verrou en contactant différents organismes de recherche et en menant une étude bibliographique. Deux méthodes s'avèrent potentiellement intéressantes : i) l'observation visuelle des dégâts sur pousses (éventuellement bourgeons et aiguilles) après passage à une ou des températures provoquant des dégâts "intermédiaires" (30%-70% de tissus endommagés) et ii) la détermination de LT50 par des mesures de conductivité. La seconde, qui présente l'avantage d'être maîtrisée par une équipe de l'INRA (PIAF, Clermont-Ferrand), a fait ses preuves sur certaines espèces feuillues. Des tests préliminaires seront réalisés sur Douglas à l'automne 2012, en collaboration avec l'INRA de Clermont-Ferrand.

Un gros effort de communication a été fait en 2011. Les objectifs, l'état d'avancement et les premiers résultats de ce réseau ont été présentés à divers publics et sous diverses formes : article dans une revue technique, présentation d'un poster dans un colloque international, communications orales dans des assemblées de chercheurs et/ou des représentants de la filière bois.

Si le réseau est à présent conforme au schéma imaginé lors du lancement du projet, il n'en a pas pour autant atteint sa configuration définitive. De larges parties du territoire national ne sont pas couvertes alors même que le Douglas y est largement cultivé ou qu'il est appelé à se développer rapidement. Lors d'une réunion organisée à l'initiative de l'ONF et du CRPF Franche-Comté, les partenaires du réseau se sont donc prononcés en faveur d'une extension du réseau dans le nord-est et le nord-ouest de la France. Avec l'aide du GIE "semences forestières améliorées", Irstea et l'INRA ont d'ores et déjà mobilisé des lots de graines des vergers, en veillant à ce qu'ils soient le plus représentatifs possible de la diversité génétique des matériels de base. Un semis est programmé début 2013, ce qui permettrait à l'ONF et au CNPF d'implanter les premiers dispositifs au printemps 2014.

Préparation d'un essai en conditions semi-contrôlées

Deux actions ont été menées en parallèle : l'aménagement d'une serre hébergeant autrefois un verger sous serre (remplacement des vitres, changement des systèmes de commande électrique des ouvrants, création d'une nouvelle adduction d'eau) et le conditionnement de plants de Douglas dans des caisses métalliques (Lxlxh : 145 cm x 110 cm x 78 cm) transférées sous serre. L'essai vise à étudier le comportement des variétés La Luzette et Californie confrontées à trois ambiances climatiques : 1) température et pluviosité naturelles, 2) chaleur et pluviosité estivale modérée, 3) chaleur et forte restriction d'eau. Ces trois régimes climatiques seront appliqués en 2012.

Performances des vergers Darrington et La Luzette 10-20 ans après plantation

Des mesures de hauteur/circonférence ont été effectuées 12-14 ans après plantation dans dix essais gérés par l'ONF et Irstea. Les résultats permettront de conforter, à un âge plus avancé, les recommandations faites aux reboiseurs.

D'autre part, des mesures indirectes de densité du bois ont été prises par l'INRA dans deux tests de descendances du verger Darrington. En moyenne, les familles sont proches de la provenance Sauk River, originaire de la seed zone 403 (Etat du Washington) pour la densité du bois et la vigueur. Elles lui sont sensiblement supérieures pour la branchaison, mais inférieures en revanche pour la fourchaison.

L'INRA a étudié l'impact de divers scénarios d'éclaircie génétique sur la croissance, la densité du bois, la branchaison et la fourchaison. Malgré des différences nettes entre moyennes de familles, une amélioration significative des performances du verger Darrington ne pourrait s'envisager que par une éclaircie vigoureuse, réduisant fortement la base génétique du verger. Celle-ci étant déjà limitée puisqu'il est composé de 70 clones, sans doute serait-il plus raisonnable d'éliminer les 10 clones qui engendrent les familles les plus fourchues. Cette éclaircie amènerait les produits du verger au niveau de la provenance témoin de l'aire naturelle pour ce caractère.

Evaluation des composants du verger "Californie"

Deux tests de descendances des clones constitutifs du verger à graines californien ont été plantés par l'INRA en mars 2011 : l'un dans l'Aude (Fourtou, 96 descendances), l'autre en Haute Vienne (St Junien la Bregère, 48 descendances). Ils incluent divers lots de vergers de Douglas français comme témoins. Après une saison de végétation, le taux de survie était excellent dans les deux sites (95% et 97%). L'information générée par ces tests de descendances permettra, à terme, d'améliorer la qualité du verger existant via une éclaircie génétique et d'identifier du matériel performant pour un futur verger d'origine "Californie".

Mélèze

Dans le cadre d'une collaboration avec l'INRA, Irstea a étudié les performances et le devenir après éclaircie des individus hybrides et d'espèces pures de quatre variétés "hybrides" implantées dans un dispositif du Limousin (La Courtine). Dans toutes les variétés, les hybrides, qui représentent de 12% à 90% de l'effectif, sont plus vigoureux que les espèces

pures. Cependant, le différentiel de croissance est beaucoup plus important pour le couple FH201 - Esbeek que pour Halle et Maglehem. Cette différence de comportement est essentiellement due au fait que les Européens des deux premières variétés présentent une très faible croissance. Ce dernier point est sans doute à relier aux possibilités d'autofécondation, et donc au nombre de clones maternels. En revanche, les deux groupes d'individus ne diffèrent pas significativement pour la rectitude du tronc.

La simulation d'éclaircies montre que le peuplement s'enrichit en hybrides si on met l'accent sur la production de bois. En revanche, le taux d'hybrides évolue peu si l'on privilégie la forme, et ceci quelle que soit la variété. Les corrélations forme x vigueur étant faibles et non significatives dans toutes les variétés, une sélection intégrant ces deux caractères se traduira par une augmentation de niveau intermédiaire, plus ou moins proche de l'un ou l'autre selon la pondération choisie. On note cependant que le taux d'hybrides reste faible pour Halle et Maglehem, même en cas de sélection sur la vigueur (23% et 58% respectivement à l'issue de la 3^{ème} éclaircie), alors que les placettes FH 201 et Esbeek ne sont plus constituées que d'hybrides. En définitive, l'impact du taux d'hybrides dans les MFR dépend de deux facteurs : la stratégie du propriétaire (objectif vigueur ou forme) et la variété considérée (différentiel de croissance entre hybrides et espèces pures).

Enfin, nos calculs montrent que le classement des quatre variétés n'est que peu influencé par leur taux d'hybrides. La hiérarchie établie jusqu'à présent en mesurant tous les arbres, sans connaître leur identité taxonomique, reste donc valide. Cependant, il en irait tout autrement si une variété était dotée à la fois d'un faible pourcentage d'hybrides et d'hybrides beaucoup plus vigoureux que les espèces pures.

En raison de la très grande facilité et vitesse d'acquisition des spectres et de son faible coût, la spectrométrie infra-rouge est potentiellement intéressante pour identifier les différents taxa de mélèze et, *in fine*, déterminer le taux d'hybrides d'une population à partir de n'importe quel type de matériau (aiguille, graines, bois). Les premiers résultats de l'INRA, obtenus sur aiguilles, sont encourageants puisqu'ils démontrent la possibilité de distinguer les deux espèces parentes à partir de leurs spectres en infrarouge. En revanche, les hybrides présentent un spectre intermédiaire et sont plus difficiles à classer. Des essais complémentaires seront réalisés en 2012, avec des aiguilles récoltées à différentes périodes et en élargissant la gamme de clones représentant les trois taxa.

La production de graines de mélèze hybride de 1^{ère} génération reste aléatoire malgré les progrès réalisés en supplémentation pollinique. Une solution séduisante serait de produire des variétés hybrides F2 par pollinisation naturelle, dans des vergers d'hybridation constitués de géniteurs hybrides F1. Il importe au préalable de vérifier la pertinence de ces croisements, tant du point de vue "qualité physiologique des graines" que du point de vue "performances des hybrides F2". Dans cette perspective, L'INRA a réalisé un semis à partir des graines de 35 clones composant le verger F1 de Carnoët. Ce matériel permettra d'installer un ou deux tests de descendance.

Pin sylvestre

Des mesures de croissance et de forme ont été effectuées par l'INRA dans cinq tests de descendance des vergers Taborz et Haguenau. La ré-évaluation des performances des familles, à l'âge de la première éclaircie, est donc achevée pour 13 des 15 tests de descendance installés. Les résultats de l'analyse multi-site programmée en 2012 permettront

une valorisation de ces vergers via une accession à la catégorie testée. Par ailleurs, les données recueillies permettront d'évaluer par simulation l'intérêt de nouvelles éclaircies génétiques.

Merisier

Les descendances individualisées des vergers à graines de merisier « Cabrerets » et « Avesac » ont été prétraitées, élevées et étiquetées. Cinq plantations en forêt et en agroforêt ont été réalisées selon la méthode de sélection participative, avec des protocoles diversifiés. Des contacts ont été établis pour des plantations 2012. En particulier, un partenariat s'organise pour des plantations en forêt soumise.

Frêne

Un dispositif de comparaison de provenances a été mesuré. Les autres tests du réseau suivront dans le cadre d'un programme de travail pluri-annuel.

Tests indirects : télédétection

Les travaux d'Irstea se sont concentrés sur la segmentation d'images afin de tirer le meilleur parti des photographies aériennes prises en 2009 au-dessus de plusieurs dispositifs du Domaine des Barres. Les méthodes de "classification" ont pour but d'agréger des pixels en régions homogènes pouvant être identifiées et traitées individuellement comme par exemple les houppiers des arbres en contraste avec le sol. Ces travaux de faisabilité ont été réalisés sur quatre dispositifs, de pins noirs, merisier et mélèze hybride.

De très nombreuses combinaisons d'analyses existent et seule une part a été explorée ; des résultats pertinents ont toutefois été obtenus en particulier sur le dispositif de pins noirs où les origines de Laricio de Corse se distinguent des Calabre. Le mélèze hybride est par contre plus difficile à classifier par rapport au sol en raison du faible contraste de son feuillage, des calculs d'aires ont néanmoins pu être réalisés.

Cette première étude de classification nous a permis d'explorer un nouveau potentiel d'analyse des images de la télédétection à très haute résolution ; ces nouveaux produits d'analyse concourent favorablement au ratio coûts bénéfices d'une opération de prises de vues aériennes.

PARTICIPANTS

Irstea

- Gwenaël Philippe, Stéphane Matz, Patrick Baldet, Vincent Bourlon, Aurélien Brochet, Eric Collin, Pascal Croizet, Hilaire Martin, Vincent Seigneur, Francis Dromacque (GeeDAAF, Nogent-sur-Vernisson)
- François Montagnon et Sébastien Guérinet (pépinière de l'Etat de Peyrat-le-Château)
- Josette Courtiol et Christian Blazy (ONF vergers à graines de l'Etat)
- Céline Puech (ONF Rochefort-Montagne)
- Philippe Latour (Société Forestière de la Caisse des Dépôts)

INRA

- Frédérique Santi, Jean-Charles Bastien, Catherine Bastien, Luc Pâques, Arnaud Dowkiw, Jean Dufour, Dominique Veisse, J.P. Charpentier, K. Ader, Jonathan Migeot (Orléans)
- Denis Vauthier (Avignon)

ONF

- Brigitte Musch (DTCB, CGAF Orléans)
- Thierry Quesney, Jean Ladier, Charles Tessier (DTCB, R&D Avignon)
- Bruno Chopard, Jean-Michel Fargeix (DTCB, R&D Dole)
- Nicolas Gomez (DTCB, R&D Nancy)
- Thibaud Lombart (DTCB, R&D Compiègne)

CNPPF

- Sabine Girard, Christophe Vidal et Gregory Sajdak (SUF CNPPF, Lyon)

Pépinière de l'Etat d'Aix-en-Provence

- Patrice Brahic et le personnel de la pépinière.

SOMMAIRE

	Pages
<u>DOUGLAS</u>	10
I- RESEAU D'EVALUATION DES VERGERS FRANÇAIS	10
1- Installation de dispositifs (printemps 2011)	10
1.1- Saulieu	10
1.2- La Versanne	12
2- Performances des variétés	13
2.1- Survie, état sanitaire, croissance	13
2.1.1.- Cœur de l'aire	13
2.1.1.1.- <i>St Junien-la-Brégère</i>	13
2.1.1.2.- <i>Peyrat-le-Château</i>	16
2.1.1.3.- <i>Taravant</i>	20
2.1.1.4.- <i>Sémelay</i>	21
2.1.1.5.- <i>Saulieu</i>	24
2.1.1.6.- <i>St Agnant-près-Crocq</i>	30
2.1.1.7.- <i>Autun</i>	30
2.1.1.8.- <i>Meaux-la-Montagne</i>	32
2.1.2.- Altitude	33
2.1.2.1.- <i>Murat</i>	33
2.1.2.2.- <i>Soussat</i>	33
2.1.2.3.- <i>Guéry</i>	38
2.1.2.4.- <i>La Versanne</i>	42
2.1.2.5.- <i>St Sauveur de Peyre</i>	46
2.1.2.6.- <i>Montregard</i>	47
2.1.3.- Marge 1	48
2.1.3.1.- <i>Les Barres</i>	48
2.1.3.2.- <i>Le Faou Petit</i>	54
2.1.3.3.- <i>Valsonne</i>	58
2.1.3.4.- <i>Avant-Monts</i>	60
2.1.3.5.- <i>Gardons</i>	61
2.1.3.6.- <i>Pressy-sous-Dondin</i>	62
2.1.3.7.- <i>La Tagnière</i>	63
2.1.3.8.- <i>Anglès</i>	64
2.1.3.9.- <i>Fraysse-sur-Agout</i>	65
2.1.3.10.- <i>Les Barres</i>	65
2.1.4.- Marge 2	69
2.1.4.1.- <i>Haute-Serre</i>	69
2.1.4.2.- <i>Fourtou</i>	72
2.1.4.3.- <i>Colle du Rouet</i>	72
2.1.4.4.- <i>Fourtou</i>	74
2.2- Débourrement	75
2.2.1.- <i>Sémelay</i>	75

2.2.2.- Guéry	77
2.2.3.- Montregard	77
2.3- Evaluation de la résistance aux gelées précoces	78
3- Référencement des essais du réseau dans la base de données Treebreedex	86
4- Communication	86
5- Conclusion	88
II- MESURES DANS DES DISPOSITIFS AGES	89
1- Dispositifs homologues ONF-Irstea	89
1.1- Tests gérés par Irstea	89
1.2- Tests gérés par l'ONF	90
1.2.1.- Homol	90
1.2.2.- Le Goulet	90
1.2.3.- Val de Senones	96
2- Dispositifs en grandes parcelles unitaires	101
2.1- Larfeuil	101
2.2- Aigoual	101
2.3- Croix de Bor	101
2.4- Hazelles	111
3- Densité du bois des descendances du verger Darrington	120
3.1.- Circonférence	120
3.2.- Pénétrromètre Pilodyn	121
3.3.- Autres caractères	121
3.4.- Conclusion	123
4- Plantation de deux tests de descendances du verger Californie	124
5- tests en conditions semi-contrôlées	125
<u>MELEZE</u>	128
I- PERFORMANCES DE VARIETES HYBRIDES	128
1- Variétés hybrides F1	128
1.1.- Dispositifs de Brenod et Arleuf	128
1.2.- Influence du taux d'hybrides sur les performances de 4 variétés (La Courtine)	128
1.2.1.- Rappel du contexte	128
1.2.2.- Performances des hybrides et espèces pures	129
1.2.2.1.- Halle 2	129
1.2.2.2.- Maglehem	131
1.2.2.3.- FH 201	133
1.2.2.4.- Esbeek	135
1.2.3.- Comparaison des hybrides des 4 variétés	138
1.2.4.- Evolution du taux d'hybrides au fil des éclaircies	139
2- Variétés hybrides F2 : évaluation du verger de Carnoët	140
II- IDENTIFICATION SPECIFIQUE PAR SPECTROMETRIE IR	141

<u>PINS NOIRS</u>	146
<u>PIN SYLVESTRE</u>	148
Evaluation des composants des vergers Taborz et Haguenau	148
Préparation de nouveaux tests d'évaluation	148
<u>MERISIER</u>	149
Prétraitement de graines de vergers, semis, élevage des plants	149
Elevage des cultivars	150
Etablissement des protocoles de plantation en système participatif	150
Plantations d'évaluation de variétés	150
<u>FRENE</u>	152
<u>TELEDETECTION</u>	153
I- LE PROCESSUS DE CLASSIFICATION D'IMAGES	153
1- Principe et objectifs	153
2- Les grands modèles de classification ou « segmentation »	153
II- LES ESSAIS DE CLASSIFICATION	155
1- Préambule	155
2- Essais de classification par vraisemblance maximale	155
III- LES DISPOSITIFS DE TERRAIN	157
1- Essai 15 origines de pins noirs	157
2- Dispositif agronomique "enclos des pins"	158
3- Dispositif merisiers	158
4- Verger de mélèze hybride F1	159
III- RESULTATS	160
1- Verger de merisier	160
2- Dispositif pins noirs 15 origines	161
3- Dispositif agronomique "enclos des pins"	164
3.1.- Analyse des histogrammes de distribution des valeurs des différents spectres	164
3.2.- Essais de classification	164
4- Verger de mélèze hybride F1	167
4.1.- Essai de classification sur parcelle non détournée	167
4.2.- Effets du nombre de classes choisi lors du processus de classification	168
4.3.- Essai de classification sur verger découpé	169
CONCLUSION	172

DOUGLAS

RESEAU D'EVALUATION DES VERGERS FRANÇAIS

(Irstea, ONF, INRA, CNPF)

Les objectifs et spécificités du réseau d'évaluation (milieux cibles, nombre et types de dispositifs, partenariat) ont été détaillés dans le rapport d'activité de février 2009 (pp 1-25).

1- Installation de dispositifs (printemps 2011)

1.1- Saulieu (EV_DF_2011.02 – cœur de l'aire – ONF)

1.1.1.- Caractéristiques du site

Localisation géographique : FD de Saulieu (parcelle 20) située sur la commune de Saulieu (Côte d'or), lieu-dit "Bois de Brénil", gérée par l'ONF – longitude : 4°12'43'' E ; latitude : 47°17'29'' N - altitude : 580 m.

Climat (données Aurelhy) : température moyenne annuelle : 9.3°C – pluviométrie annuelle : 980 mm ; 376 mm pendant la saison de végétation (mai-sept).

	janv	fév	mars	avril	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
T(°C)	1,30	2,45	4,90	7,95	12,10	15,45	17,95	17,30	14,50	10,35	4,90	2,15
Pluvio	95	86	78	68	89	79	62	72	74	81	96	100

Topographie: pente faible < 5% (plateau) – exposition E

Roche mère : granite à deux micas

Pédologie : sol brun acide profond (> 80 cm) sur arène sablo-argileuse sans facteur limitant pour le Douglas (en particulier, absence d'hydromorphie) – Humus de type mull oligotrophe ou mull moder - Texture LAS (couleur noire puis brune) sur les 50-60 premiers cm, puis AS (avec parfois éléments grossiers, couleur brun-jaune) sur 10 cm. Au-delà de 80 cm (profondeur de sondage à la tarière pédologique), la charge en cailloux semble élevée.

Végétation : ronce, sureau, framboisier, fougère aigle.

Facteurs limitants : fertilité moyenne (sol filtrant, assez pauvre en éléments minéraux) et nombre de jours de gel important (87 j/an).

Antécédent culturel : futaie régulière de sapin pectiné, très fortement mitée à la tempête de 1999 et endommagée par la canicule de 2003.

1.1.2.- Caractéristiques du dispositif

Le dispositif est constitué de 36 parcelles unitaires (9 provenances x 4 blocs), chacune contenant 48 individus (1728 individus au total). Il vise à comparer les vergers Darrington (récolte 2008), Luzette éclairci (récolte 2007), France 1 (récolte 2007), France 2 (récolte 2007), France 3 (récolte 2007), Californie (récolte expérimentale 2007), Washington (récolte 2008), Washington 2 (récolte 2007) et la seed zone Washington 403 (mélange de millésimes) qui fait office de témoin.

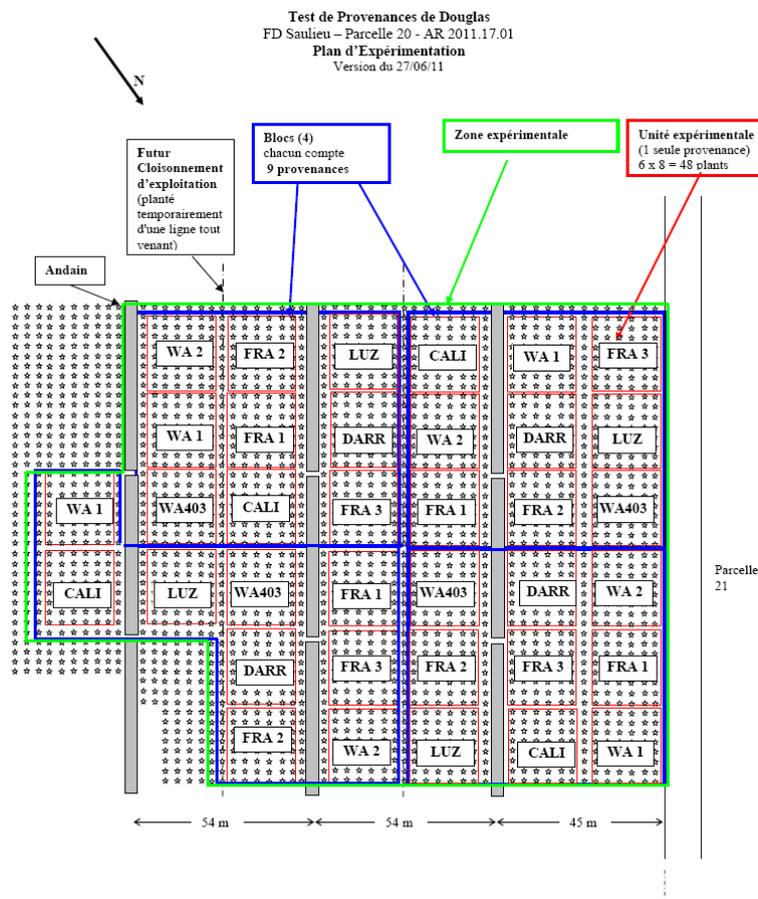
Le dispositif est bordé par une plantation de Douglas de 20 ans (SE), un peuplement de sapin pectiné de 45-50 ans (SO et NE) et une plantation de Douglas de 2 ans (NO). Il n'est pas enclos car i) la pression de gibier est modérée (6-7 chevreuils/100 ha, absence de cerf et de sanglier) et ii) l'essai est inclus dans un reboisement de Douglas de grande surface, ce qui dilue les risques.

Pour limiter les effets de bordure, au sud Est et au sud Ouest, les parcelles unitaires du dispositif sont entourées de plants de bourrage élevés à la pépinière de l'Etat d'Aix-en-Provence. Des plants de bourrage sont également utilisés à l'emplacement des futurs cloisonnements d'exploitation (cf. plan de l'expérimentation). Les 768 plants en question proviennent des vergers Washington (32), Washington 2 (114), Luzette non éclairci (14), Luzette éclairci (128), France 2 (32), France 3 (32), Californie (288 plants issus de l'élevage destiné aux tests de descendance INRA) et du parc à clones PC24 de l'INRA d'Orléans (128).

Préparation du terrain avant plantation : dessouchage puis mise en andain (48 m d'entre-axe) à la pelle mécanique.

Plantation

Plants de deux ans élevés en conteneurs (WM de 600 cm³) à la pépinière de l'Etat d'Aix-en-Provence – piquetage et plantation les 28 et 29 mars 2011, à 3 m x 3 m (1111 plants/ha).



1.2- La Versanne (EV_DF_2010.01 - altitude - Irstea)

1.2.1- Caractéristiques du site

Localisation géographique : terrain privé situé sur la commune de La Versanne (Loire), lieu-dit "Pâtural de Monteux", parcelle 1150 (partie), appartenant au groupement forestier de Monteux – longitude 4°30'20''E - latitude 45°19'59''N - altitude : 1220 m.

Climat (données Aurelhy) : température moyenne annuelle : 6.5°C – pluviométrie annuelle : 1074 mm ; 465 mm pendant la saison de végétation (mai-sept).

	janv	fév	mars	avril	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	déc
T(°C)	-0.85	-0.25	1.60	4.55	8.65	12.10	15.10	14.55	11.90	7.95	2.70	0.00
Pluvio	76.8	69.2	77.8	96.1	123.0	91.3	76.6	88.0	86.0	111.2	92.4	85.2

Topographie: situation générale : milieu de pente - pente de 15% – exposition E-NE.

Roche mère : granitique

Pédologie : humus de type moder, sol de profondeur > 70-80 cm. Les sondages à la tarière montrent la présence de trois horizons :

- 0-10 cm, texture limoneuse, couleur noire
- 10-20 cm, texture limono-sableuse, couleur 7.5YR4/3
- 20-80 cm, texture limono-argileuse, couleur 10YR3/3, charge en cailloux de 20%.

Végétation (avant exploitation du peuplement) : sorbier, alisier, myrtille, callune, genêt.

Antécédent culturel : peuplement d'épicéa.

Le terrain dédié à l'essai est bordé par des peuplements d'épicéa (S, E, W) et de hêtre (N).

Gibier : pression importante (10 chevreuils/100 ha). Cependant, pour des raisons paysagères (site très fréquenté par les amateurs de randonnées et de ski de fond), la pose d'une clôture est proscrite. Les plants ont donc été protégés par des piquets de châtaignier (3 piquets/plant).

1.2.2- Caractéristiques du dispositif

- Le dispositif, de type mono-arbre, est constitué de 96 blocs. Il vise à comparer les vergers Darrington (récolte 2008), Luzette éclairci (récolte 2007), France 1 (récolte 2007 sans pollution pollinique), France 2 (récolte 2007), France 3 (récolte 2007), Washington (récolte 2008), Washington 2 (récolte 2007), Californie (mélange de descendances de 79 familles) et la seed zone Washington 403 (mélange de millésimes) qui fait office de témoin. Chaque bloc renferme un plant de chaque provenance, ce qui porte l'effectif total à 864 plants.

Préparation du terrain avant plantation : dessouchage et andainage des rémanents (andains distants d'une quinzaine de mètres).

Préparation du sol : ouverture de potets à la pelle mécanique, alignés sur les andains. Lorsqu'ils ne coïncidaient pas avec l'emplacement prévu des plants, d'autres potets ont été ouverts à la pioche au moment de la plantation.

Plantation : plants de deux ans élevés en conteneurs (WM de 600 cm³) à la pépinière de l'Etat d'Aix-en-Provence – Piquetage et plantation les 11-12 avril 2011, à 3x3 m (1111 plants/ha).

1.2.3- Visites, mesures et travaux effectués en 2011

- 13 avril : relevé d'identité (coordonnées, répétition, nom provenance, code S signalant des dégâts liés aux fortes températures d'août 2009 en pépinière)
- avril-mai : installation de piquets de protection contre le gibier
- 23 mai : visite du CNPF (S. Girard) pour évaluer les éventuels dégâts liés aux hylobes et à la sécheresse printanière ; tout début du débourrement.
- 16 juin : visite du dispositif mettant en évidence des dégâts d'insectes assez importants
- 27 juin : traitement contre les insectes (Forester)
- 30 août : visite du CNPF (S. Girard) ne montrant pas de nouvelle attaque d'hylobes ; mise en place récente d'une seconde pousse.
- 30 novembre et 1 décembre : notations et mesures (état sanitaire, hauteur).

2- Performances des variétés

2.1- Survie, état sanitaire, croissance

Les mesures et notations de l'intersaison 2011/12 ont été réalisées en suivant un protocole harmonisé mis en place lors de la réunion annuelle des partenaires du réseau (Autun, 27-28 septembre 2011) :

- Etat général

0- plant sain 2- cime sèche 5- abrouiti 6- frotté
7- endommagé lors du/des dégagement(s) 8- problème particulier 9- mort

La note 8 est affectée selon les cas à des plants ayant souffert de dégâts de gel, d'hylobe.

- Décoloration du feuillage :

0- plant vert 1- jaune 2- rouge

- Déficit foliaire apprécié via le nombre d'années d'aiguilles présentes sur les ramifications du bas du plant (1, 2 ou 3 années). Ce caractère ne peut être observé valablement que sur des individus âgés d'au moins 3 ans.

- Hauteur totale 2011.

2.1.1.- Cœur de l'aire

2.1.1.1.- St Junien-la-Brégère (EV_DF_2009.01 – Irstea)

Ce dispositif mono-arbre a été planté au printemps 2009. Ses caractéristiques ont été présentées dans le rapport d'activité 2009 (février 2010, p.153).

** Interventions 2011*

- Coupe des tâches de fougère au printemps et dégagement entre lignes au broyeur mécanique en septembre
- Visite au débourrement (constatation de frottis récents)
- Mesures et notations le 14 octobre 2011.

** Analyse des données*

- Les proportions (pourcentages) ont été analysées à l'aide du test de Khi-deux.
 - Les données de hauteur ont été traitées par analyse de variance à deux facteurs (variété, bloc) sans interaction et les moyennes ont été comparées en utilisant le test de Tukey.
- NB- Les individus souffrant de cime sèche ou de dégâts accidentels (gibier, entretien) ont été éliminés des analyses.*
- Les notes, variables prenant un nombre limité de valeurs, ont été analysées par le test de Khi-deux et de Kruskal-Wallis.

** Résultats : bilan général*

Variable étudiée	Effet provenance	Effet répétition
% mortalité 2011	NS	NS
% nouveaux morts (saison 2011)	NS	NS
% cimes sèches	NS	NS
% dégâts de gibier	NS	*
Déficit foliaire	***	***
Hauteur 2011	***	**
Accroissement hauteur 2010-2011	***	***
Accroissement hauteur 2009-2011	***	**

(*), *, **, *** effet significatif au seuil de 10%, 5%, 1%, 1%

NS : non significatif

** Etat sanitaire*

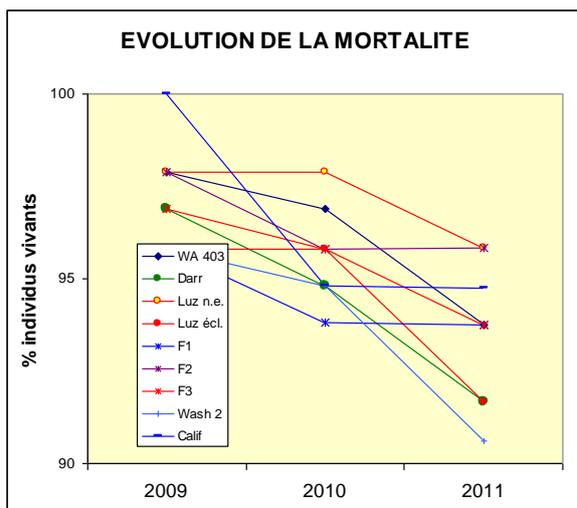
Variété	% morts fin 2011 (1)	% cimes sèches (2)	% dégâts de gibier (2)	déficit foliaire	
				note moy.	% plants défoliés
WA 403	6.2	1.1	7.8	2.74 (ab)	23.6 (ab)
Darrington	8.3	6.8	13.6	2.80 (b)	19.5 (a)
Luzette non écl.	4.2	1.1	6.5	2.85 (b)	15.2 (a)
Luzette éclairci	8.3	2.3	10.2	2.89 (b)	10.5 (a)
France 1	6.2	2.2	8.9	2.81 (b)	16.8 (a)
France 2	4.2	3.3	14.1	2.81 (b)	16.3 (a)
France 3	6.2	2.2	12.2	2.79 (b)	21.6 (a)
Washington 2	9.4	2.3	11.5	2.87 (b)	11.5 (a)
Californie	5.2	3.3	9.9	2.59 (a)	38.5 (b)

(1) pourcentage calculé par rapport à l'effectif planté

(2) pourcentage calculé par rapport à l'effectif vivant fin 2011

Après trois années de croissance sur le terrain, le taux de survie s'établit à 93,5%. 18 individus sont morts en 2011 (2,2% de l'effectif vivant fin 2010) mais la moitié d'entre eux avait été endommagés en 2010, par le gibier ou la débroussailleuse lors de l'entretien. En revanche, cette mortalité est indépendante de l'attaque d'hyllobes de 2010.

Fin 2011, on constate une recrudescence des attaques de gibier, en l'occurrence des frottis de chevreuils. Plus de 10% des individus (85 plants) sont atteints. Les dégâts sont répartis de façon homogène entre les provenances et sur la surface de l'essai.



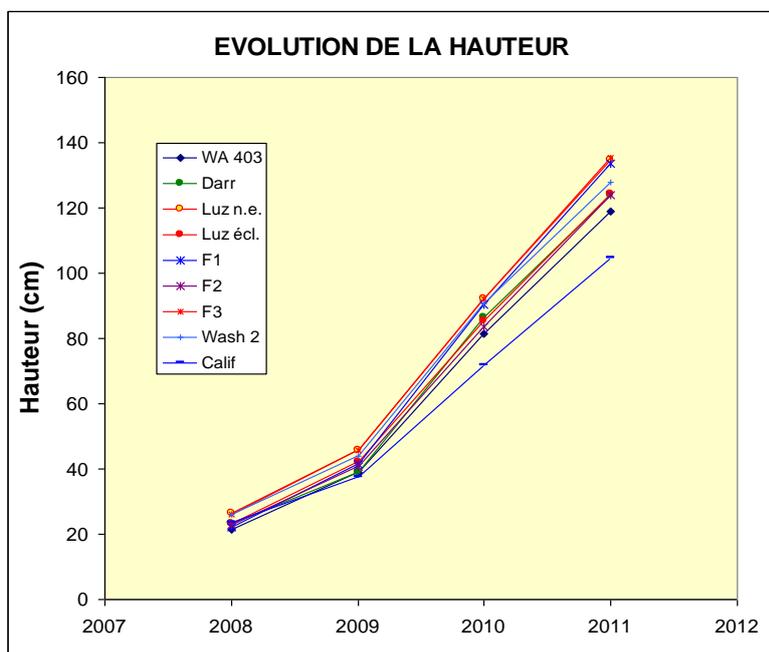
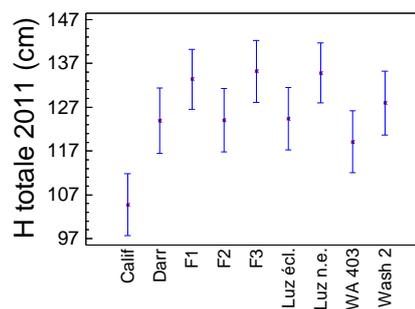
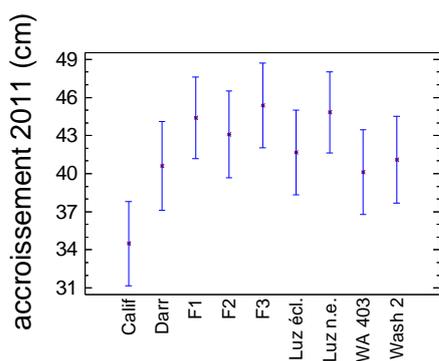
Si l'on excepte ces dommages d'origine accidentelle, l'état sanitaire des plants vivants est très satisfaisant. Les cimes sèches sont rares (2,7% des plants) et on ne dénombre que deux plants jaunes. D'autre part, les défoliations concernent une faible proportion d'individus et elles sont généralement de faible intensité (respectivement 1% et 18% d'individus fortement et faiblement défoliés). Le déficit foliaire est cependant plus fréquent chez les représentants de la variété californienne (38,5% d'individus défoliés). Ces pertes d'aiguilles sont aussi plus nombreuses dans la partie Nord du dispositif et aux abords des andains où les plants souffrent sans doute de la concurrence pour la lumière et les ressources du sol.

* *Croissance en hauteur*

Variété	nb observations	hauteur 2011 (cm)	accroissement 2011 (cm)	accroissement 2010 + 2011 (cm)
WA 403	77	119.1 (b)	40.1 (ab)	80.6 (b)
Darrington	71	123.9 (bc)	40.6 (ab)	83.8 (b)
Luzette non écl.	83	134.8 (c)	44.8 (b)	88.5 (b)
Luzette écl.	77	124.4 (bc)	41.7 (b)	82.6 (b)
France 1	82	133.4 (c)	44.4 (b)	91.7 (b)
France 2	74	124.0 (bc)	43.1 (b)	83.9 (b)
France 3	77	135.2 (c)	45.4 (b)	89.5 (b)
Washington 2	74	127.9 (bc)	41.1(ab)	83.5 (b)
Californie	78	104.7 (a)	34.5 (a)	67.4 (a)

En 2011, les plants se sont allongés en moyenne de 42 cm. Pour la 3^{ème} année consécutive, Californie se distingue de la plupart des autres provenances par une plus faible croissance. Sa hauteur totale est à présent de 18% inférieure à celle de la moyenne des autres variétés (105 cm versus 128 cm). Trois après plantation, un "peloton de tête" tend à se détacher ; il est constitué de Luzette non éclairci, France 1 et France 3. Cependant, ce groupe ne diffère significativement que de la variété californienne et du témoin Washington 403.

Les défoliations entraînent une perte de croissance mais celle-ci est de plus faible ampleur à St Junien (30,6 cm et 44,4 cm en 2011 pour les plants défoliés et non défoliés) que dans d'autres essais comme Haute Serre et Le Faou-Petit).



2.1.1.2.- Peyrat-le-Château (EV_DF_2009.02 – Irstea)

Ce dispositif mono-arbre a été planté au printemps 2009. Ses caractéristiques ont été présentées dans le rapport d'activité 2009 (février 2010, p.154).

* Interventions 2011

- 29 avril 2011 : notation de l'intensité des rougissements de feuillage et pertes d'aiguilles observées fin mars - début avril, par une note de 0 (plant non atteint) à 4 (forte défoliation).
- 13 décembre : estimation de l'état sanitaire et mesures de hauteur.

* Analyse des données : cf St Julien.

* Pertes d'aiguilles (avril 2011)

	note moyenne	% plants fortement atteints (1)
WA 403	0.99 (ab)	12.5 (a)
Darrington	0.92 (a)	6.2 (a)
Luzette non éclairci	0.99 (a)	6.3 (a)
Luzette éclairci	1.0 (ab)	12.8 (a)
France 1 (2006)	0.95 (a)	6.2 (a)
France 1 (2007)	0.95 (a)	8.3 (a)
France 2	0.94 (a)	6.2 (a)
France 3	1.03 (ab)	10.4 (a)
Washington 2	0.91 (a)	3.1 (a)
Californie (commerce)	1.29 (b)	26.1 (b)
Californie (expé)	1.24 (b)	27.5 (b)

(1) notes 2+3+4



Les deux populations californiennes, issues des récoltes expérimentale et commerciale 2007, se distinguent des autres provenances par une plus forte proportion de plants sévèrement défoliés. Ces dégâts sont attribués au froid hivernal, à la neige qui a persisté plusieurs semaines mais peut-être aussi à des brûlures d'aiguilles consécutives à l'épandage de sulfate de cuivre du 1^{er} mars 2011. En revanche, la nature des symptômes (cf photos) et les données météo permettent d'écarter le facteur gel tardif.

Pour toutes les variétés, mais particulièrement Californie, les défoliations sont plus importantes sur les plants ayant souffert du gel au printemps 2010 et ceux jugés "non mesurables" à l'intersaison 2010/11. Les individus affaiblis sont donc plus sévèrement touchés.

D'autre part, l'apport d'engrais azoté de mars 2010 (phosphate d'ammoniaque 18-46 sur la moitié du dispositif, épandu en surface dans un cercle 30 cm de rayon, à raison de 12g/plant) n'a aucun effet significatif sur la longueur des pousses 2010. En revanche, la zone fertilisée se distingue de la zone non traitée par des défoliations 2011 significativement plus importantes (14% d'individus fortement touchés vs 8.6%). Or, cette même zone avait aussi plus souffert du gel de mai 2010 (23% de plants endommagés contre 12%). Ces dégâts nous semblent plus liés à un effet site qu'à un effet propre de la fertilisation (effets confondus dans cet essai car la fertilisation a été réalisée sur une surface d'un seul tenant).

* Mesures de l'intersaison 2011/12 : bilan général

Variable étudiée	Effet provenance	Effet répétition
% mortalité fin 2011	***	*
% nouveaux morts (saison 2011)	***	(*)
% cimes sèches	NS	(*)
% frottis de chevreuil	NS	NS
% plants jaunes	NS	(*)
Déficit foliaire	***	NS
Hauteur 2011	***	***
Accroissement hauteur 2010-2011	***	***

(*), *, **, *** effet significatif au seuil de 10%, 5%, 1%, 1%

NS : non significatif

* *Etat sanitaire*

Provenance	% morts fin 2011 (1)	% cimes sèches (2)	% plants jaunes (2)	déficit foliaire	
				note moy.	% plants défoliés (3)
WA 403	0 (a)	0	1.0	2.68 (abc)	30.2 (ab)
Darrington	0 (a)	0	1.0	2.73 (abc)	27.1 (ab)
Luzette non écl.	1.0 (a)	2.1	2.1	2.75 (bc)	23.4 (a)
Luzette éclairci	2.1 (a)	3.2	0	2.69 (abc)	29.0 (ab)
France 1 (2006)	1.0 (a)	0	0	2.64 (abc)	35.8 (ab)
France 1 (2007)	0 (a)	2.1	0	2.61 (abc)	38.5 (ab)
France 2	0 (a)	1.0	0	2.73 (abc)	27.1 (ab)
France 3	0 (a)	1.0	1.0	2.77 (c)	21.9 (a)
Washington 2	0 (a)	0	1.0	2.72 (abc)	28.1 (ab)
Californie com.	11.5 (b)	2.3	3.6	2.48 (a)	47.6 (b)
Calif expé	7.3 (b)	4.5	3.4	2.45 (ab)	41.4 (ab)
Total	22 plants (2.1%)	15 plants (1.4%)	12 plants (1.2%)	m = 2.66	m = 31.5%

(1) pourcentage calculé par rapport à l'effectif planté

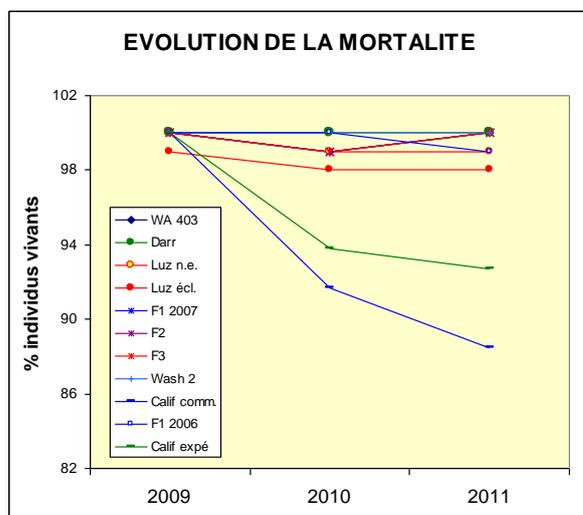
(2) pourcentage calculé par rapport à l'effectif vivant fin 2011

(3) plants ayant moins de 3 années d'aiguilles

En 2011, troisième année de croissance sur le terrain, 8 nouveaux plants sont morts. A une exception près, il s'agit de représentants du verger Californie (4 individus provenant de la récolte de graines commerciale et 3 de la récolte expérimentale). Pour l'essentiel, ces plants présentaient déjà des signes de faiblesse fin 2010 (notés "non mesurables" car endommagés par les gelées du printemps 2010) et une forte défoliation en avril 2011.

Durant la même période, 7 plants jugés morts après l'hiver 2010/11, ont "ressuscité". Plusieurs d'entre eux sont repartis du pied. De ce fait, le taux de survie général demeure stable, et à un niveau très satisfaisant (98%).

On note cependant un effet provenance hautement significatif, dû à la plus forte mortalité dans les deux provenances californiennes (9.4%)



Plus de 95% des plants vivants sont en bonne santé. On ne déplore, en particulier, que 8 individus à cime sèche, 2 à cime cassée, 15 frottés (un chevreuil a pu pénétrer dans l'essai malgré la clôture) et 12 plants jaunes. Ces dégâts sont indépendants de la provenance.

68% des arbres de l'essai conservent les aiguilles produites en 2009, 2010 et 2011, ce qui révèle un bon état sanitaire et un bon potentiel de photosynthèse. Ce pourcentage est toutefois significativement plus faible dans la population issue du verger Californie : 45% des individus présentent des pertes d'aiguilles et 9% ne conservent plus que les aiguilles de l'année 2011.

** Croissance en hauteur*

Provenance	nb observations	hauteur 2011 (cm)	accroissement 2011 (cm)
WA 403	92	127.0 (b)	44.7 (b)
Darrington	92	132.7 (bc)	46.4 (b)
Luzette non écl.	91	141.8 (cd)	49.2 (bc)
Luzette éclairci	88	135.2 (bc)	47.9 (bc)
France 1 (2006)	91	141.1 (cd)	50.6 (bc)
France 1 (2007)	89	141.6 (cd)	49.3 (bc)
France 2	92	137.1 (bcd)	48.7 (bc)
France 3	90	143.6 (cd)	49.8 (bc)
Washington 2	92	146.9 (d)	53.4 (c)
Californie com.	68	101.3 (a)	29.0 (a)
Calif expé	66	102.9 (a)	30.9 (a)
Moyenne		134 cm	47 cm

En 2011, les plants ont produit des pousses longues en moyenne de 47 cm. On constate cependant que les deux provenances californiennes présentent des accroissements très inférieurs, de l'ordre de 30 cm (-33% par rapport au témoin Washington 403). A l'opposé, Washington 2 a accentué son avance sur Californie et WA 403. Au vu de ces résultats, on peut se demander si la sécheresse du printemps 2011, qui s'est étalée de janvier à mai, n'a pas handicapé les provenances précoces (Californie) et favorisé celles qui débourent plus tardivement, comme Washington 2.

D'autre part, et fort logiquement, les individus partiellement défoliés au printemps 2011 et fin 2011 (moins de 3 années d'aiguilles) présentent un déficit de croissance. Ce constat s'applique aussi bien à l'accroissement 2011 qu'à la hauteur totale.

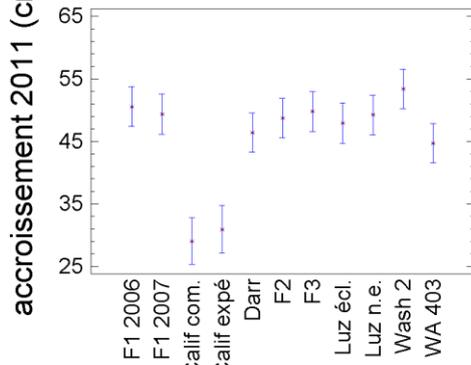
Néanmoins, le classement des provenances varie peu si l'on ne s'intéresse qu'aux plants non défoliés. Les piètres performances de la variété californienne ne s'expliquent donc pas par ce facteur "défoliation".

En ce qui concerne la hauteur totale, trois groupes de variétés peuvent être identifiés en fonction de leur positionnement par rapport à la seed zone WA 403 : i) Californie qui lui est très inférieure (-20%), ii) Darrington, Luzette éclairci, France 2 qui ne diffèrent pas significativement de WA 403 et iii) Washington 2, France 3, France 1 et Luzette non éclairci qui lui sont supérieures (+ 11-16%).

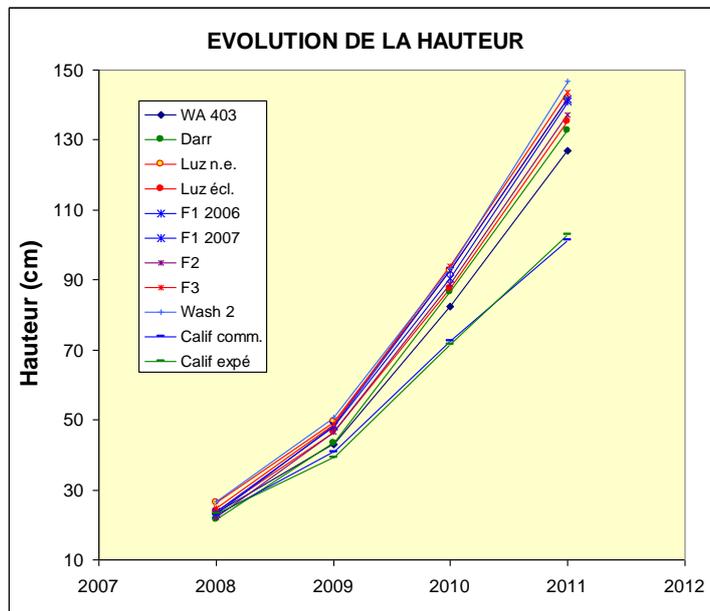
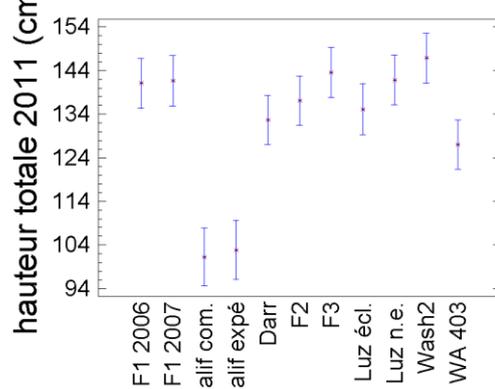
Enfin, de façon surprenante, les individus de la zone fertilisée au phosphate d'ammoniaque en mars 2010 se caractérisent par de faibles accroissements en 2011 (40.4 cm et 51.7 cm respectivement pour les plants fertilisés et non fertilisés). Cet effet peut s'expliquer par de moins bonnes conditions stationnelles de la partie traitée (moindre fertilité initiale, plus forte

occurrence de gels) ; on y rencontre en effet une plus forte proportion de cimes sèches et de plants défoliés.

Moyennes et intervalles à 95,0% de Tukey HSD



Moyennes et intervalles à 95,0% de Tukey HSD



2.1.1.3.- Taravant (EV_DF_2009.06 – ONF)

Ce dispositif en grandes parcelles unitaires (cf. rapport février 2010, pp 155-156) a subi bien des vicissitudes depuis sa plantation au printemps 2009. Malgré des débuts prometteurs, une forte attaque d'hylobes survenue en septembre 2010 a généré des pertes très importantes (30% à l'automne et beaucoup plus à la sortie de l'hiver). Un regarni a été effectué comme prévu au printemps 2011 mais les hylobes ont causé de nouveaux dégâts à l'automne 2011. A cette époque, le taux de mortalité (61%) était extrêmement faible et rédhibitoire. De plus, une forte proportion des plants vivants avaient eu une croissance altérée (descente de cime et reprise depuis une branche basse). Après s'être assuré qu'un "sauvetage" était impossible, en limitant le suivi à un nombre réduit de blocs ou de provenances, l'ONF s'est malheureusement vu contraint de clore cet essai.

Nombre et pourcentage de plants "rescapés" fin 2011

Provenance	nb plants vivants	% plants vivants (1)
WA 403	88	45
Darrington	68	35
Luzette non écl.	80	41
Luzette éclairci	101	52
France 1	90	46
France 2	57	29
France 3	74	38
Washington 2	72	37
Californie	66	34

(1) 196 représentants de chaque variété à la plantation

2.1.1.4.- Sémelay (EV_DF_2010.01 – Irstea)

Ce dispositif mono-arbre a été planté au printemps 2010. Ses caractéristiques ont été présentées dans le rapport d'activité 2010 (février 2011, pp.10-11).

* Interventions 2011

- 15 avril : notations d'état sanitaire via une note (0- plant sain, 2- cime sèche, 6- abrouiti, 8- problème particulier, 9- mort)
- 15 avril – 5 mai : notations de débourrement
- Été 2011 : dégagement à la débroussailleuse sur les lignes de plantation
- 27 septembre : visite lors de la réunion annuelle des coordinateurs du réseau d'évaluation ; constatation de dégâts d'hylobes.
- 16 novembre : notations d'état sanitaire et mesure de la hauteur totale.

* Analyse des données : cf St Junien.

* Résultats : bilan global

Variable étudiée	Effet provenance	Effet répétition
% mortalité avril 2011	NS	*
% plants sains avril 2011	NS	NS
% mortalité fin 2011	NS	***
% dégâts d'hylobe	***	***
Accroissement hauteur 2011	***	***
Hauteur totale 2011	***	***

(*), *, **, *** effet significatif au seuil de 10%, 5%, 1%, 1%

NS : non significatif

* Survie, état sanitaire en avril 2011

Le taux de survie (97.8%) n'a quasiment pas évolué depuis les dernières observations de novembre 2010. Les plants vivants sont majoritairement exempts de défauts. On ne recense que 11 individus à cime sèche (1.1% des vivants), 21 plants abrouitis (2.2%) et 35 plants à "problème particulier" (3.7%). Cette dernière catégorie est essentiellement composée de sujets présentant un bourgeon terminal sec ou endommagé.

Les pourcentages de plants sains et morts ne varient pas significativement en fonction de la provenance. En revanche, la mortalité touche plus particulièrement les plants ayant souffert de la chaleur durant l'été 2009 à la pépinière d'Aix-en-Provence (taux de mortalité de 7.9%).

** Survie, état sanitaire fin 2011*

Variété	% morts fin 2011 (1)	% dégâts d'hylobe (2)
WA 403	2.1	21.3 (a)
Darrington	5.2	31.9 (ab)
Luzette non écl.	2.1	29.8 (ab)
Luzette éclairci	2.1	42.5 (b)
France 1	0	27.1 (ab)
France 2	3.1	44.1 (b)
France 3	1.0	33.7 (ab)
Washington	1.0	32.6 (ab)
Washington 2	3.1	41.9 (b)
Californie	4.2	18.5 (a)

(1) pourcentage calculé par rapport à l'effectif planté

(2) pourcentage calculé par rapport à l'effectif vivant fin 2011

La mortalité de l'année 2011 se limite à 4 plants (3 Californie et 1 Darrington). La moitié a disparu au cours de l'hiver 2010/11, l'autre moitié durant la saison de végétation. Le taux de survie reste donc excellent (97.6%).

Les anomalies de développement sont peu fréquentes. On ne recense que 10 individus à cime sèche, 1 plant jaune et 2 plants défoliés. D'autre part, la destruction du bourgeon terminal a été observée sur une trentaine d'individus, mais sans que l'origine puisse être identifiée avec certitude (dessèchement physiologique, abroutissement, dégât d'insecte). Ces dégâts sont à l'origine de légers défauts de forme, ou susceptibles de les provoquer, selon qu'ils touchent des bourgeons formés en 2010 ou 2011. En outre, on déplore 3 plants frottés et 11 endommagés par la débroussailleuse lors des travaux d'entretien.

Ce bilan très satisfaisant doit toutefois être tempéré par l'occurrence d'une attaque d'hylobes, diagnostiquée fin septembre 2011 et manifestation récente. Elle est de forte ampleur puisque 303 plants sont endommagés, ce qui représente 32% de l'effectif vivant. Pour une grosse moitié des plants, le développement ne sera guère affecté car les morsures sont limitées à la partie basse et déjà en cours de cicatrisation. En revanche, la situation est plus préoccupante pour les autres plants qui présentent des écorçages plus ou moins sérieux de la pousse 2011. Ces dégâts se traduiront dans certains cas par le dessèchement des bourgeons apicaux, voire du leader, ce qui engendrera une perte de croissance et un défaut de forme. L'effet provenance est hautement significatif, Californie et Washington 403 étant moins touchées que France 2, Luzette éclairci et Washington 2. En dépit d'un effet répétition significatif, les attaques sont réparties de façon relativement homogène sur la surface de l'essai.

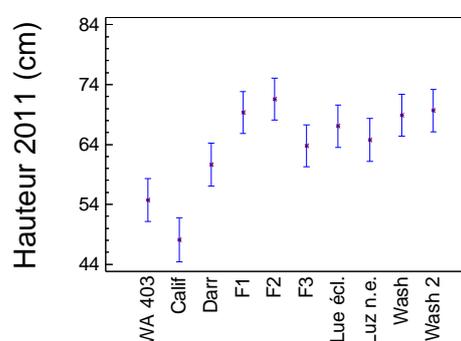
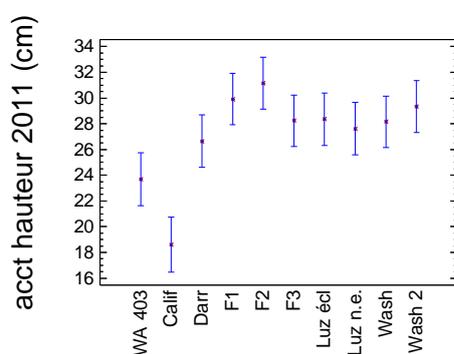
** Croissance en hauteur*

Les individus souffrant de cime sèche ou de dégâts accidentels (gibier, entretien) ont été éliminés des analyses. En revanche, les plants endommagés par les hylobes ont été conservés

car l'attaque est intervenue en fin de saison, alors que la pousse 2011 était complètement développée.

Variété	nb observations	hauteur 2011 (cm)	accroissement 2011 (cm)
WA 403	87	54.8 (b)	23.7 (b)
Darrington	89	60.7 (bc)	26.6 (bc)
Luzette non écl.	89	64.8 (cde)	27.6 (bcd)
Luzette écl.	88	67.1 (cde)	28.3 (cd)
France 1	93	69.4 (de)	29.9 (cd)
France 2	92	71.6 (e)	31.2 (d)
France 3	92	63.8 (cd)	28.2 (cd)
Washington	91	68.9 (de)	28.2 (cd)
Washington 2	90	69.7 (de)	29.3 (cd)
Californie	81	48.1 (a)	18.6 (a)

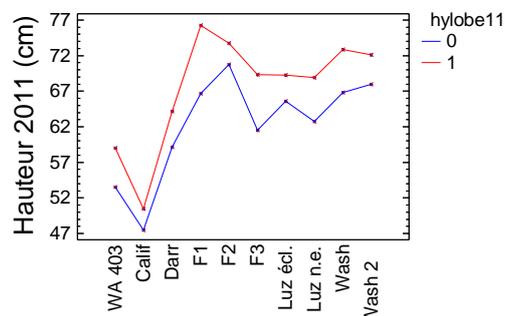
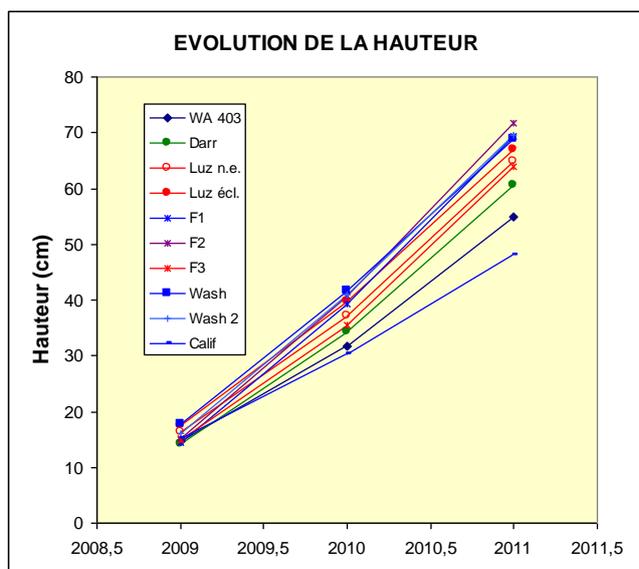
Toutes provenances confondues, l'accroissement en hauteur de 2011 s'établit à 27 cm, si bien qu'à l'issue de la seconde année sur le terrain, les plants mesurent en moyenne 64 cm. Pour ces deux variables, les analyses de variances mettent en évidence un effet provenance hautement significatif. Il s'explique par la moindre croissance du témoin Washington 403 et, surtout, de la variété californienne. Ces deux provenances sont significativement moins vigoureuses que l'ensemble des autres variétés, excepté Darrington.



Pour la deuxième année consécutive, les plants endommagés par la chaleur durant leur élevage à la pépinière des Milles ont un accroissement similaire à celui des plants indemnes (28,6 cm et 27,3 cm respectivement). Leurs hauteurs totales ne diffèrent pas significativement (65,2 cm *versus* 64,0 cm).

Comparés aux individus épargnés par les hylobes, ceux qui ont été endommagés se caractérisent par une hauteur 2010 et un accroissement en hauteur 2011 supérieurs. Le même phénomène ayant déjà été observé en 2010, on peut supposer que les attaques ne s'effectuent pas complètement au hasard mais qu'elles sont dirigées vers les individus les plus vigoureux. Cela permettrait d'expliquer les variations inter-provenances pour le pourcentage d'attaque 2011 ($r = 0.82^{**}$ entre hauteur et taux d'attaque moyens des provenances).

Enfin, les accroissements de 2010 (année de reprise) et 2011 sont faiblement corrélés ($0.17 \text{ NS} < r < 0.46^{***}$), ce qui tend à indiquer que la croissance en hauteur n'est pas stabilisée.



2.1.1.5.- Saulieu (EV_DF_2011.02 – ONF)

Ce dispositif en grandes parcelles unitaires a été planté au printemps 2011 (cf point 1.1. de ce rapport).

* Interventions 2011

- Le dispositif a fait l'objet de plusieurs visites de contrôle de l'état sanitaire au cours de la saison de végétation 2011.
- Entretien mi-septembre : dégagement à la débroussailleuse sur les lignes de plantation (environ 70 cm de part et d'autre des plants).
- Visite du site par le groupe "réseau VAG Douglas" le 28/09/11
- Mesures et notations les 15 et 16 octobre 2011, en commun ONF-Irstea.

* Protocole de mesure

- Etat général estimé via un système de notation récemment révisé par les partenaires du réseau :

- | | | | |
|---|---------------|-------------|-----------|
| 0- plant sain | 2- cime sèche | 5- abrouiti | 6- frotté |
| 7- endommagé lors du dégagement | 8- hylobe | 9- mort | |
| 10- plant absent (ni souche ni étiquette) | | | |

Le code 8 a été attribué à des plants présentant un (ou des) dégât(s) de morsure d'hylobes (72 plants concernés).

Le code 10 a été attribué à 6 plants non retrouvés et pourtant installés (a priori arrachés par malveillance).

Des dégâts de gel d'automne ont été notés selon une codification à 2 degrés : « 1 » lorsque la pousse terminale semblait touchée (45 plants concernés), « 2 » lorsque le gel ne paraissait affecter que les pousses latérales (347 plants concernés). Toutefois nombre de plants n'étant pas encore aoûtés à la date des mesures, il est probable que les dégâts de gel précoce 2011 soient in fine plus critiques que ce qui a été relevé à cette date...

Des dégâts ponctuels ou anomalies de croissance (blessure, pousse terminale ou bourgeon cassé, individu double/multi-tête) ont également été notés en observation.

Sur ce site non enclos, toutes les notes ont été utilisées.

- Décoloration du feuillage :

0- plant vert 1- jaune 2- rouge

Seul 1 plant a été noté "1" et un seul noté "2"; aucune analyse n'a donc été conduite.

- Déficit foliaire apprécié via le nombre d'années d'aiguilles présentes sur les ramifications de la pousse 2010 (1 ou 2 années). 28 plants ont été noté "1" c'est à dire ne présentant qu'une seule année d'aiguilles (2011).

- Hauteur totale 2010 (rétrospectivement) et 2011.

** Analyse statistique*

- Proportions (pourcentages) : analyse de variance à deux facteurs (provenance, bloc) sans interaction sur les moyennes par parcelles unitaires

- Variables continues : analyse de variance à deux facteurs sans interaction sur les valeurs moyennes par P.U. et comparaison des moyennes à l'aide du test de Newman-Keuls. Des transformations de variables ont été effectuées pour satisfaire au mieux aux conditions de normalité et d'égalité des variances.

NB- Les individus souffrant de cime sèche/cassée ou endommagés lors des travaux d'entretien ont été retirés des analyses de hauteur ; en revanche, les plants jaunes ont été conservés.

** Résultats : bilan général*

Variable étudiée	Effet provenance	Effet bloc
% mortalité	*	NS
% cimes sèches	(*)	NS
% dégâts de gibier	NS	NS
% dégâts d'hylobes	NS	*
% de plants gelés	*	NS
Déficit foliaire	(*)	**
Hauteur 2010	***	NS
Hauteur 2011	***	NS
Accroissement en hauteur 2011	NS	*

(*), *, **, *** effet significatif au seuil de 10%, 5%, 1%, 1%

NS : non significatif

* Mortalité, état sanitaire

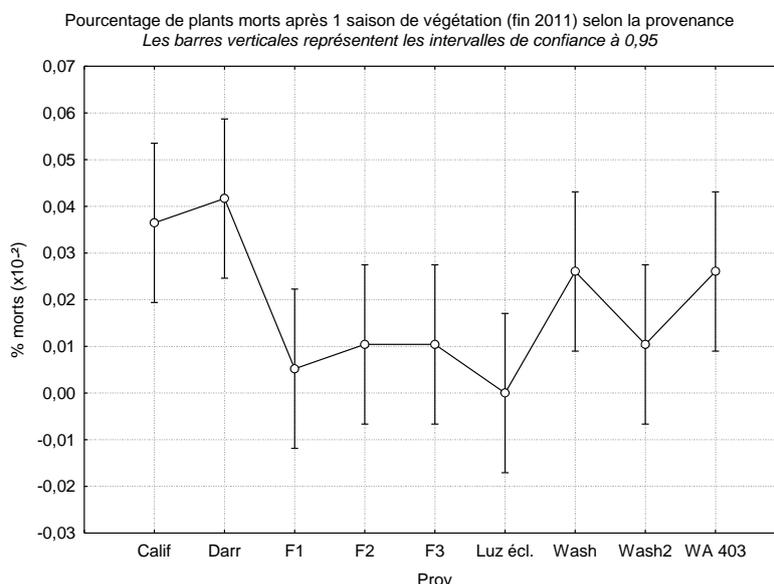
Variété	% morts fin 2011 (1)	% cimes sèches (1)	% dégâts de gibier (1)	% dégâts dégageant (1)	% dégâts d'hylobes (2)	% plants gelés (2)	nb années d'aiguilles (2)
Californie	3,6 (ab)	4,2	2,6	0,0	3,8	47,0 (b)	1,98 (ab)
Darrington	4,2 (b)	3,1	0,5	0,0	4,3	27,7 (ab)	1,98 (ab)
France 1	0,5 (ab)	1,0	0,0	0,0	0,5	23,7 (ab)	1,99 (ab)
France 2	1,0 (ab)	0,5	1,6	0,5	1,1	15,8 (ab)	2,00 (b)
France 3	1,0 (ab)	2,1	1,0	0,0	1,1	26,8 (ab)	1,99 (ab)
Luzette éclairci	0,0 (a)	1,6	1,0	0,0	0,0	21,9 (ab)	1,98 (ab)
Washington	2,6 (ab)	1,0	4,7	0,0	2,7	8,6 (a)	1,96 (a)
Washington 2	1,0 (ab)	0,5	1,0	0,0	1,1	15,3 (ab)	1,99 (ab)
WA 403	2,6 (ab)	1,6	3,1	0,5	2,7	22,5 (ab)	1,97 (ab)
Moyenne	1,9 %	1,7 %	1,7 %	0,1 %	1,9 %	23,2 %	1,98

(1) pourcentage calculé par rapport à l'effectif planté

(2) pourcentage/moyenne calculé par rapport à l'effectif vivant fin 2011

Après une année de croissance sur le terrain, le taux de mortalité s'établit en moyenne à 1,9 %. Seules les provenances Luzette éclairci (0 % de mortalité) et Darrington (4,2 %) diffèrent significativement pour ce caractère, et on n'observe pas d'effet bloc.

La reprise au bout d'un an est donc tout à fait satisfaisante, avec près de 98 %.



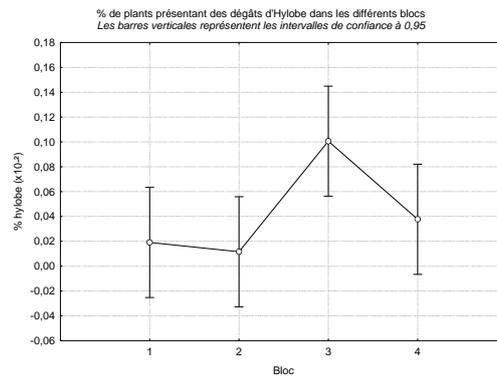
Dans leur grande majorité, les plants vivants sont en bonne santé :

- on ne recense que 30 individus à cime sèche (1,7%) sans effet significatif de la provenance
- seuls 2 individus présentent une coloration anormale
- les plants endommagés par le gibier sont au nombre de 30 (dont 24 abrutis et 6 frottés), soit 1,7 % de l'effectif planté.
- les cimes cassées accidentellement et les dégâts occasionnés par la débroussailleuse lors de l'entretien concernent respectivement 6 et 2 plants.

- seuls 28 plants vivants présentent un déficit foliaire (une seule année d'aiguilles), la provenance Wash étant significativement plus « défoliée » que France2 (cf. tableau état sanitaire). Le bloc 2, peut-être le plus exposé aux vents dominants (angle Ouest de l'essai), semble légèrement plus sujet au déficit foliaire (effet faible mais significatif au seuil de 1 %)

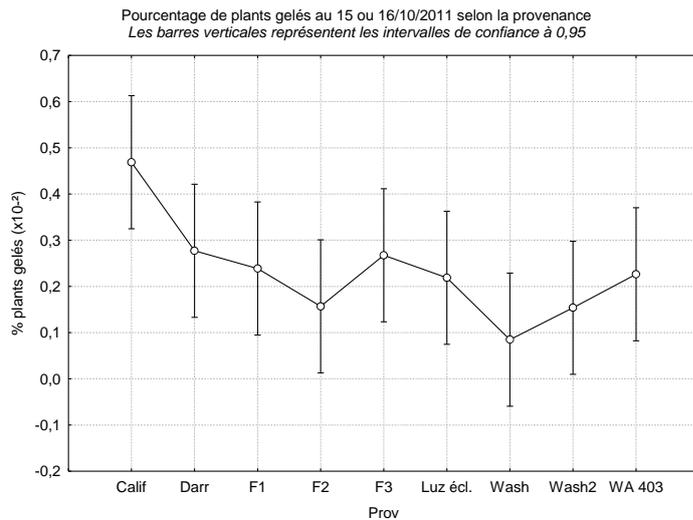
Deux phénomènes un peu plus répandus sont à mentionner :

Les dégâts d'Hylobe affectent 72 plants encore vivants fin 2011. Le bloc 3, le plus en bordure du peuplement adulte encore sur pied situé au sud de l'essai (effet lié à l'ombre ?) est significativement plus touché. Bien que l'attaque soit faible et tardive, le risque est à surveiller en 2012, surtout en cas d'hiver particulièrement doux, comme c'est le cas jusqu'à présent.



Le gel risque de provoquer quelques artéfacts de croissance : mi-octobre, alors que de nombreux plants n'étaient pas encore totalement aoûtés, 392 plants présentaient des marques de gel, dont 45 sur la pousse terminale, soit respectivement 23,2 % et 2,7 % de l'effectif vivant fin 2011. La proportion de plants gelés n'est toutefois significativement différente qu'entre les provenances Washington (8,6 % de plants touché) et Californie (47 %), et cette valeur n'est qu'indicative compte tenu du fait que tous les plants n'étaient pas encore aoûtés à la date des observations.

Enfin, les plants affectés en pépinière par la chaleur du mois d'août 2009 sont au nombre de 732 soit tout de même 42 % de l'effectif planté (cf. Rapport « Evaluation VFA » de février 2010, pp 33-34). La population de plants affectée par cette chaleur durant la période d'élevage ne se distingue pas des plants indemnes pour le taux de mortalité ni pour la fréquence de cimes sèches.



* Croissance en hauteur

Variété	Hauteur 2010 (cm)	Hauteur 2011 (cm)	accroissement sur la saison 2011 (cm)	nb de plants considérés pour le calcul de l'accroissement 2011
Californie	22,5 (a)	39,1 (a)	16,6 (a)	180
Darrington	26,9 (ab)	44,1 (ab)	17,4 (a)	177
France 1	35,6 (cd)	57,6 (cd)	22,1 (a)	188
France 2	34,6 (cd)	54,1 (bcd)	19,4 (a)	188
France 3	35,1 (cd)	55,9 (bcd)	20,9 (a)	183
Luzette éclairci	33,5 (cd)	53,8 (bcd)	20,2 (a)	191
Washington	41,8 (e)	62,2 (d)	20,5 (a)	184
Washington 2	38,0 (de)	57,8 (cd)	19,7 (a)	188
WA 403	29,9 (bc)	47,7 (abc)	17,9 (a)	180
Moyenne	33,1	52,6	19,4	1659

A l'installation de l'essai les hauteurs moyennes différaient déjà significativement entre provenances : les variétés Washington et Washington 2, et secondairement France 1,2,3 et Luzette éclairci, s'établissaient loin devant Californie et Darrington.

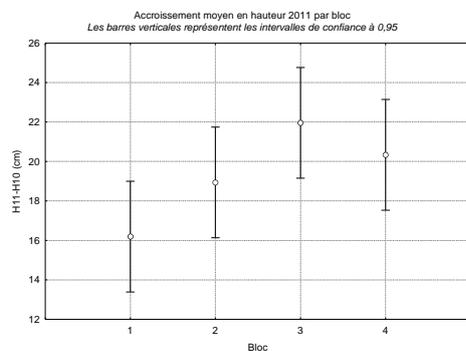
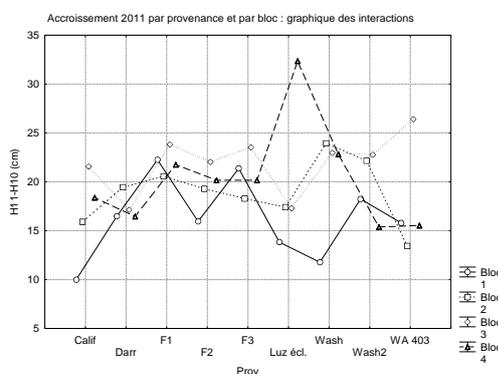
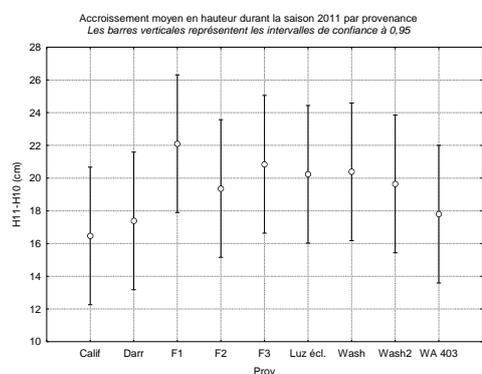
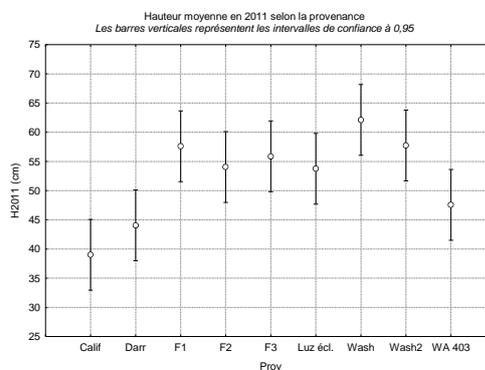
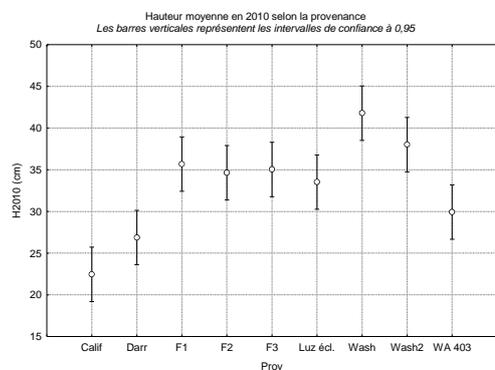
Les différences les plus marquées restent significatives en 2011 à l'issue d'une première saison de végétation en « plein champ » ; en revanche France 2, 3 et Luzette éclairci ne se distinguent plus de Darrington.

En moyenne, les plants se sont allongés de 19,4 cm en 2011, ce qui porte la hauteur totale fin 2011 à 53 cm. Cette croissance est relativement élevée pour une première saison de végétation depuis la plantation ; elle s'explique probablement par le fait que les plants étaient âgés de 2 ans à la plantation, et par les conditions de croissance plutôt favorables de l'année 2011 (mis à part le printemps particulièrement sec) sur ce site en « cœur de l'aire ».

L'effet "génétique" est occulté par une forte interaction provenance x bloc sur cette seule année de croissance. Bien que les écarts entre provenances ne soient pas significatifs, Californie et Darrington, à faible croissance, s'opposent à France 1, et secondairement France3, Luzette éclairci et Washington.

L'ordre des provenances à l'issue de cette première saison de végétation semble conforme aux premiers résultats sur le réseau (cf. Rapport « Evaluation VFA » de février 2010, page 39).

L'effet bloc est significatif pour l'accroissement 2011. Il s'explique peut-être par l'abri constitué involontairement par le peuplement adulte situé en bordure Sud de l'essai, qui pourrait avoir « tamponné » les effets de la sécheresse et des fortes chaleurs du printemps 2011.



* Poursuite de l'essai

Conformément au protocole, une notation de l'état sanitaire est programmée fin 2012 (ainsi que fin 2013 et fin 2014) ; si possible, elle s'accompagnera d'une mesure systématique de la hauteur totale.

Des visites de contrôle de l'état sanitaire seront effectuées courant 2012, notamment vis-à-vis du risque Hylobe.

Enfin, un dégagement sur la ligne sera vraisemblablement nécessaire courant 2012 (concurrence marquée de la fougère) ; il s'accompagnera éventuellement d'un entretien des interlignes au gyrobroyeur.

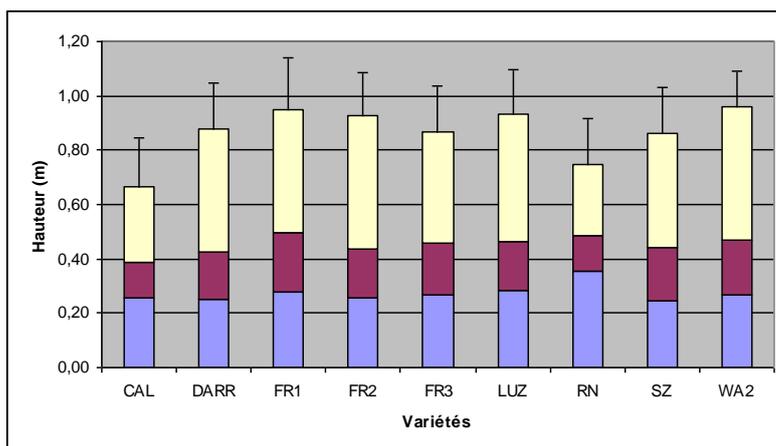
2.1.1.6.- St Agnant-près-Crocq (DE_DF_2009.01 –CNPF)

Ce test de démonstration a été planté début mai 2009 dans la Creuse (cf rapport de février 2011, pp 159-160). Il est constitué de 8 placettes unitaires de 60 plants d'une même variété.

Le dispositif n'a pu être mesuré à temps pour la parution du présent rapport, les résultats des observations de l'hiver 2011/2012 seront donc intégrés dans le prochain.

** Résultats 2010 : mortalité et croissance comparée des 8 variétés sur les 2 premières années*

	% morts	Haut. 2010 (écart type) en cm
WA 403	2	0.87 (0.17)
Darr	0	0.88 (0.17)
Luz	5	0.94 (0.16)
FR1	3	0.95 (0.19)
FR2	0	0.92 (0.16)
FR3	0	0.87 (0.17)
WA2	0	0.96 (0.13)
Calif	3	0.67 (0.18)
Moyenne	< 2 %	0.88 (0.19)



RN : plants à racines nues 2+1, d'origine Washington 403 (hors expérimentation) - SZ : seed zone WA 403

2.1.1.7.- Autun (DE_DF_2009.02 –CNPF)

Ce test de démonstration a été planté fin avril 2009 en Saône-et-Loire (cf rapport de février 2011, pp 159-160). Les 60 représentants de chacune des 8 provenances sont installés dans deux blocs.

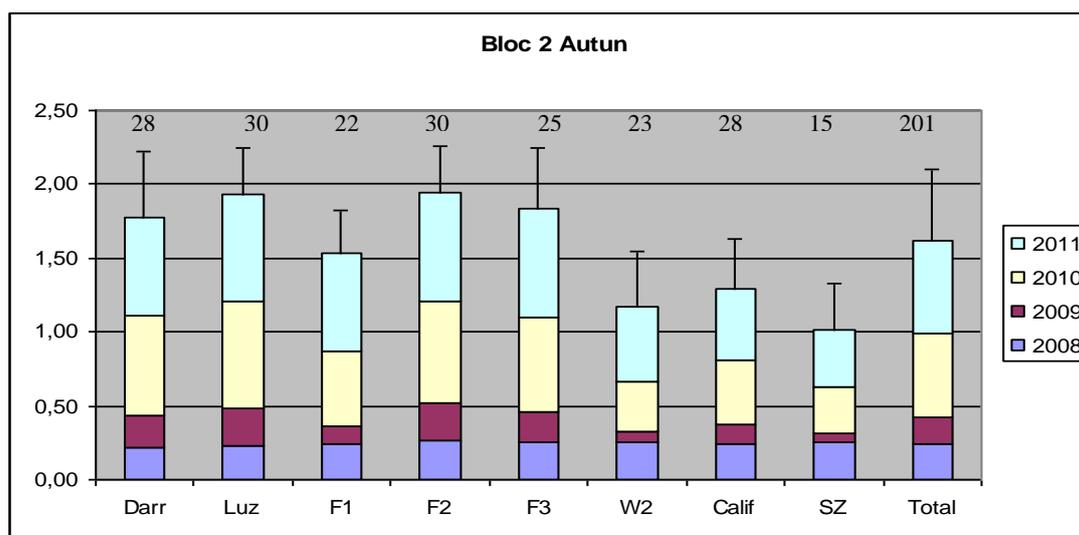
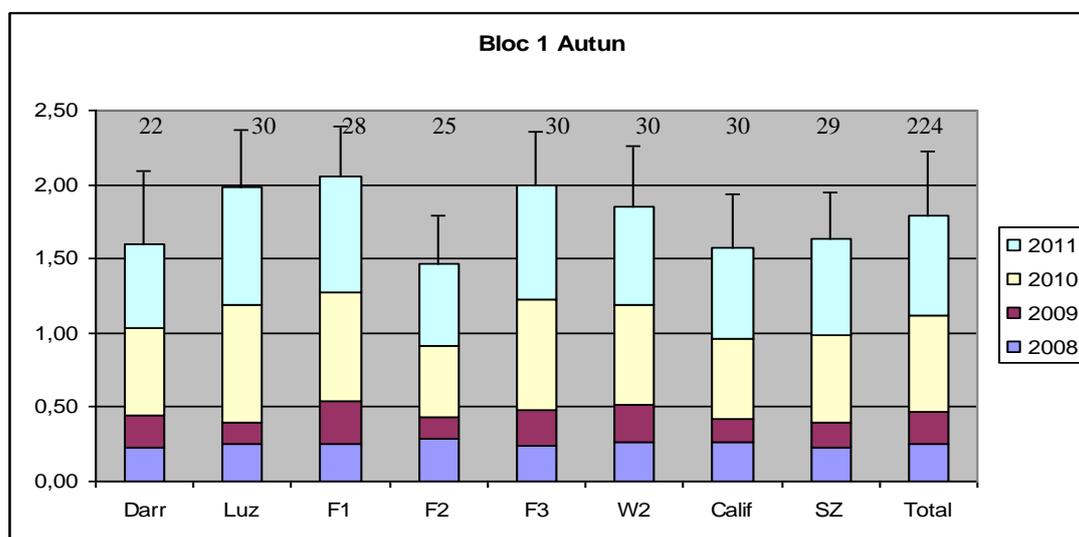
Rappel : une forte attaque d'hylobe en 2010 a provoqué des mortalités malgré l'application de traitements Forester©. Les pertes sont inégalement réparties sur la parcelle et principalement localisées sur l'interandain le plus à l'est. Elles concernent dans le bloc 2 : WA403, WA2 et FR1 et dans le bloc 1 : FR2 et Darr. En 2011, de nouvelles morsures d'hylobe ont été observées sans toutefois provoquer de nouvelles pertes.

** Résultats 2011 : mortalité et croissance des 8 provenances sur les 3 premières années*

Bloc 1	% morts	% plants jaunes	Haut. 2011 (écart type) en m	Accr. relatif 2011* (écart type)	Effectif analysé
WA 403	3 %	0	1.64 (0.31)	69 (17)	29
Darr	27 %	0	1.6 (0.49)	60 (35)	22
Luz	0 %	0	2.08 (0.38)	63 (19)	30
FR1	7 %	0	2.05 (0.35)	64 (17)	28
FR2	17 %	0	1.46 (0.33)	62 (22)	25
FR3	0 %	0	1.99 (0.37)	64 (16)	30
WA2	0 %	0	1.85 (0.41)	56 (19)	30
Calif	0 %	0	1.58 (0.36)	66 (16)	30
Moyenne	7 %	0	1.79 (0.43)	63 (20)	224 soit 93 %

Bloc 2	% morts	% plants jaunes	Haut. 2011 (écart type) en cm	Accr. relatif 2011* (écart type)	Effectif analysé
WA 403	50 %	0	1.01 (0.31)	64 (29)	15
Darr	7 %	0	1.78 (0.45)	62 (15)	28
Luz	0 %	0	1.93 (0.32)	63 (17)	30
FR1	27 %	0	1.53 (0.29)	80 (37)	22
FR2	0 %	0	1.94 (0.32)	62 (13)	30
FR3	17 %	0	1.83 (0.41)	68 (20)	25
WA2	23 %	0	1.16 (0.38)	82 (38)	23
Calif	7 %	0	1.29 (0.34)	61 (23)	28
Moyenne	16 %	0	1.61 (0.48)	67 (25)	201 soit 84 %

*(H2011-H2010)/H2010 x 100



Les nombres au dessus des histogrammes correspondent au nombre de plants pris en compte pour les établir. Seuls les plants n'ayant jamais subi d'altération de leur croissance (blessures diverses, abrouissement, frottis) sont pris en compte.

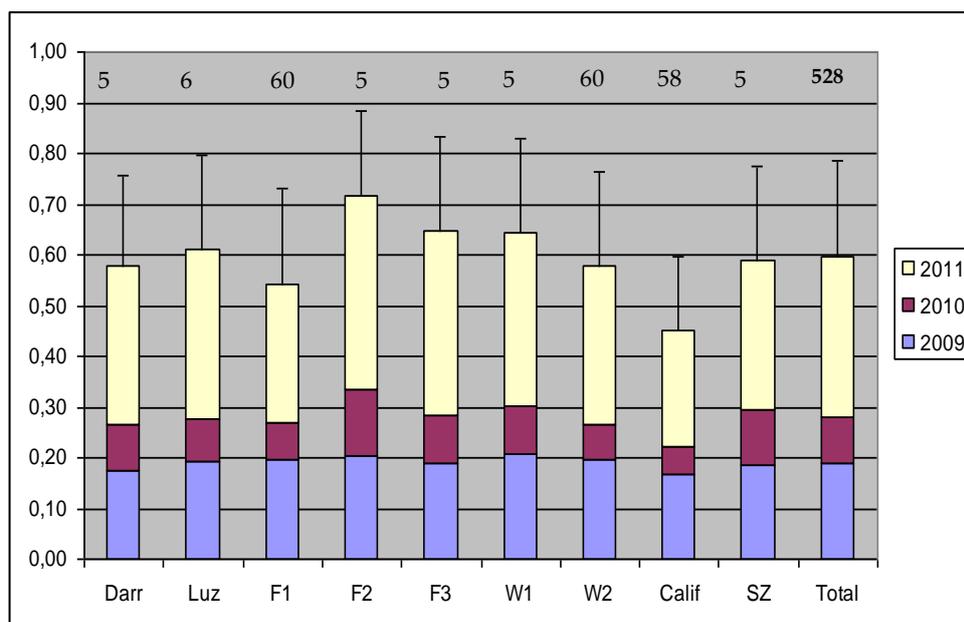
2.1.1.8.- Meaux-la-Montagne (DE_DF_2010.01 –CNPF)

Ce test de démonstration a été planté en avril 2010, dans le département du Rhône (cf rapport de février 2011, pp 159-160). Il est constitué de 8 placettes unitaires de 60 plants d'une même variété.

* Résultats 2011 : mortalité et croissance des 9 provenances sur les 2 premières années

	% morts	% plants jaunes	Haut. 2011 (écart type) en cm	Accr. Relatif 2011*	Effectif analysé
WA 403	2	0	0.59 (0.19)	102 (44)	58
Darr	5	0	0.58 (0.18)	123 (55)	57
Luz	0	0	0.61 (0.18)	122 (55)	60
FR1	0	0	0.54 (0.19)	102 (54)	60
FR2	2	0	0.72 (0.17)	118 (50)	59
FR3	0	0	0.65 (0.18)	129 (48)	59
WA	2	0	0.64 (0.19)	114 (49)	57
WA2	0	2	0.58 (0.19)	117 (54)	60
Calif	2	0	0.45 (0.14)	104 (56)	58
Moyenne	< 2 %	< 0.5 %	0.60 (0.19)	115 (52)	528

*(H2011-H2010)/H2010 x 100



Les nombres au dessus des histogrammes correspondent au nombre de plants pris en compte pour les établir. Seuls les plants n'ayant jamais subi d'altération de leur croissance (blessures diverses, abrouissement, frottis) sont pris en compte.

2.1.2.- Altitude

2.1.2.1.- Murat (EV_DF_2009.07 – ONF)

Ce dispositif mono-arbre a été planté en mai 2009, à 1280 m d'altitude (Cantal). Ses caractéristiques ont été présentées dans le rapport d'activité 2009 (février 2010, p.156-157). Des mesures ont été effectuées en octobre 2010 et 2011 et les données ont été analysées. Le compte rendu nécessitant des corrections, il sera présenté dans le prochain rapport d'activité.

2.1.2.2.- Soussat (EV_DF_2010.02 – Irstea)

Ce dispositif mono-arbre a été planté en avril 2010, à 1080 m d'altitude (Puy-de-Dôme). Ses caractéristiques ont été présentées dans le rapport d'activité 2010 (février 2011, p. 11-12).

** Interventions 2011*

- Visites régulières de l'ONF et du DSF local, au cours desquelles une attaque d'hylobes a été diagnostiquée. Son importance a motivé un traitement insecticide (Forester) les 23-24 mai.
- Visite d'Irstea le 15 juin, durant laquelle d'importants dégâts (gel et/ou sécheresse) ont été observés.
- Dégagement sur les lignes de plantation les 7-8 juin.
- Etablissement du devis de la clôture, fourniture de grillage par le Cemagref (pose effective au printemps 2012).
- Notations d'état sanitaire et mesure de la hauteur totale le 12 octobre.
- Récupération par l'INRA des données climatiques enregistrées en 2010 et 2011 au poste météorologique de la station expérimentale d'Orcival, située à quelques centaines de mètres du dispositif.

** Analyse des données : cf St Junien*

* Climat 2010 et 2011

2010	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année 2010
T°C moy (moyenne des T journalières)	-2,80	-1,49	1,62	6,84	7,03	12,45	16,84	14,27	11,15	7,67	2,10	-1,00	6,27°C
T°C min. moy.	-5,38	-4,37	-1,49	3,15	4,11	8,59	12,93	10,87	7,7	4,48	-1,07	-4,28	2,98°C
T°C mini minimorum	-12,00	-13,50	-12,20	-3,60	-2,40	1,60	7,90	5,10	1,00	-3,20	-29,90	-13,30	-29,9°C
nb jours gel	29	21	18	9	4	0	0	0	0	7	17	21	126
Dernière et première gelées sous abri : 14 mai et 17 octobre 2010													
T°C max moy.	0,39	1,76	5,54	11,45	10,83	16,95	21,94	19,09	15,73	11,80	4,65	2,36	10,25°C
T°C max maximorum	8,80	11,40	17,40	21,50	23,60	24,80	28,80	29,80	24,00	21,60	14,40	11,60	29,8°C
Précipitations (mm)	56,0	80,0	78,5	55,5	123,5	82,0	107,5	88,0	121,0	106,0	107,0	67,0	1072 mm

2011	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année 2011
T°C moy (moyenne des T journalières)	-0,06	2,59	4,16	9,70	12,36	12,78	12,62	16,59	14,57	9,65	7,91	(3,9)	(9,17°C)
T°C min. moy.	-3,57	-0,70	0,97	5,54	7,64	8,78	9,14	12,06	10,83	6,35	5,09	(1,82)	(5,53°C)
T°C mini minimorum	-19,30	-22,20	-5,60	-1,70	2,20	1,40	5,60	5,90	4,80	-2,30	0,50	(-1,1)	-22,2°C
nb jours gel	22	16	12	1	0	0	0	0	0	2	0	(3)	(56)
Dernière et première gelées sous abri : 13 avril et 20 octobre 2010													
T°C max moy.	2,95	6,04	8,16	14,70	17,90	17,78	17,23	21,63	19,79	14,26	11,82	(5,47)	(13,55°C)
T°C max maximorum	14,30	14,70	16,80	21,90	24,10	31,20	25,00	30,30	27,70	23,70	16,20	(11,4)	31,2°C
Précipitations (mm)	19,5	30,0	46,0	14,5	72,0	67,5	156,5	87,5	42,0	47,0	68,5	(89)	(740 mm)

Remarques :

- Les données de 2011 s'arrêtent le 14/12 et sont donc incomplètes
- Les températures au sol peuvent être inférieures de plusieurs degrés aux températures mesurées sous abri ; des pousses ont donc pu geler en dépit de températures positives
- La température minimale de -29.9°C enregistrée le 26 novembre 2010 est probablement erronée.

* Résultats : bilan global

Variable étudiée	Effet provenance	Effet répétition
% mortalité fin 2011	NS	(*)
% nouveaux morts en 2011	NS	NS
% cimes sèches	*	**
% dégâts de gel fin 2011	NS	NS
Accroissement hauteur 2011	(*)	***
Hauteur totale 2011	***	***

(*), *, **, *** effet significatif au seuil de 10%, 5%, 1%, 1%

NS : non significatif

* Survie, état sanitaire

Variété	% morts fin 2011 (1)	% morts en 2011 (2)	% cimes sèches (3)	% dégâts de gel précoce (3)
WA 403	11.5	4.5	18.8 (ab)	4.7
Darrington	10.4	3.4	15.1 (ab)	5.8
Luzette éclairci	9.4	4.4	29.9 (b)	6.9
France 1	18.7	12.4	20.5 (ab)	5.1
France 2	13.5	4.6	12.0 (ab)	4.8
France 3	13.5	5.7	16.9 (ab)	6.0
Washington	15.6	9.0	16.0 (ab)	2.5
Washington 2	16.7	7.0	17.5 (ab)	6.2
Californie	14.6	7.9	9.8 (a)	0
Moyenne	13.8%	6.5%	17.5%	4.7%
	119 plants	52 plants	130 plants	35 plants

(1) pourcentage calculé par rapport à l'effectif planté

(2) pourcentage calculé par rapport à l'effectif vivant fin 2010

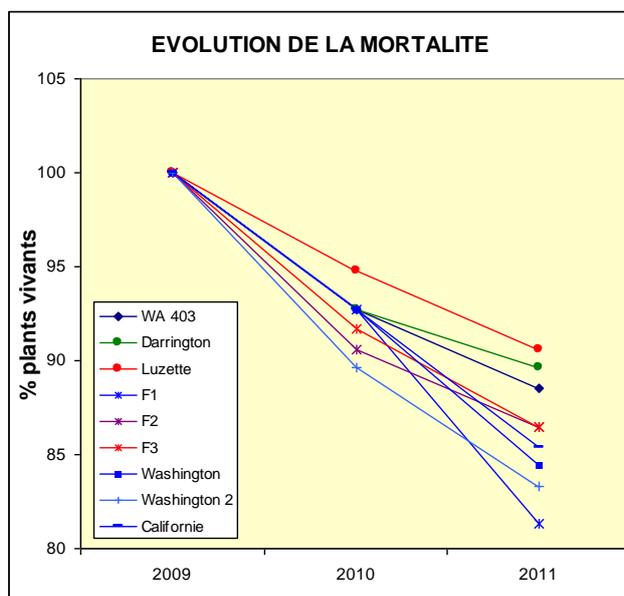
(3) pourcentage calculé par rapport à l'effectif vivant fin 2011

En 2010-11, ce dispositif a été soumis à de fortes contraintes : i) des gelées précoces et tardives, fréquentes à cette altitude (1080 m), mais aussi ii) un printemps 2011 extrêmement sec, dont l'impact a été accentué par la nature du sol (léger et filtrant) et iii) une attaque d'hylobe assez marquée puisque le DSF local a répertorié 20-30% de plants touchés le 5 mai.

Dans ces conditions difficiles, 52 nouveaux individus (6,5% du nombre de plants vivants fin 2010) sont morts en 2011, ce qui porte le taux de mortalité à 13,8% depuis la plantation. Les provenances ne diffèrent pas significativement, même si France 1 a vu son effectif décroître de 12% en 2011. On constate par ailleurs que la mortalité est plus forte chez les plants ayant subi des dégâts en 2010 (gel précoce, cime sèche, abrutissement) que chez les plants sains (13% de morts *versus* 4%). En particulier, l'effet gel est hautement significatif.

Si la mortalité ne s'est pas aggravée de façon excessive, en revanche, l'état sanitaire des plants vivants n'est pas irréprochable. On dénombre notamment 17,5% d'individus à cime sèche. Avec 30% de plants atteints, La Luzette est significativement plus touchée que Californie. En outre, ces dégâts sont deux fois plus fréquents dans l'inter-andain 1 que dans les trois autres (31% vs 14%). Ces dessèchements de cime sont en partie imputables aux gelées précoces car ils sont significativement plus fréquents dans la population ayant souffert des gels de l'automne 2010 que dans la population épargnée (37% vs 14%). La sécheresse qui a sévi au printemps 2011, les gelées tardives, et peut-être l'attaque d'hylobes, nous semblent également avoir contribué à ces descentes de cime mais il est impossible de l'affirmer avec certitude car

nos observations du mois de juin ne nous ont pas permis de déterminer l'origine exacte des nombreux dépérissements constatés (rougissements d'aiguilles, flétrissement, jaunissement et dessèchement des jeunes pousses de l'année) (cf photos).



Après l'épisode de sécheresse printanier, les plants ont reverdi, si bien que les décolorations de feuillage sont quasiment inexistantes en fin de saison de végétation (seulement 4 plants jaunes). Les dégâts de gibier sont également faibles (14 plants endommagés) et 14 plants ont été coupés lors de l'entretien.

Lors des notations d'octobre 2011, 5% des plants présentaient déjà des extrémités de pousses grillées par les premières gelées. Le fait que de nombreux plants n'étaient toujours pas aoûtés à cette époque laisse augurer de nouveaux dégâts dans le courant de l'automne. La répétition des dégâts de gel favorise le développement d'un port buissonnant. Dans cet essai, 28% des individus possèdent au moins deux leaders.

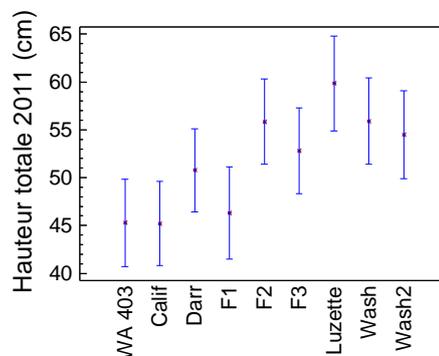
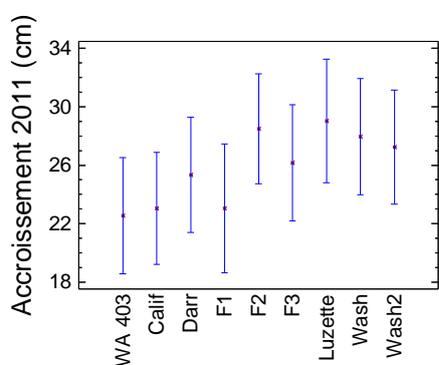
Enfin, les plants ayant souffert de la chaleur durant l'élevage en pépinière ne se distinguent pas des plants indemnes pour la mortalité et l'ensemble de ces problèmes sanitaires.

* Croissance en hauteur

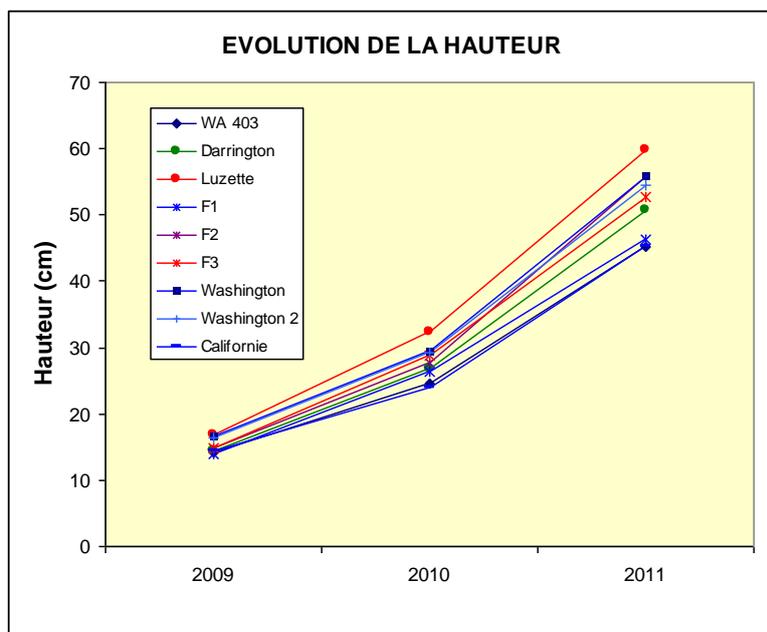
Variété	nb observations	hauteur 2011 (cm)	accroissement 2011 (cm)
WA 403	65	45.3 (a)	22.5 (a)
Darrington	71	50.8 (abc)	25.3 (a)
Luzette écl.	56	59.9 (c)	29.0 (a)
France 1	59	46.3 (ab)	23.0 (a)
France 2	68	55.8 (c)	28.5 (a)
France 3	67	52.8 (abc)	26.2 (a)
Washington	66	55.9 (c)	28.0 (a)
Washington 2	64	54.5 (bc)	27.2 (a)
Californie	70	45.2 (a)	23.1 (a)

En 2011, les plants se sont allongés de 26,5 cm. Cette moyenne masque cependant de fortes hétérogénéités entre plants (croissance comprise entre 1 cm et 83 cm, coefficient de variation de 53%), vraisemblablement dues aux accidents climatiques de l'année. En raison des fortes variances intra-provenances, l'effet génétique n'est pas significatif.

Après deux années sur le terrain, la hauteur totale s'établit à 52,6 cm. Le trio de tête, constitué de La Luzette, France 2 et Washington, se distingue du groupe "seed zone 403 - Californie - France 1" par une croissance plus forte. Notons cependant que le classement de La Luzette est exagérément flatteur dans la mesure où les plants à cime sèche, nombreux dans cette variété, ont été éliminés de l'analyse.



L'effet site est hautement significatif. On observe en effet un gradient de croissance entre l'interandain 1 (exposé aux gelées) et 4 (abrité par des boisements limitrophes). Par ailleurs, les plants endommagés par la chaleur durant leur élevage en pépinière ont produit des accroissements 2011 plus faibles que les plants indemnes (23,1 cm vs 26,8 cm). En moyenne, leur hauteur totale est inférieure de 8 cm (44,8 cm vs 52,8 cm) mais ces écarts sont très variables d'une provenance à l'autre.



2.1.2.3.- Guéry (EV_DF_2010.03 – ONF)

Ce dispositif mono-arbre a été planté en avril 2010, à 1110 m d'altitude (Puy-de-Dôme). Ses caractéristiques ont été présentées dans le rapport d'activité 2010 (février 2011, p. 12-13).

Seuls les résultats 2010 (retard de la convention précédente) sont reportés ici.

* Interventions 2010

- dégagement "sur la ligne" en juillet
- plusieurs visites durant l'été
- mesures réalisées le 27 octobre

* Bilan global

Les mesures et notations concernent la survie, l'état sanitaire et la croissance en hauteur. Les données ont été analysées selon le modèle suivant :

- pourcentages : test du Khi-deux
- variables continues : analyse de variance à deux facteurs (provenance, répétition) puis comparaison des moyennes à l'aide du test de Newman-Keuls. Des changements de variables ont dû être effectués de manière à satisfaire aux conditions de normalité.

Variabes étudiées	effet provenance	effet répétition
% mortalité	NS	NS
% cimes sèches	NS	*
% dégât de gibier	NS	***
% coloration anormale	NS	**
Accroissement en hauteur 2010	***	***
Hauteur totale fin 2010	***	**

(*), *, **, *** effet significatif au seuil de 10%, 5%, 1%, 1%

NS : non significatif

* Mortalité et état sanitaire

L'état des plants a été noté selon le barème suivant : 0- plant sain et vert, 2- cime sèche, 5- dégât de gibier, 8- autres observations (dépérissement, jaunissement, gel..), 9- plant mort.

Prov.	Notation état sanitaire				
	Plants sains et verts	morts	Cimes sèches	Dégâts de gibier	Coloration anormale
CALI_MIX_2007.VG	84.4%	2.1%	3.1%	4.2%	6.3%
DARR_2008.VG	88.5%	0.0%	3.1%	3.1%	4.2%
FRA1_2007.VG	78.1%	5.2%	1.0%	11.5%	4.2%
FRA2_2007.VG	85.4%	1.0%	0.0%	3.1%	7.3%
FRA3_2007.VG	87.5%	0.0%	2.1%	5.2%	4.2%
LUZ1.5_2007.VG	86.5%	2.1%	1.0%	3.1%	6.3%
WA403_MIX	83.3%	2.1%	2.1%	6.3%	6.3%
WASH_2008.VG	78.1%	2.1%	1.0%	10.4%	6.3%
WASH2_2007.VG	85.4%	1.0%	0.0%	4.2%	7.3%
Total	84.1%	1.7%	1.5%	5.7%	5.8%

Pourcentages calculés par rapport aux effectifs plantés

Fin 2010, le pourcentage de mortalité s'élève, en moyenne, toutes provenances confondues, à 1.7% (15 plants morts seulement). Aucune différence significative entre provenances n'est mise en évidence sur cette variable d'état sanitaire. On peut toutefois noter que la provenance France 1 présente un taux de mortalité assez nettement supérieur à toutes les autres, avec 5.2% de plants morts fin 2010.

Quelques plants ont été abroustis, sans doute par des chevreuils, au cours de l'été. Ces dégâts concernent 5.7 % des plants (49 plants). On observe par ailleurs que près de la moitié de ces dégâts se situe dans la partie haute du dispositif, entre les répétitions 77 et 96 (effet très significatif de la répétition sur le nombre d'individus endommagés par le gibier).

Seuls 13 plants (1.5%) présentent une cime sèche. Par contre 60 plants (6.9%) présentent des signes de jaunissement plus ou moins importants.

** Croissance en hauteur*

Pour les analyses suivantes, les plants présentant des cimes sèches, des abroustissements, ainsi bien sûr que les plants morts, ont été exclus des calculs. Par contre les plants jaunissants ou présentant des pertes partielles d'aiguilles ont été maintenus.

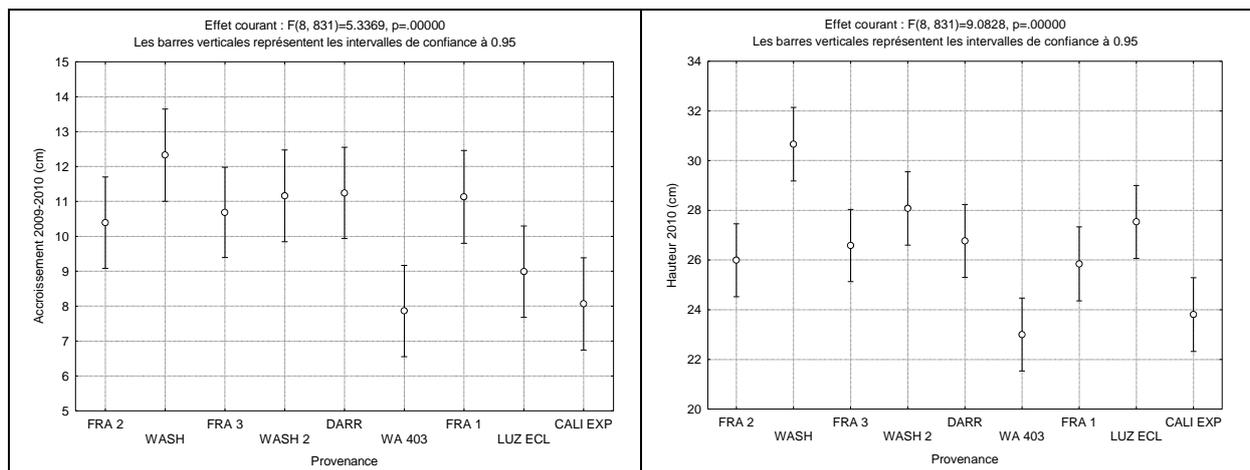
PROVENANCES	Nbre mesurés	Ht 09	Ht 10	Accroiss 09-10
WA403_MIX	86	15.2 (a)	23.2 (a)	7.9 (a)
CALI_MIX_2007.VG	87	15.9 (ab)	24.1 (ab)	8.2 (a)
FRA1_2007.VG	81	14.6 (a)	25.8 (bc)	11.2 (bc)
FRA2_2007.VG	91	15.5 (ab)	26,2 (bc)	10.7 (bc)
FRA3_2007.VG	89	15.9 (ab)	26.7 (bc)	10.9 (bc)
DARR_2008.VG	88	15.5 (ab)	26.9 (bc)	11.4 (bc)
LUZ1.5_2007.VG	90	18.6 (c)	27.6 (c)	8.9 (ab)
WASH2_2007.VG	89	17.0 (b)	28.2 (c)	11.1 (bc)
WASH_2008.VG	82	18.9 (c)	31.6 (d)	12.7 (c)

ANOVA effectuées sur variables transformées (puissance 0.5) pour Ht10 et Accroiss 09-10.
 Pour Ht 09, aucun changement de variable n'a permis de résoudre le problème d'hétéroscédasticité.

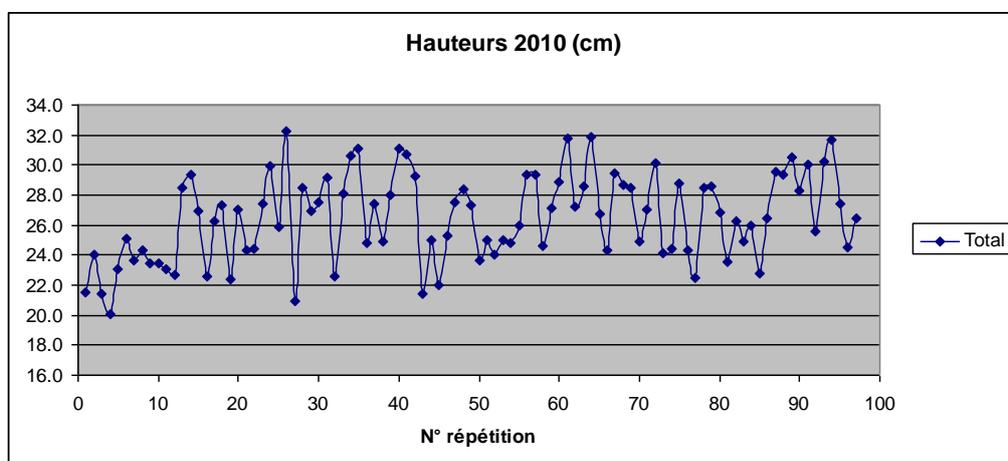
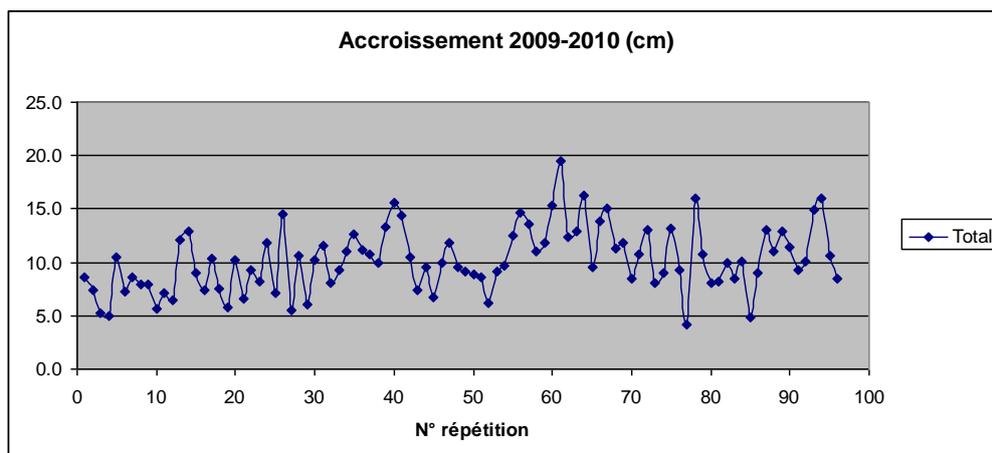
En 2010, les plants se sont allongés en moyenne, toutes provenances confondues de 10.2 cm, ce qui porte la hauteur totale moyenne à 26.5 cm. L'effet provenance est très significatif, que ce soit pour les hauteurs 2010 ou pour les accroissements 2009-2010. L'effet répétition est également très significatif pour les accroissements sur cette première saison de végétation.

On peut noter que la provenance Luzette éclairci, qui présentait la plus forte hauteur initiale, a un accroissement relativement faible. La provenance Washington VG présente à la fois le meilleur accroissement et la plus forte hauteur 2010. Par contre cette provenance présentait le deuxième plus fort taux de mortalité après France 1 (qui reste quand même très acceptable). Toutes les provenances VG testées sont supérieures en hauteur 2010 et en accroissement au témoin Washington 403. Parmi les VG, à noter la faiblesse relative de CALI EXP, dont la croissance sur cette première saison de végétation est moindre, toutefois semblable à celle du témoin Wash 403.

Graphes 1 et 2 : accroissements 2009-2010 et hauteur totale 2010



* Effet répétition sur la hauteur 2010 et l'accroissement 2009-2010 :



Aucun de ces deux graphes ne permet de tirer des conclusions sur les raisons des différences entre les répétitions. Une zone de « faiblesse » apparaît toutefois pour les répétitions 1 à 12 (zone légèrement mouilleuse). Les prochaines mesures permettront peut-être de confirmer cette observation.

Conclusion :

- Suite à ces premières mesures, les provenances présentant le meilleur compromis état sanitaire/croissance sont les vergers à graines Darrington et Washington 2, France 2 et France 3. On peut toutefois déplorer pour Darrington un taux de cimes sèches « inexplicées » de 3.1%.
- La provenance Californie a des performances proches de celles du témoin Washington 403.
- Cet essai fait partie d'un réseau comprenant plusieurs sites comparables. Une analyse multisite, ainsi que de nouvelles campagnes de mesures, permettront d'affiner et éventuellement de confirmer ces premiers résultats.

2.1.2.4.- La Versanne (EV_DF_2011.01 – Irstea)

Ce dispositif mono-arbre a été planté en avril 2011, à 1220 m d'altitude (cf point 1.2. de ce rapport). Il a été traité au Forester le 27 juin 2011.

* Protocole de mesure

- Etat général

0- plant sain 2- cime sèche 5- abrouiti (pousse ppale) 6- frotté
 7- endommagé lors du/des dégagement(s) 8- problème particulier 9- mort
 Seuls les codes 0, 2, 5, 8 et 9 ont été utilisés sur ce site. Le code 8 a été affecté aux plants présentant des dégâts d'insectes (hylobes).

- Le déficit foliaire n'a pas été noté compte tenu de l'âge des plants.

- Hauteur 2010 et 2011.

* Analyse statistique: cf St Junien

* Résultats : bilan général

Variable étudiée	Effet provenance	Effet répétition	Effet "S pep" (1)
% plants notés "S pep" (1)	***	NS	-
% mortalité fin 2011	NS	NS	**
% cimes sèches	*	**	**
% plants abrouitis	*	*	NS
% morsures d'hylobe	*	**	NS
Hauteur 2010	***	NS	***
Hauteur totale 2011	***	NS	***
Accroissement en hauteur 2011	***	NS	(*)

(1) Le code "S" a été utilisé pour identifier les plants ayant souffert de la chaleur en pépinière, durant l'été 2009 (toutes provenances hormis les familles du verger Californie)

(*), *, **, *** effet significatif au seuil de 10%, 5%, 1%, 1%

NS : non significatif

* Etat sanitaire

Variété	% plants "S" (1)	% morts en 2011 (1)	% cimes sèches (2)	% plants abrouitis (2)	% morsures d'hylobe (2)
WA 403	47.9 (bc)	7.3	27.0 (b)	9.0 (ab)	0 (a)
Darrington	61.5 (c)	5.2	26.4 (b)	3.3 (a)	4.4 (ab)
Luzette éclairci	34.4 (ab)	2.1	8.5 (a)	9.6 (ab)	8.5 (ab)
France 1	47.9 (bc)	2.1	18.1 (ab)	8.5 (ab)	5.3 (ab)
France 2	36.5 (ab)	4.2	15.2 (ab)	12.0 (ab)	7.6 (ab)
France 3	40.6 (abc)	1.0	20.0 (ab)	6.3 (ab)	10.5 (ab)
Washington	26.0 (a)	4.2	15.2 (ab)	17.4 (b)	13.0 (b)
Washington 2	21.9 (a)	2.1	19.1 (ab)	11.7 (ab)	6.4 (ab)
Californie	inconnu	5.2	26.4 (b)	4.4 (a)	5.5 (ab)
Moyenne	39.6%	3.7%	19.5%	9.1%	6.8%
	304 plants	32 plants	162 plants	76 plants	57 plants

(1) pourcentage calculé par rapport à l'effectif planté

(2) pourcentage calculé par rapport à l'effectif vivant fin 2011

A l'issue de la première saison sur le terrain, le taux de mortalité est limité (3,7%) et indépendant de la provenance. Ce constat est une heureuse surprise dans la mesure où les plants ont dû faire face à la sécheresse du printemps 2011 (sans doute tempérée par l'altitude dans le cas présent) et, surtout, des dégâts d'insectes. La visite effectuée mi-juin a en effet mis en évidence de nombreuses attaques, caractérisées par des consommations d'écorce sur les pousses 2010 (celles de 2011 n'étant pas encore - ou peu - allongées), d'aiguilles et de bourgeons (cf photos). Ces derniers symptômes laissent à penser que l'hylobe n'est pas seule en cause mais que d'autres charançons (des genres *Pissodes* et/ou *Magdalis*) sont aussi impliqués (FX Saintonge, comm. pers.). Une partie des blessures se sont cicatrisées en cours de saison, ce qui explique le pourcentage relativement faible de plants endommagés par les insectes fin 2011 (6.8%).

A l'intersaison 2011/12, une forte proportion des plants vivants présente une cime sèche. Au moment des notations, il n'était malheureusement plus possible d'en déterminer la cause avec certitude (mauvais état physiologique, attaque d'insectes, abrutissement). Trois provenances (WA 403, Californie et Darrington) ont plus de 20% d'individus à cime sèche ; elles diffèrent significativement de La Luzette qui est la moins affectée (8.5%). D'autre part, on note que la variété Washington est particulièrement touchée par les abrutissements et les attaques d'hylobe.

Bien que l'effet répétition soit souvent significatif, les individus morts, à cime sèche, endommagés par le chevreuil ou les insectes sont répartis de façon relativement homogène sur l'ensemble du dispositif.



D'autre part, il convient de souligner que les plants notés "S", endommagés durant leur élevage en pépinière, se distinguent des plants sains par un plus fort taux de mortalité (6.2% *versus* 2.3%) et de cimes sèches (24.9% *vs* 16.6%). Cette tendance générale n'est toutefois pas respectée pour toutes les provenances.

** Croissance en hauteur*

Préambule : il faut être conscient du fait que les analyses de hauteur 2011 et de l'accroissement en hauteur ne portent que sur les plants exempts de cime sèche et d'abrutissement, c'est-à-dire seulement 71% des plants vivants.

Variété	hauteur 2010 (cm) (1)	nb observations (H2011)	hauteur 2011 (cm) (2)	accroissement 2011 (cm) (2)
WA 403	22.9 (ab)	57	37.1 (b)	12.8 (abc)
Darrington	23.6 (ab)	64	37.1 (b)	9.8 (a)
Luzette écl.	34.2 (d)	77	51.8 (d)	17.3 (cd)
France 1	28.3 (c)	69	47.8 (cd)	17.2 (cd)
France 2	28.6 (bc)	66	48.9 (cd)	18.2 (d)
France 3	28.3 (bc)	70	44.4 (bc)	14.8 (bcd)
Washington	33.4 (cd)	61	50.2 (cd)	16.2 (cd)
Washington 2	31.9 (cd)	65	49.5 (cd)	16.3 (cd)
Californie	18.5 (a)	63	29.9 (a)	10.9 (ab)
Moyenne	27.7 cm		44.1 cm	14.8 cm

(1) moyenne calculée sur tous les individus vivants fin 2011 (hauteur sans doute sous-estimée car certains plants ont été enterrés bien au-dessus du collet)

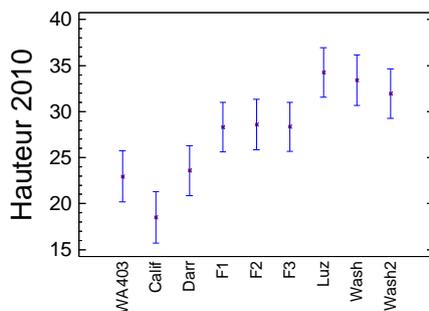
(2) moyennes calculées sur les plants exempts de cime sèche et non abrutis

Après deux années d'élevage à la pépinière des Milles, les plants mesuraient en moyenne 27.7 cm, avec des disparités marquées entre provenances (18.5 cm et 34.2 cm respectivement pour Californie et La Luzette).

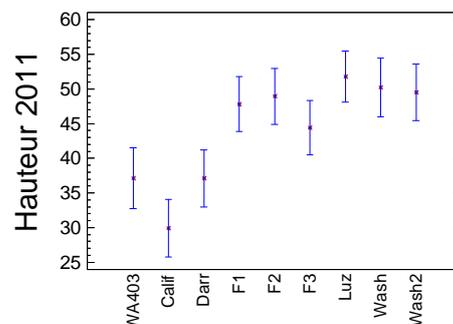
En 2012, année de reprise, les plants se sont allongés de 14.8 cm en moyenne. Les plus forts accroissements se retrouvent chez France 2, La Luzette, France 1, Washington et Washington 2. A l'opposé, Darrington, Californie et la seed zone WA 403 ont une faible croissance.

En définitive, la hauteur totale atteint en moyenne 44.1 cm. Un groupe de 6 variétés, composé de La Luzette, des deux vergers "Washington" et des trois vergers "France" se distinguent nettement du trio "Darrington, WA 403, Californie".

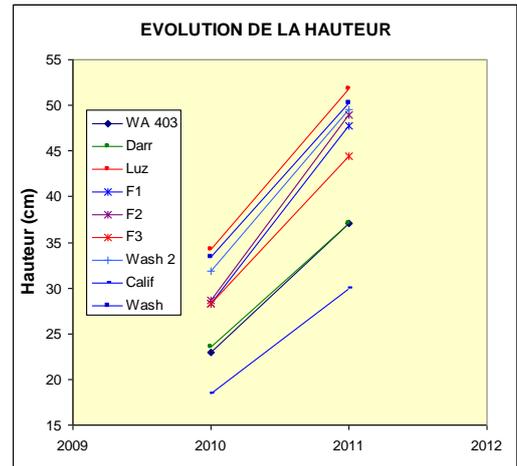
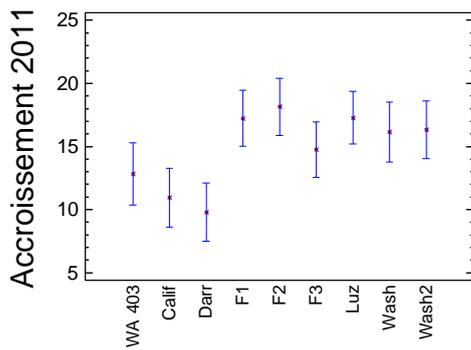
Moyennes et intervalles à 95,0% de Tukey HSD



Moyennes et intervalles à 95,0% de Tukey HSD



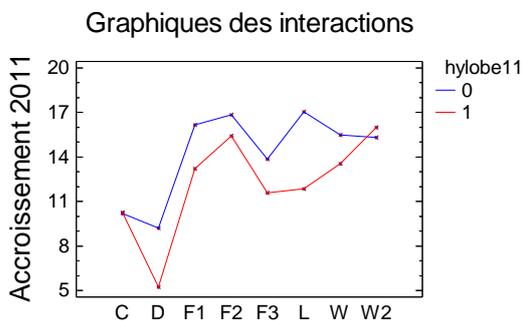
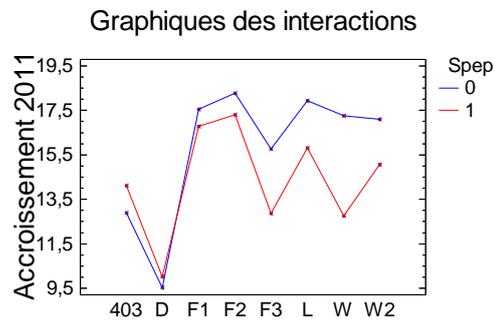
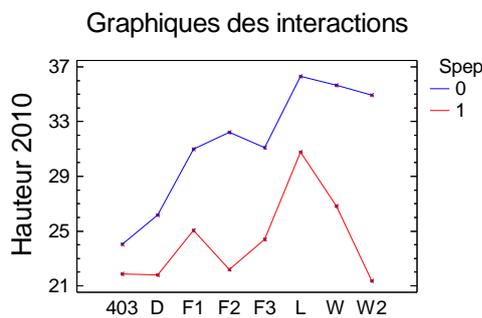
Moyennes et intervalles à 95,0% de Tukey HSD



L'effet "répétition" n'est pas significatif. En revanche, la hauteur est influencée par la présence/absence de dégâts en pépinière. Les plants endommagés se caractérisent par une plus faible hauteur 2010 (24.1 cm vs 32.1 cm) et 2011 (40.5 cm vs 49.7 cm). En revanche, les accroissements 2011 ne diffèrent pas significativement.

Par ailleurs, les plants présentant une cime sèche étaient plus petits à la plantation. Ce résultat est cohérent avec le fait que les plants "S" sont plus sujets aux descentes de cime.

Enfin, les hylobes et les chevreuils se sont attaqués à des individus vigoureux (hauteur 2010 supérieure à celle des plants indemnes). Les dégâts d'hylobe ont entraîné une légère perte de croissance en 2011.



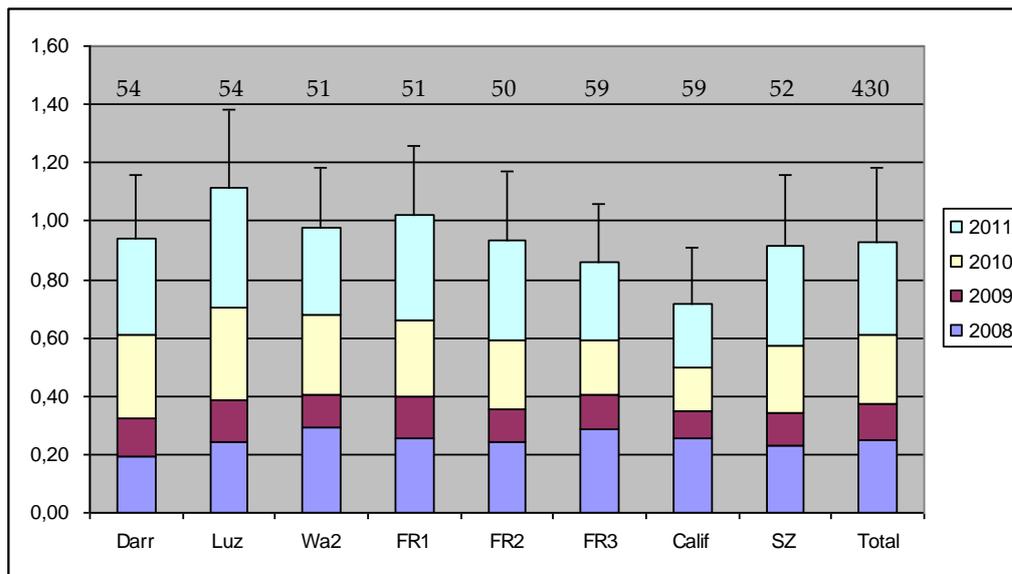
2.1.2.5.- St Sauveur de Peyre (DE_DF_2009.03 –CNPF)

Ce test de démonstration a été planté en avril 2009, à 1095 m d'altitude, sur une ancienne terre agricole (Lozère). Il est constitué de 8 placeaux contenant chacun 60 individus d'une même provenance.

* Résultats 2011 : mortalité et croissance des 8 provenances sur les 3 premières années

	% morts	% plants jaunes	Haut. 2011 (écart type) en cm	Accr. relatif 2011* (écart type)	Effectif analysé
WA 403	0	3	0.91 (0.25)	54 (37)	55
Darr	2	2	0.94 (0.28)	54 (19)	56
Luz	0	2	1.10 (0.22)	60 (23)	56
FR1	0	2	0.97 (0.23)	56 (28)	51
FR2	2	0	0.92 (0.24)	57 (31)	53
FR3	0	2	0.86 (0.20)	45 (22)	57
WA2	0	2	0.97 (0.21)	43 (19)	50
Calif	2	2	0.72 (0.19)	54 (38)	59
Moyenne	< 1 %	< 2 %	0.93 (0.25)	52 (29)	437 soit 91 %

*(H2011-H2010)/H2010 x 100



Les nombres au dessus des histogrammes correspondent au nombre de plants pris en compte pour les établir. Seuls les plants n'ayant jamais subi d'altération de leur croissance (blessures diverses, abroutissement, frottis) sont pris en compte.

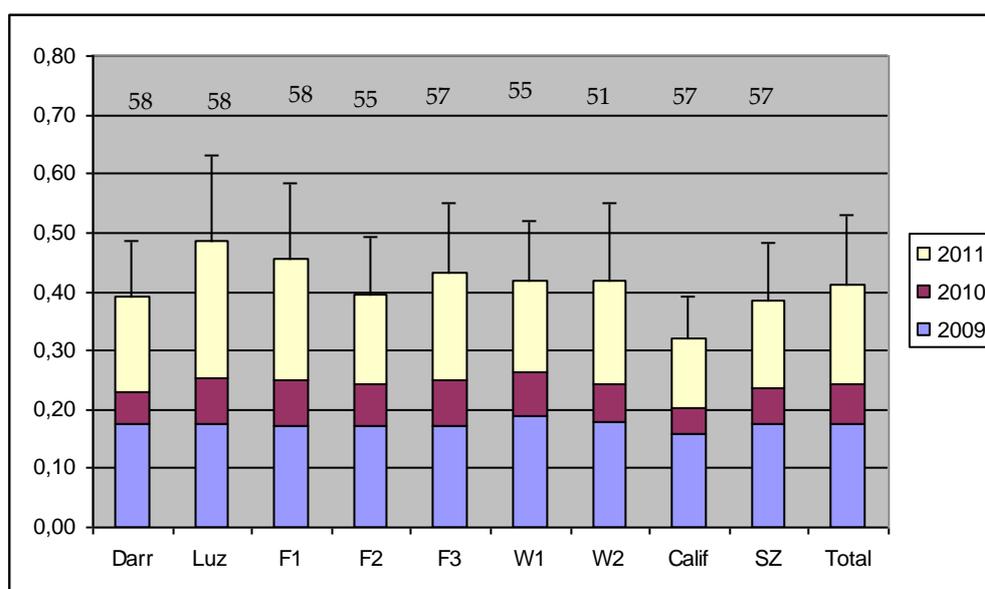
2.1.2.6.- Montregard (DE_DF_2010.02 –CNPF)

Ce test de démonstration a été planté fin avril 2010, à 1010 m d'altitude (Haute-Loire). Il est constitué de 8 placeaux contenant chacun 60 individus d'une même provenance.

** Résultats 2011 : mortalité et croissance des 9 provenances sur les 2 premières années*

	% morts	% plants jaunes	Haut. 2011 (écart type) en cm	Accr. Relatif 2011*	Effectif analysé
WA 403	3	2	0.38 (0.10)	63 (37)	57
Darr	2	0	0.39 (0.09)	71 (38)	58
Luz	0	3	0.48 (0.15)	92 (43)	58
FR1	3	4	0.46 (0.12)	84 (34)	58
FR2	3	4	0.39 (0.10)	64 (37)	55
FR3	0	7	0.42 (0.12)	73 (37)	57
WA	3	7	0.42 (0.10)	60 (35)	55
WA2	5	10	0.42 (0.13)	72 (40)	51
Calif	0	3	0.31 (0.08)	61 (33)	57
Moyenne	< 3 %	< 4 %	0.41 (0.12)	71 (38)	506

*(H2011-H2010)/H2010 x 100



2.1.3.- Marge 1

2.1.3.1.- Les Barres (EV_DF_2009.03 – Irstea)

Ce dispositif mono-arbre a été planté en mars 2009, sur le domaine des Barres (Loiret). Ses caractéristiques ont été présentées dans le rapport d'activité 2009 (février 2010, p.158).

** Caractères étudiés*

Outre les mesures annuelles de l'intersaison 2011/12, des notations ont été effectuées en juin 2011, à l'issue d'un printemps particulièrement sec. Des dessèchements de pousses ayant été observés, l'objectif était de mettre en évidence d'éventuelles différences de comportement des variétés évaluées.

Juin 2011

- Mortalité

- Dessèchement de jeunes pousses 2011

Ces dégâts, observés mi-avril, affectent des pousses tout juste émergées aussi bien que des pousses déjà allongées. Ces dernières peuvent ne présenter qu'un apex rouge et sec mais, le plus souvent, elles sont totalement flétries, desséchées, roussies (cf photos). Les causes pouvant être différentes (gel, sécheresse), ces symptômes ont été comptabilisés séparément. Le nombre de pousses grillées de type 1 (émergentes) et 2 (allongées) a été déterminé le 21 juin 2011, en se fixant comme seuil une longueur de pousse de 3 cm.

Type 1 : note de 0 à 3 en fonction du nombre de pousses concernées (0- aucun dégât, 1- 1 à 7 pousses desséchées, 2- 8 à 15 pousses, 3- plus de 15 pousses)

Type 2 : note de 0 à 2 selon les mêmes critères.

Ces notations ont été réalisées sur les plants d'origine installés au printemps 2009 n'ayant pas exagérément souffert de dégâts de gibier. Les regarnis de 2010 sont donc exclus.

NB- Les rougissements d'aiguilles anciennes, assez fréquents dans la partie basse des plants, n'ont pas fait l'objet de notation.

Mars 2012

- Mortalité et état sanitaire (0- plant sain, 2- cime sèche, 5- abrouiti, 6- frotté, 8- cime cassée, 9- mort) – Pour les frottis de chevreuil, ne sont répertoriés que les dégâts de 2011 ou les blessures plus anciennes non refermées.

- Déficit foliaire (1, 2, 3 années d'aiguilles – observation réservée aux plants d'origine)

- Décoloration du feuillage (jaune ou rouge)

- Polycyclisme (observation basée sur l'examen de la seule pousse principale)

- Hauteur totale 2011 des individus ne présentant pas de dégât rédhibitoire

- Longueur de la pousse 2011 (en mesurant la hauteur au sommet et à la base du leader).

** Météo et phénologie du débournement*

Les données ci-dessous sont issues du poste météorologique des Barres et les températures ont été relevées sous abri. Comme dans de nombreuses régions françaises, le début de l'année 2011 est caractérisé par des précipitations exceptionnellement faibles – ce déficit hydrique s'ajoute à ceux de 2009 et 2010 - et des températures élevées. Ces facteurs, particulièrement défavorables en avril et mai, sont susceptibles d'affecter le débournement et la croissance des pousses, processus qui nécessitent des ressources en eau importantes. Pour cette raison, un arrosage a été réalisé les 11-12 mai (8.5 l/plant), de crainte de perdre un grand nombre de plants.

	Janv	Fév	Mars	Avril				Mai			
				D1	D2	D3	total	D1	D2	D3	total
T°C moy. 2011	3.8	5.8	8.7	13.9	11.5	15.1	13.5	16.3	15.5	15.9	15.9
T°C moy. 1971-2000	3.4	4.3	7.0				9.3				13.4
T°C minimorum 2011	-7.4	-4.0	-3.1	3.4	-1.2	5.7	-1.2	1.2	3.7	4.0	1.2
T°C maximorum 2011	15.2	17.7	20.8	26.0	24.4	25.5	26.0	27.0	31.3	29.1	31.3
Précipitations 2011 (mm)	36.0	22.4	32.4	14.0	0	1.0	15.0	0	0	21.5	21.5
Précipitations 1971-2000 (mm)	62.7	55.6	53.1				49.5				68.0

D : décade

Le débourrement n'a pas fait l'objet d'un suivi fin comme en 2010. Nos observations nous permettent cependant de dire i) que les plants les plus précoces (variété californienne) ont débourré durant la première semaine d'avril (avec une évolution du bas vers le haut du plant) et ii) que des individus tardifs n'avaient pas encore débourré le 23 avril. Il semble que la phénologie soit similaire à celle de Sémelay et que les plants aient débourré au cours du mois d'avril.

Durant cette période, des gels ont été enregistrés sous abri (-1.2°C le 13 avril, -0.2°C le 15 avril). Compte tenu de l'écart de température existant entre le sol et la station météo (jusqu'à 5°C), de faibles gelées ont également pu se produire au niveau des plants jusqu'au 5 mai. A cette date, les pousses étaient en élongation pour la grande majorité des individus.

** Résultats: Bilan général*

Variables étudiées	Effet provenance	Effet bloc ou zone (1)	Interaction prov. x bloc
<u>Jun 2011</u>			
% mortalité des regarnis	NS	**	n.a.
% mortalité des plants d'origine	NS	***	n.a.
Dégâts de type 1 (note)	***	**	NS
Dégâts de type 2 (note)	**	***	NS
Dégâts de types 1 et 2 (note)	***	***	NS
<u>Mars 2012</u>			
<i>Plants d'origine :</i>			
% mortalité	NS	**	n.a.
Déficit foliaire	NS	(*)	n.a.
Polycyclisme	NS	NS	n.a.
Accroissement en hauteur 2011	***	*	NS
Hauteur totale	**	***	NS
<i>Regarnis :</i>			
% mortalité	NS	**	n.a.
Polycyclisme	NS	NS	n.a.
Accroissement en hauteur 2011	(*)	NS	NS

Hauteur totale	**	NS	NS
----------------	----	----	----

(*), *, **, *** : effet significatif au seuil de 10%, 5%, 1%, 1%

NS : non significatif

(1) L'essai a été découpé en 8 blocs (utilisés pour les plants d'origine) et 3 zones (utilisées pour les regarnis)

** Dessèchement de pousses du printemps 2011*

	nb plants	Type 1	Type 2	Types 1 et 2
		note moy.	note moy.	note moy.
WA 403	51	0.55 (a)	0.45 (ab)	1.0 (bc)
Darrington	47	0.39 (a)	0.39 (ab)	0.78 (ab)
Luzette non éclairci	54	0.31 (a)	0.23 (ab)	0.54 (ab)
Luzette éclairci	52	0.40 (a)	0.18 (ab)	0.58 (ab)
France 1 (2007)	51	0.26 (a)	0.55 (b)	0.82 (ab)
France 2	60	0.38 (a)	0.50 (b)	0.88 (b)
France 3	44	0.28 (a)	0.24 (ab)	0.52 (ab)
Washington 2	37	0.23 (a)	0.08 (a)	0.31 (a)
Californie (expé)	53	1.17 (b)	0.39 (ab)	1.55 (c)

Les valeurs suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (classement du test de Tukey en considérant la provenance et le bloc respectivement comme des effets fixe et aléatoire et après transformation de variable en racine carrée)

** Type 1 (pousses émergentes)*

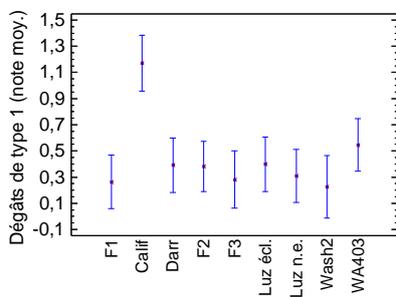
Toutes provenances confondues, 42% des individus présentent des pousses flétries ou grillées. Avec 83% d'individus atteints (et 38% d'individus notés 2 ou 3), la variété "Californie" diffère significativement de toutes les autres provenances.

** Type 2 (pousses allongées)*

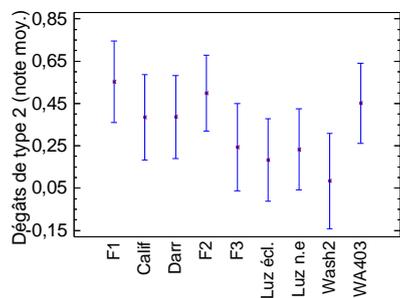
Ces dessèchements de pousses se rencontrent sur 31% des plants du dispositif. Washington 2 en est quasiment exempt et diffère significativement de France 1 et France 2 qui sont les variétés les plus atteintes.

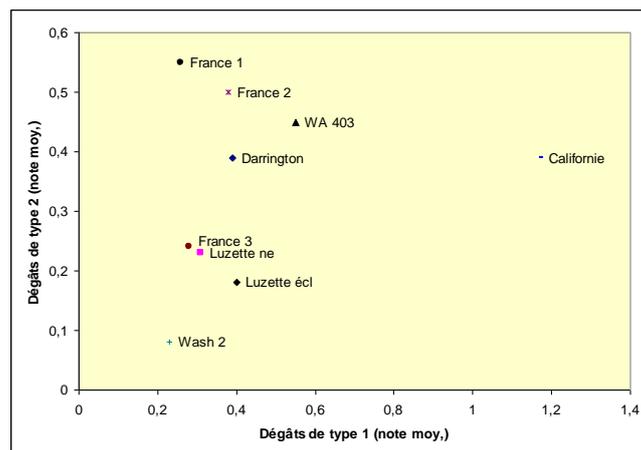
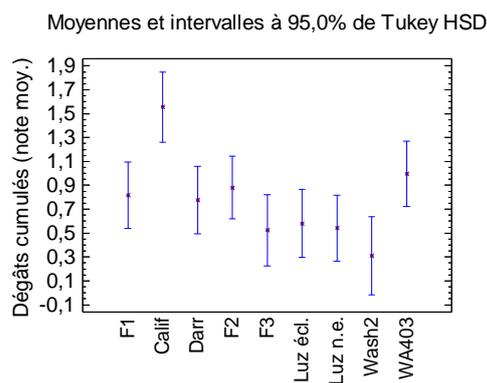
Si l'on cumule les deux notations, la variété californienne est celle qui présente les dégâts les plus importants. Elle est suivie de Washington 403 et France 2 mais ces deux provenances ne diffèrent significativement que de Washington 2 qui est très peu touchée par ces dessèchements.

Moyennes et intervalles à 95,0% de Tukey HSD



Moyennes et intervalles à 95,0% de Tukey HSD





** Comparaison des deux lots de plants des vergers Californie et France 1*

Les populations issues des récoltes commerciale et expérimentale 2007 du verger Californie se comportent de façon identique pour les deux types de dégâts, seuls et cumulés. En revanche, les plants de la récolte 2006 de France 1, avec forte présomption de pollution pollinique, sont significativement plus touchés par les dégâts de type 1 que leurs homologues de la récolte 2007, exempte de contamination pollinique (notes moyennes de 0.66 et 0.25 respectivement). Cependant, ces deux populations ne diffèrent pas significativement lorsque l'on cumule les deux types de dégât.

Photos prises le 23 avril 2011



Dégâts de type 1



Type 2



Plant regarni sec

Conclusion

Afin de pouvoir dissocier des dégâts occasionnés par des facteurs différents, les notations différenciaient les dessèchements/flétrissements survenus sur pousses émergentes et pousses déjà bien allongées. Les différences de classement des provenances selon le type de pousse et les faibles corrélations observées entre les deux catégories de dégâts semblent nous donner raison. A priori, nous considérons donc que les dégâts de type 1 sont imputables au gel tandis que les dégâts de type 2 sont plutôt dus à la sécheresse. Cette interprétation est peut-être trop manichéenne car les pousses endommagées sont de toutes longueurs et les deux types de

dégâts ne sont pas faciles à différencier. D'autre part, si l'on accepte l'idée que le gel est responsable des dessèchements de pousses émergentes, il est surprenant que des variétés précoces, autres que Californie, ne soient pas plus endommagées.

Dans ces conditions, la conclusion principale est que la variété californienne présente des dessèchements de pousses plus fréquents et plus sévères que les autres provenances testées, notamment Washington 2 et La Luzette, et nous resterons modestes quant à la nature des facteurs incriminés.

** Mortalité et rétention d'aiguilles*

Plants d'origine

Provenance	% morts (1)	déficit foliaire	
		note moy.	% plants très défoliés (2)
WA 403	5.6	1.96	10.0
Darrington	0	1.98	10.4
Luzette non éclairci	3.2	1.99	6.7
Luzette éclairci	5.2	2.02	11.1
France 1 (2007)	8.3	2.00	12.7
France 2	4.6	2.02	8.1
France 3	4.3	2.13	6.7
Washington 2	7.1	2.12	0
Californie (expé)	9.8	1.90	14.8
Moyenne	27 plants 5.4%	2.01	9.2%

(1) depuis mai 2010 (période du regarnis)

(2) une seule année d'aiguilles

Les pertes sont limitées puisqu'elles s'élèvent "seulement" à 24 plants au mois de juin, soit 4,9% des individus vivants à l'intersaison 2010/11. Elles concernent presque exclusivement des individus déjà endommagés (frottis de chevreuil, cime sèche, jaunissement d'aiguilles). L'effet provenance n'est pas significatif. Une nouvelle fois, la partie sud du dispositif est plus touchée.

La mortalité évolue peu durant le 2^{ème} semestre 2011 (3 nouveaux plants disparus). En mars 2012, le taux de mortalité s'établit à 5,4% depuis mai 2010. D'autre part, les protections anti-gibier ont fortement ralenti l'activité des chevreuils : on ne dénombre que 20 individus abrutis ou frottés, soit 4,3% de l'effectif vivant. Les cimes sèches et jaunissements de feuillage sont rares également (7 et 2 individus respectivement). On constate néanmoins que la très grande majorité des arbres (80%) ne conservent que deux années d'aiguilles, signe d'un état sanitaire assez médiocre.

D'autre part, il n'existe pas de différence significative pour la mortalité et le déficit foliaire entre, d'une part, les récoltes 2006 (avec présomption de contamination pollinique) et 2007 (sans pollution) de France 1 et, d'autre part, les récoltes commerciales et expérimentales du verger Californie.

Regarnis

Sur les 331 regarnis plantés au printemps 2010, 16 étaient recensés morts fin janvier 2011. Au printemps 2011, 84 nouveaux individus ont péri, soit 27% de l'effectif vivant l'hiver précédent. Pour la plupart, ces plants ont rougi et séché, sans débourrer (cf photo ci-dessus). Nous attribuons cette mortalité à la sécheresse, aggravée par les fortes températures. Les pertes varient de 17% à 33% en fonction des variétés mais sans effet génétique significatif. En revanche, on note un effet site très net, avec une plus forte mortalité dans les parties sud et ouest de l'essai.

La situation continue à s'aggraver au cours de l'été et l'automne 2011 puisqu'on déplore la perte de 11 nouveaux plants. En mars 2012, 33,6% des regarnis plantés ont disparu (21% à 44% selon la variété). Par ailleurs, on n'observe que peu de plants endommagés (3,6% d'individus à cime sèche).

** Croissance en hauteur et polycyclisme*

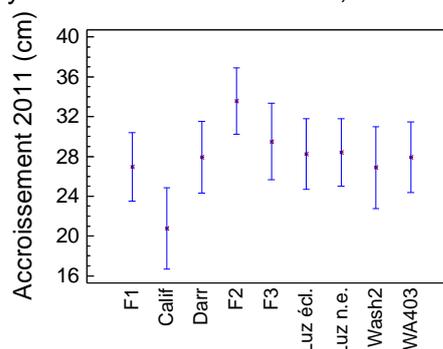
Plants d'origine

Provenance	nb individus	% polyclisme	accroissement 2011 (cm)	hauteur 2011 (cm)
WA 403	49	9.8	27.9 (ab)	77.3 (ab)
Darrington	47	12.5	27.9 (ab)	81.5 (ab)
Luzette non éclairci	55	10.0	28.4 (b)	83.1 (ab)
Luzette éclairci	54	10.9	28.2 (b)	85.0 (ab)
France 1 (2007)	52	20.0	27.0 (ab)	82.9 (ab)
France 2	60	12.9	33.6 (b)	93.3 (b)
France 3	43	11.1	29.5 (b)	87.5 (ab)
Washington 2	37	26.3	26.9 (ab)	79.4 (ab)
Californie (expé)	49	22.2	20.8 (a)	71.3 (a)
Moyenne		14.7%	27,8 cm	82,4 cm

Les valeurs suivies de lettres différentes diffèrent significativement au seuil de 5% (moyennes comparées à l'aide du test de Bonferroni)

Compte tenu des dégâts de gibier survenus en 2009 et 2010, avant pose des piquets de protection, la hauteur totale est peu représentative des potentialités des variétés. En revanche, les accroissements en hauteur 2011 sont beaucoup plus informatifs. Californie se distingue par sa faible croissance de La Luzette (éclairci et non éclairci), France 3 et France 2. Les autres provenances ne diffèrent significativement d'aucun de ces deux groupes.

Moyennes et intervalles à 95,0% de Bonferroni



D'autre part, le taux de polycyclisme est beaucoup plus faible qu'en 2010 (15% contre 45%). En dépit de variations inter-provenances assez importantes (10% à 26%), l'effet génétique n'est pas significatif.

Enfin, les populations issues des deux récoltes de France 1 (2006 et 2007) et Californie (commerce et expérimentale) ne diffèrent pas significativement pour la croissance.

Regarnis

Provenance	nb individus	% morts 2011	% polyclisme	accroissement 2011 (cm)	hauteur 2011 (cm)
WA 403	26	29.7	30.8	12.2	34.0 (ab)
Darrington	33	27.7	32.3	13.4	37.3 (ab)
Luzette non éclairci	17	34.5	31.6	13.0	38.2 (ab)
Luzette éclairci	24	29.4	33.3	17.4	42.2 (ab)
France 1 (2007)	19	38.7	42.1	13.8	36.6 (ab)
France 2	23	20.7	34.8	13.4	38.6 (ab)
France 3	22	44.4	52.0	17.5	43.6 (b)
Washington 2	33	34.6	38.2	16.9	41.2 (ab)
Californie (expé)	13	42.3	30.8	11.0	30.9 (ab)
Moyenne		111 plants 33,6%	36,4%	14,3 cm	38,1 cm

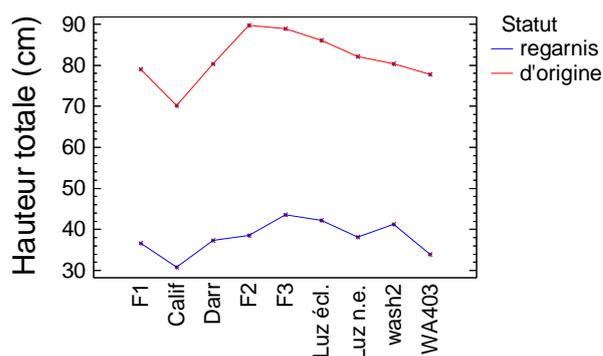
Les valeurs suivies de lettres différentes diffèrent significativement au seuil de 5% (moyennes comparées à l'aide du test de Bonferroni)

En 2011, les regarnis se sont allongés en moyenne de 14,3 cm, sans que l'on décèle de différence significative entre provenances. Pour la hauteur totale, en revanche, Californie est statistiquement inférieure à la variété France 3 qui est la plus vigoureuse.

Le taux de polyclisme, relativement uniforme entre variétés, est significativement plus important que pour les arbres d'origine (36,4% vs 14,7%).

L'analyse conjointe des deux catégories d'individus (d'origine et regarnis) pour la hauteur totale et l'accroissement 2011 montre une absence d'interaction provenance x statut (regarnis ou non).

Graphiques des interactions



2.1.3.2.- Le Faou Petit (EV_DF_2009.04 – Irstea)

Ce dispositif en grandes parcelles unitaires a été planté en mars 2009, dans l'Aude. Ses caractéristiques ont été présentées dans le rapport d'activité 2009 (février 2010, pp.159-160).

* Interventions 2011

- Entretien début juin : dégagement à la débroussailleuse sur les lignes de plantation (1,40 m de part et d'autre des plants) et traitement chimique (Basta F1, 5 l/ha) dans la partie basse enherbée.

- Mesures et notations les 24-25 octobre.

** Analyse des données*

- Proportions (pourcentages) : analyse de variance à deux facteurs (provenance, bloc) sans interaction sur les moyennes par parcelles unitaires

- Variables continues : analyse de variance à deux facteurs (provenance, bloc considérés respectivement comme fixe et aléatoire) sur les données individuelles puis comparaison des moyennes à l'aide du test de Tukey. Des transformations de variables ont été effectuées pour satisfaire au mieux aux conditions de normalité et d'égalité des variances.

NB- Les individus souffrant de cime sèche/cassée ou endommagés lors des travaux d'entretien ont été évincés des analyses de hauteur ; en revanche, les plants jaunes ont été conservés.

** Résultats : Bilan général*

Variable étudiée	Effet provenance	Effet bloc	Interaction provenance x bloc
% mortalité total	NS	*	n.a.
% mortalité entre 2010 et 2011	NS	NS	n.a.
% cimes sèches	NS	NS	n.a.
Déficit foliaire	NS	(*)	n.a.
Hauteur 2011	*	***	***
Accroissement hauteur 2011	**	***	***
Accroissement hauteur 2010+2011	**	***	***

(*), *, **, *** effet significatif au seuil de 10%, 5%, 1%, 1%

NS : non significatif

** Mortalité et état sanitaire*

Variété	% morts fin 2011 (1)	% morts entre 2010 et 2011 (2)	% cimes sèches (3)	nb années d'aiguilles (3)
WA 403	5.6	1.0	4.5	2.99
Darrington	4.1	1.6	2.2	2.96
Luzette	8.7	3.1	1.6	2.97
France 1	3.0	0.5	3.8	2.99
France 2	4.1	1.6	6.5	2.98
France 3	10.2	4.8	2.5	2.84
Washington 2	5.6	2.7	3.8	2.99
Californie	8.1	4.8	5.0	2.88

(1) pourcentage calculé par rapport à l'effectif planté

(2) pourcentage calculé par rapport à l'effectif vivant fin 2010

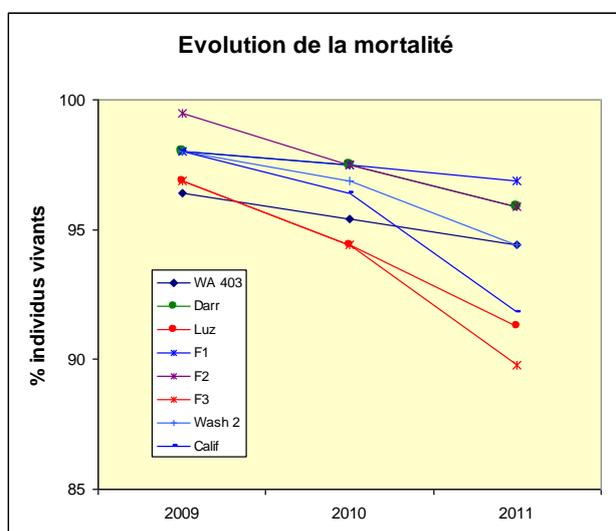
(3) pourcentage calculé par rapport à l'effectif vivant fin 2011

Après trois années de croissance sur le terrain, le taux de survie s'établit à 93,8%. Si les provenances ne diffèrent pas significativement pour ce caractère, on observe en revanche un effet site. Comme en 2010, le taux de mortalité s'accroît du haut de la pente au bas du vallon (3,8%, 4,1%, 6,6% et 10,2% respectivement dans les blocs 1, 2, 3, 4). La plus forte mortalité enregistrée dans le bas du dispositif s'explique par la présence de graminées, qui exercent une forte concurrence pour l'eau et les nutriments. Le genêt, qui domine dans le reste de l'essai, semble, quant à lui, moins compétitif. Les provenances les plus pénalisées par les graminées sont France 3, Californie et, à un degré moindre, Luzette, Washington 2 et Washington 403.

Le taux de survie a régressé de 2,5% en 2011, sans qu'on observe d'effet génétique ni d'effet site. Les 38 plants nouvellement disparus se répartissent équitablement entre les 4 blocs, ce qui tend à prouver l'efficacité du dégagement chimique de juin 2011.

Dans leur grande majorité, les plants vivants sont en bonne santé. On ne recense que 54 individus à cime sèche (3,7%) et 10 jaunes (0,7%). D'autre part, 96% des plants conservent les aiguilles des trois dernières années. Les sujets moyennement (2 années d'aiguilles) et sévèrement défoliés (une seule année) ne représentent respectivement que 3,1% et 0,6% de l'effectif. Les provenances ne diffèrent pas significativement pour le déficit foliaire. En revanche, ces pertes d'aiguilles tendent à être plus fréquentes et sévères dans la partie basse et enherbée du dispositif, plus particulièrement dans les parcelles unitaires de France 3 et Californie qui se trouvent ainsi pénalisées.

Enfin, les cimes cassées accidentellement et les dégâts occasionnés par la débroussailleuse lors de l'entretien concernent respectivement 19 et 17 plants (2,3% de l'effectif vivant).



* *Croissance en hauteur*

Variété	nb observations	hauteur 2011 (cm)	accroissement 2011 (cm)	accroissement 2010+2011 (cm)
WA 403	171	131.7 (ab)	58.9 (ab)	97.7 (ab)
Darrington	181	124.4 (a)	55.0 (ab)	93.0 (ab)
Luzette	175	139.8 (ab)	63.1 (ab)	103.8 (a)
France 1	179	154.1 (b)	69.2 (b)	114.5 (b)
France 2	177	144.9 (ab)	66.1 (b)	105.7 (ab)
France 3	168	133.6 (ab)	56.1 (ab)	95.8 (ab)
Wash 2	172	138.1 (ab)	60.6 (ab)	100.9 (ab)
Californie	165	116.6 (a)	48.5 (a)	81.7 (a)

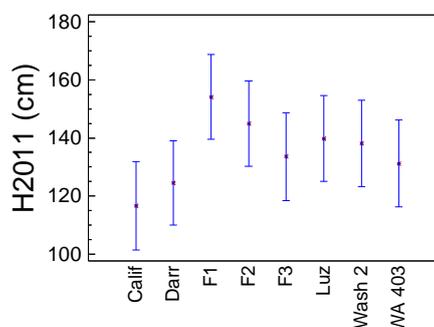
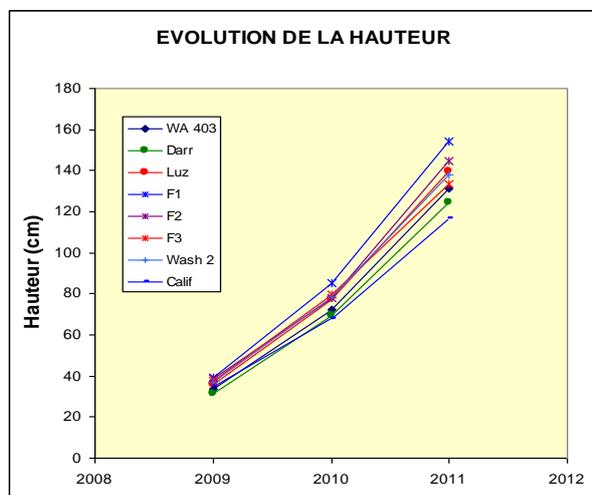
Les plants se sont allongés de 60 cm en 2011, ce qui porte la hauteur totale à 135 cm. L'effet "génétique" est assez faible en raison de la forte interaction provenance x bloc. Seules les variétés extrêmes diffèrent significativement : Californie et Darrington, à faible croissance, s'opposent à France 1.

L'effet bloc est hautement significatif pour toutes les variables étudiées. Il s'explique par le gradient de croissance entre le haut et le bas du dispositif. Comme cela avait été noté en 2010,

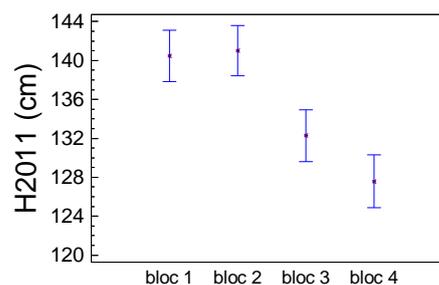
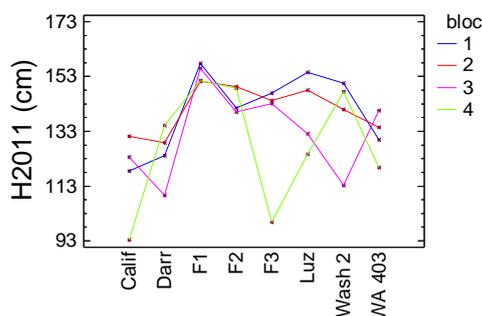
les plants situés dans le thalweg sont moins vigoureux car ils doivent faire face à la concurrence de la végétation herbacée. Cette variabilité stationnelle, insoupçonnée lorsque le sol était nu, ne coïncide pas avec le découpage en blocs, ce qui induit des hétérogénéités intra-blocs. De ce fait, plusieurs variétés se trouvent pénalisées :

Bloc 4 : Californie, France 3 et, dans une moindre mesure La Luzette et Washington 403

Bloc 3 : Washington 2 et Darrington.



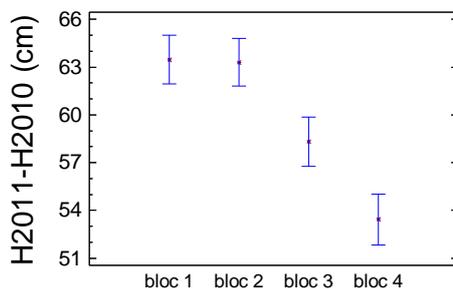
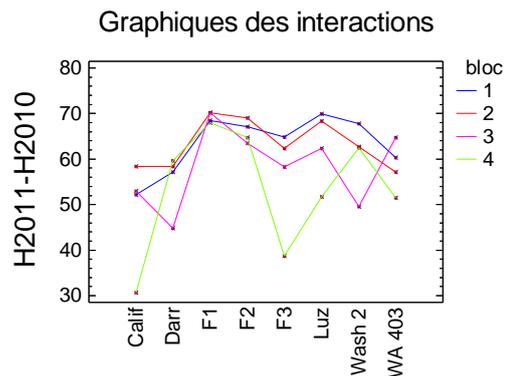
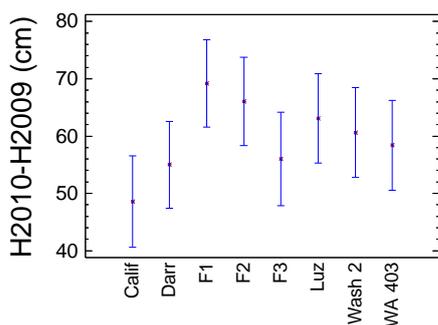
Graphiques des interactions



L'accroissement 2011 est peu lié à celui de 2009, année de reprise, mais beaucoup mieux corrélé à l'accroissement 2010 ($0.33 < r < 0.57$). Les plants semblent donc avoir surmonté leur crise de transplantation et leur croissance commence à se stabiliser.

On constate également une forte relation entre l'état sanitaire et la croissance. D'une part, les plants jaunes ont une hauteur significativement inférieure à celle des plants verts (93 cm *versus* 136 cm ; accroissement 2011 : 31.2 cm *versus* 60.2 cm). D'autre part, le déficit foliaire se traduit par une moindre vigueur (accroissements de 27 cm, 38 et 61 cm respectivement pour les individus possédant une, deux et trois années d'aiguilles).

Le jaunissement et la défoliation ne sont pas liés aux attaques d'hylobes 2009 et 2010. Compte tenu de la localisation des plants concernés, nous imputons ces dégâts à la concurrence herbacée.



2.1.3.3.- Valsonne (EV_DF_2010.04 – CNPF)

Ce dispositif en grandes parcelles unitaires a été installé début avril 2010, dans les monts du Beaujolais, à 715 m d'altitude (Rhône).

Rappels : Une erreur de la répartition des plants en pépinière a conduit à un mélange des variétés Washington et Washington 2 dans le bloc 1 (respectivement 23 et 73 plants au lieu des 49 prévus). En outre, en 2010, des sangliers ont causé une mortalité de l'ordre de 5%, essentiellement localisée dans les blocs 1 et 2.

* Résultats 2011 : mortalité, état sanitaire et croissance en hauteur

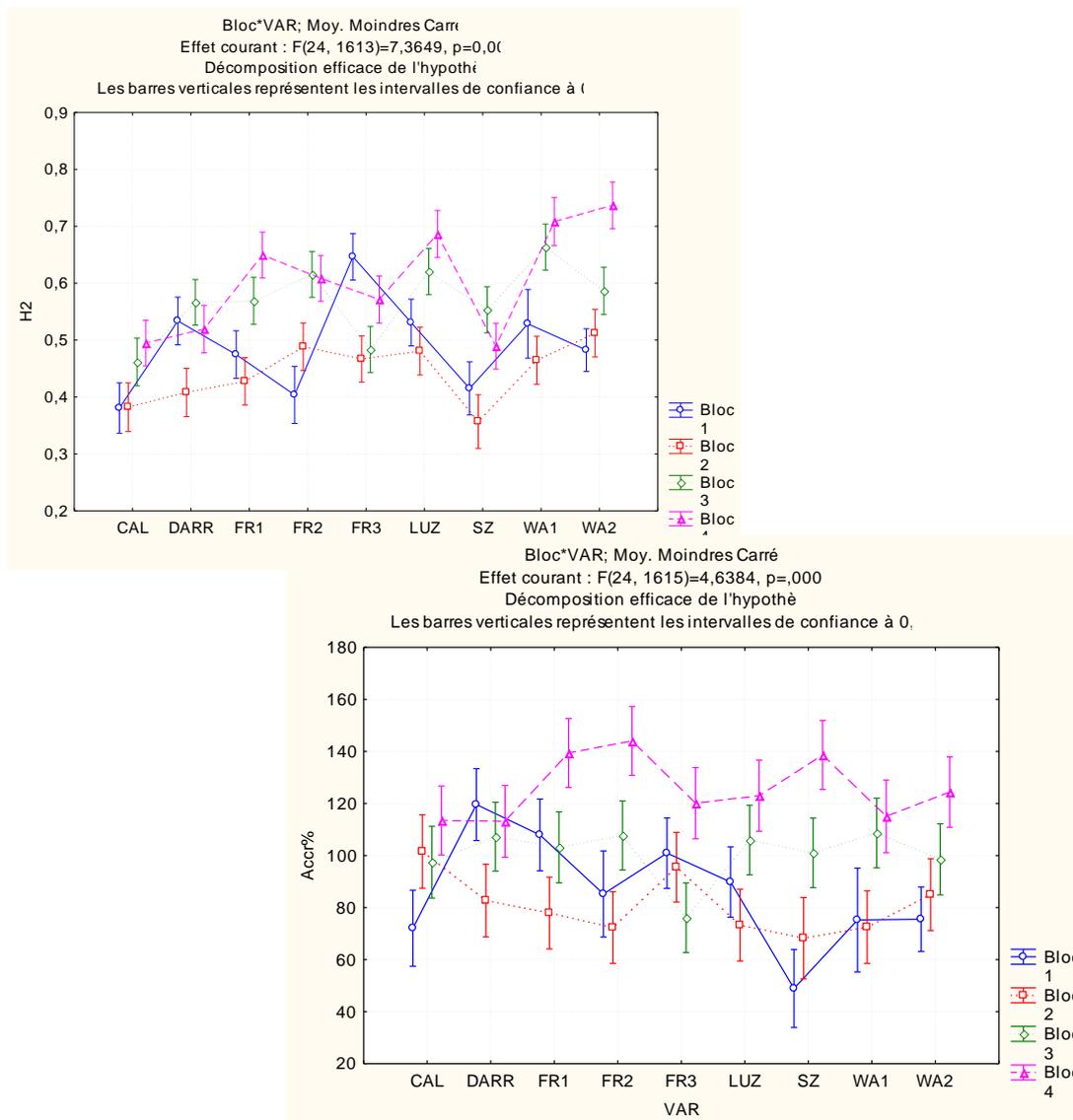
La mortalité est très faible puisque sur l'ensemble du dispositif elle ne représente que 3,5 % des plants. Elle est légèrement supérieure (respectivement 5.2 et 5.7 %) dans les blocs 1 et 2 situés en crête. Aucune différence n'apparaît entre les variétés au niveau des taux de reprise.

Aucun plant ne montrait de coloration anormale de son feuillage le 6 janvier 2012. Par ailleurs, des cimes sèches ont été observées sur seulement 8 individus (1 Calif, 1 Luz, 1FR1, 1WA2 et 4 WA 403).

Une analyse de variance à deux facteurs (provenance, bloc) a été réalisée avec le logiciel Statistica (v 8) sur les variables « Hauteur 2011 » et « Accroissement relatif 2011 = $(H_{2011} - H_{2010}) / H_{2010} \times 100$ » après élimination des individus ayant présenté une anomalie de croissance en 2010 ou 2011 (cime sèche, abrutissement, blessure, replantation après passage de sangliers...). Pour ces deux variables, les effets « Provenance », « Bloc » et les interactions entre Provenance et Bloc sont significatifs au seuil de 1%.

	Nbre de plants pris en compte	Hauteur 2011 (cm) Ecart type	Accr. Relatif 2011*
WA 403	172	0.45 (0.16)	93 (57)
Darr	187	0.51 (0.16)	106 (48)
Luz	190	0.58 (0.15)	98 (51)
FR1	189	0.53 (0.16)	108 (56)
FR2	178	0.53 (0.17)	105 (60)
FR3	193	0.54 (0.15)	98 (45)
WA	161	0.59 (0.15)	96 (48)
WA2	198	0.58 (0.19)	95 (45)
Calif	181	0.43 (0.19)	97 (55)
Moyenne	1651	0.53 (0.17)	100 (52)

*(H2011-H2010)/H2010 x 100



2.1.3.4.- Avant-Monts (EV_DF_2011.03 – ONF)

Ce dispositif mono-arbre a été installé en novembre 2010, dans l'Hérault. Ses caractéristiques ont été présentées dans le rapport d'activité 2010 (février 2011, pp 14-15).

NB- contrairement à ce qui a été annoncé dans ce rapport, le dispositif est constitué de plants de deux ans et non d'un an.

* Interventions 2011

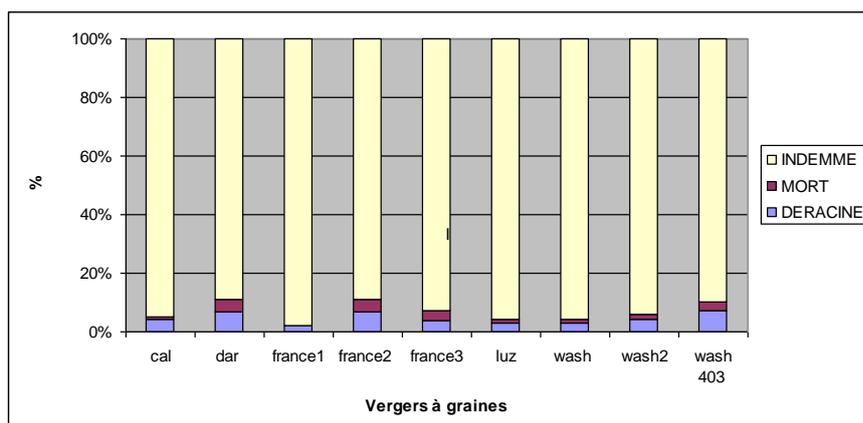
- mesure de la hauteur initiale et de l'état sanitaire le 5 avril
- mesure de la hauteur et de l'état sanitaire après une saison de végétation le 22 novembre.

* Protocole de mesure : cf St Junien

Hauteur totale 2011 : les individus souffrant de cime sèche ou de dégâts de gibier ont été évincés des analyses (en revanche, les plants jaunes et rouges ont été conservés).

* Etat sanitaire

21 morts en 2010 dont 16 déracinés par le ruissellement après de très gros orages en 2010, 3 dus à des dégâts de gibiers et 2 sans que les causes aient pu être trouvées. En 2011, 17 plants supplémentaires sont morts dont un par frottis et 4 qui étaient dépérissants en 2010.



Provenances	% mortalité	Nb années d'aiguilles
cali	1.2	2.99
dar	4.7	2.91
fra1	0	2.98
fra2	4.7	2.96
fra3	2.4	2.99
luz	1.2	2.96
wash	1.2	2.98
wash2	2.4	2.96
wash403	3.5	2.99

La mortalité générale du dispositif est très faible ($m = 2.4\%$). Parallèlement, la quasi-totalité des douglas présente les trois années d'aiguilles.

Concernant les colorations anormales, seulement trois plants ont été notés « jaune », soit des proportions anecdotiques en 2011, ces proportions étaient plus importantes en 2010, 9 jaunes et 9 rouges mais 3 seulement sur 18 sont morts en 2011. Egalement 16 cimes sèches ont été

notées sur l'ensemble des plants, réparties sur presque toutes les provenances (seule Californie n'est pas atteinte) ; les proportions sont donc dérisoires.

Cela dit, on constate quelques dégâts de gibier (77 plants touchés), principalement de l'abrouissement. A noter aussi un certain nombre de fourchus (66 plants) et d'attaque d'hylobe (46 plants, parfois les mêmes).

D'une manière générale, les douglas de ce dispositif sont sains et ne présentent pas de problèmes particuliers.

** Croissance en hauteur*

Provenances	Hauteur moyenne 2010 (cm)	Hauteur moyenne 2011 (cm)	Accroissement moyen 2011 (cm)
cali	22,82	34,43	11.61
dar	25,60	41,15	15.55
fra1	31,52	51,38	19.86
fra2	30,01	49,68	19.67
fra3	29,72	48,92	19.2
luz	33,01	51,14	18.13
wash	34,75	53,72	18.97
wash2	32,57	49,25	16.68
wash403	26,91	46,82	19.91

Les hauteurs moyennes varient de 34,43 cm (Californie) à 53,72 cm (Washington). Concernant les accroissements, la provenance californienne semble pousser moins vite, sa croissance annuelle étant nettement inférieure à celles des autres.

Conclusion

- La mortalité est très faible, voire anecdotique.
- L'immense majorité des douglas présentaient leurs trois années d'aiguilles.
- Les hauteurs moyennes varient de 34,43 cm (Californie) à 53.72 cm (Washington), soit près de 20 cm d'écart entre les deux extrêmes.
- L'accroissement moyen est, quant à lui, marqué par l'habituelle faible valeur de la provenance californienne (11.61 cm), tandis qu'une poignée d'autres (France 1, France 2, France 3, Washington, Washington 403) s'illustre par des pousses de plus de 19 cm.
- Il est difficile de tirer d'autres conclusions un an seulement après la mise en place du dispositif.

2.1.3.5.- Gardons (EV_DF_2011.04 – ONF)

Ce dispositif en grandes parcelles unitaires a été installé en novembre 2010 (Lozère). Ses caractéristiques ont été présentées dans le rapport d'activité 2010 (février 2011, pp 15-16).

NB- contrairement à ce qui a été annoncé dans ce rapport, le dispositif est constitué de plants de deux ans et non d'un an.

Des mesures ont été effectuées en avril et décembre 2011 et les données ont été analysées. Les résultats seront présentés dans le prochain rapport d'activité.

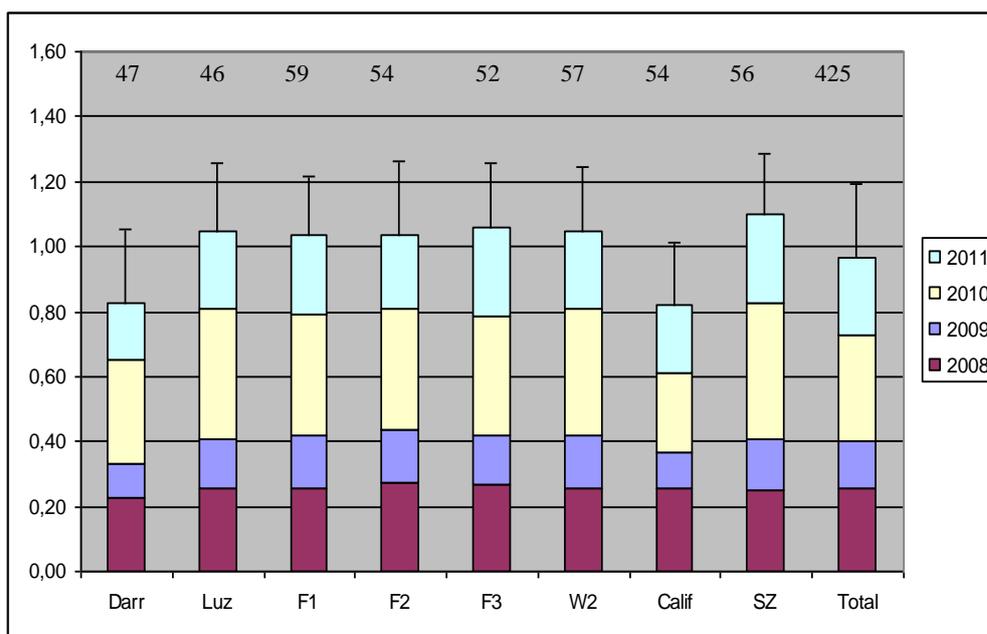
2.1.3.6.- Pressy-sous-Dondin (DE_DF_2009.04 – CNPF)

Ce test de démonstration a été installé en avril 2009, en Saône-et-Loire. Il est constitué de 8 placeaux contenant chacun 60 individus d'une même provenance.

** Résultats 2011 : mortalité, état sanitaire et croissance en hauteur*

	% morts	% plants jaunes	Haut. 2011 (écart type) en cm	Accr. relatif 2011* (écart type)	Effectif analysé
WA 403	5 %	0 %	1.10 (0.19)	33 (11)	57
Darr	20 %	0 %	0.83 (0.23)	28 (15)	48
Luz	22 %	0 %	1.05 (0.21)	31 (12)	47
FR1	10 %	0 %	1.04 (0.22)	30 (11)	54
FR2	13 %	0 %	1.06 (0.20)	35 (12)	52
FR3	5 %	0 %	1.05 (0.20)	29 (8)	57
WA2	2 %	0 %	1.04 (0.18)	31 (9)	59
Calif	7 %	0 %	0.82 (0.19)	35 (14)	56
Moyenne	10 %	0 %	1.00 (0.22)	32 (12)	430 soit 93 %

*(H2011-H2010)/H2010 x 100



Les nombres au dessus des histogrammes correspondent au nombre de plants pris en compte pour les établir. Seuls les plants n'ayant jamais subi d'altération de leur croissance (blessures diverses, abrouissement, frottis) sont pris en compte.

2.1.3.7.- La Tagnière (DE_DF_2009.05 – CNPF)

Ce test de démonstration a été installé en avril 2009, en Saône-et-Loire. Les 60 représentants de chaque provenance sont répartis en deux blocs.

* Résultats 2011 : mortalité, état sanitaire et croissance en hauteur

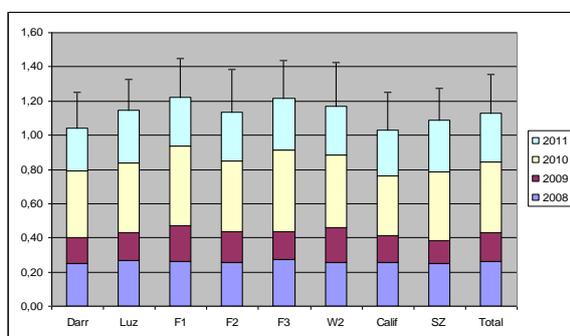
Bloc 1	% morts	% plants jaunes	Haut. 2011 (écart type) en cm	Accr. relatif 2011* (écart type)	Effectif analysé
WA 403	0 %	0	1.16 (0.21)	42 (10)	26
Darr	0 %	0	1.15 (0.21)	37 (13)	25
Luz	4 %	0	1.30 (0.30)	36 (10)	25
FR1	0 %	0	1.27 (0.24)	37 (8)	28
FR2	0 %	0	1.30 (0.26)	42 (13)	28
FR3	0 %	0	1.21 (0.36)	29 (9)	23
WA2	0 %	0	1.32 (0.19)	38 (11)	28
Calif	4 %	0	0.98 (0.22)	38 (10)	25
Moyenne	< 1 %	0	1.21 (0.27)	37 (11)	208 soit 87 %

*(H2011-H2010)/H2010 x 100

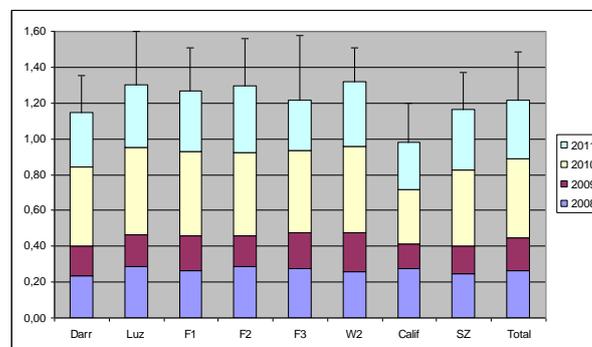
Bloc 2	% morts	% plants jaunes	Haut. 2011 (écart type) en cm	Accr. relatif 2011* (écart type)	Effectif analysé
WA 403	3 %	0	1.09 (0.19)	33 (14)	31
Darr	0 %	0	1.04 (0.20)	33 (8)	32
Luz	0 %	0	1.14 (0.18)	37 (10)	32
FR1	0 %	0	1.19 (0.28)	31 (12)	32
FR2	0 %	0	1.13 (0.25)	33 (11)	32
FR3	6 %	0	1.20 (0.23)	33 (9)	30
WA2	3 %	0	1.14 (0.27)	33 (14)	31
Calif	9 %	0	1.03 (0.22)	37 (11)	28
Moyenne	3 %	0	1.12 (0.23)	34 (11)	248 soit 97 %

*(H2011-H2010)/H2010 x 100

Bloc 1



Bloc 2



2.1.3.8.- Anglès (DE_DF_2009.06 – CNPF)

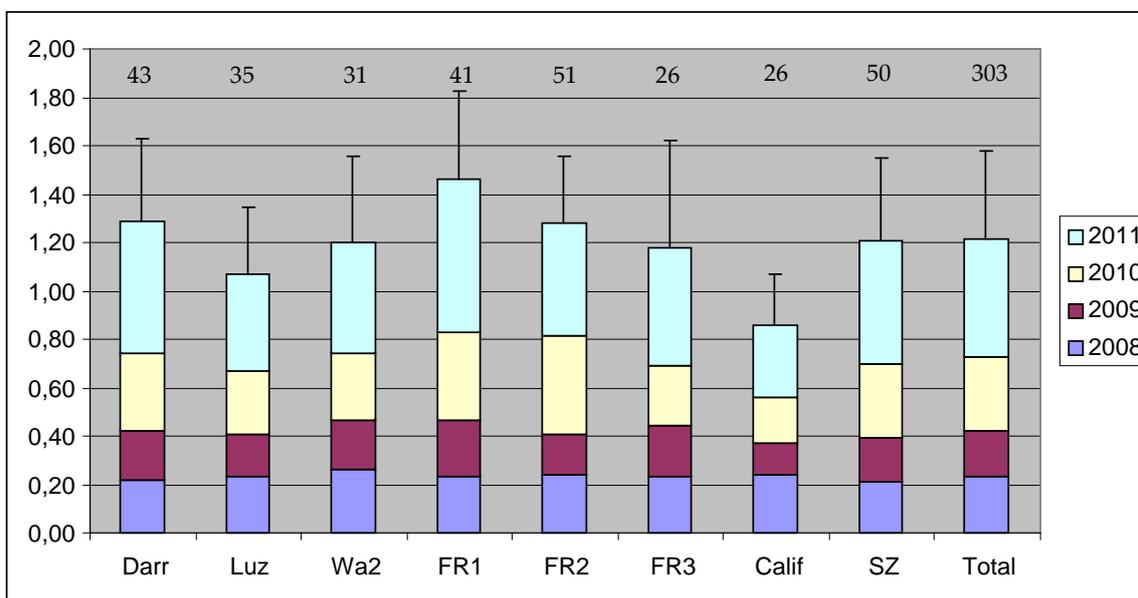
Ce test de démonstration a été installé en avril 2009, dans le Tarn. Il est constitué de 8 placeaux contenant chacun une soixantaine d'individus d'une même provenance.

** Résultats 2011 : mortalité, état sanitaire et croissance en hauteur*

Les conditions climatiques de l'hiver 2009/10 sont à l'origine d'une forte mortalité qui a concerné toutes les variétés. La mortalité a encore progressée cette année dans toutes les modalités.

	% morts	% plants jaunes	Haut. 2011 (écart type) en cm	Accr. relatif 2011* (écart type)	Effectif analysé
WA 403	10	0	1.15 (0.39)	60 (22)	53
Darr	17	0	1.28 (0.34)	73 (30)	43
Luz	30	0	1.04 (0.35)	61 (32)	39
FR1	22	0	1.44 (0.39)	82 (53)	44
FR2	12	0	1.27 (0.3)	59 (23)	53
FR3	47	0	1.19 (0.42)	67 (36)	30
WA2	43	0	1.15 (0.39)	60 (22)	34
Calif	55	0	0.86 (0.21)	55 (29)	26
Moyenne	29	0	1.2 (0.38)	68 (35)	322

*(H2011-H2010)/H2010 x 100



Les nombres au dessus des histogrammes correspondent au nombre de plants pris en compte pour les établir. Seuls les plants n'ayant jamais subi d'altération de leur croissance (blessures diverses, abrouissement, frottis) sont pris en compte.

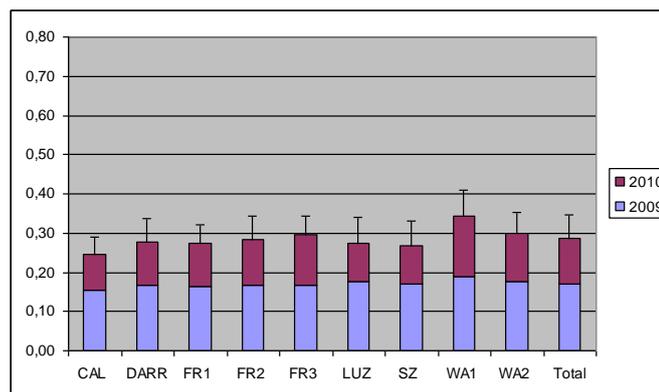
2.1.3.9.- Fraysse-sur-Agout (DE_DF_2010.03 – CNPF)

Ce test de démonstration a été installé au printemps 2010, dans l'Hérault (890 m d'altitude). Il est constitué de 9 placeaux contenant chacun 60 individus d'une même provenance.

Le dispositif n'a pu être mesuré à temps pour la parution du présent rapport, les résultats des observations de l'hiver 2011/2012 seront donc intégrés dans le prochain.

** Résultats 2010 : mortalité et croissance en hauteur*

	% morts	Haut. 2010 (écart type) en cm
WA 403	7	0.27 (0.06)
Darr	5	0.28 (0.06)
Luz	12	0.28 (0.05)
FR1	12	0.28 (0.06)
FR2	7	0.30 (0.05)
FR3	3	0.27 (0.07)
WA1	3	0.34 (0.07)
WA2	3	0.30 (0.05)
Calif	5	0.25 (0.04)
Moyenne	6 %	0.29 (0.06)



2.1.3.10.- Les Barres (DE_DF_2009.08 – Irstea)

Ce dispositif est particulier dans le sens où il compare les variétés La Luzette et Californie, en placeaux purs et mélangés pied à pied. Il est structuré en 4 blocs complets (cf description dans le rapport d'activité 2009 (février 2010, p. 162).

** Interventions 2011*

- Entretien début juin : dégagement à la débroussailluse sur les lignes de plantation
- Pose de protections individuelles contre le gibier (3 piquets/plant) les 31 août et 3-7 octobre; redressement et consolidation fin décembre
- Mesures et notations le 2 décembre.

** Protocole de mesure*

- Etat général :

La note 6 (frottis) a été affectée à des plants frottés en 2011 ou à des plants anciennement frottés dont la blessure n'est pas refermée. La note 8 (problème particulier) a été attribuée à des plants présentant des restes de pousses grillées (facteurs incriminés : gel ou sécheresse du printemps 2011).

- Décoloration du feuillage :

- Déficit foliaire apprécié via le nombre d'années d'aiguilles sur les ramifications âgées d'au moins trois ans (1, 2 ou 3 années).

- Hauteur totale 2011

2.1.3.10.1.- Comparaison des 3 modalités (La Luzette, Californie, mélange)

* Analyse statistique

L'analyse statistique a été conduite de la façon suivante :

- Pourcentages : analyse de variance à deux facteurs (modalité, bloc) sur les moyennes par parcelle unitaire, puis comparaison des moyennes à l'aide du test de LSD.

- Variables continues : analyse de variance à deux facteurs (modalité, bloc considérés respectivement comme fixe et aléatoire) sur les données individuelles, puis comparaison des moyennes à l'aide du test de LSD. Des changements de variables ont parfois dû être effectués de manière à satisfaire aux conditions de normalité et d'égalité des variances.

NB- L'analyse de la croissance a été réalisée après élimination des individus ayant été endommagés accidentellement (frottis, abrouissements, dégât d'entretien)

* Résultats : bilan général

Caractère	Effet modalité	Effet bloc	Interaction mod x bloc
Mortalité totale	NS	NS	n.a.
Mortalité en 2011	NS	NS	n.a.
% cimes sèches	NS	NS	n.a.
% dégâts de gibier	*	*	n.a.
% plants jaunes/rouges	NS	NS	n.a.
Déficit foliaire	NS	NS	n.a.
% plants à pousses grillées	NS	NS	n.a.
Accroissement en hauteur 2010	NS	***	**
Hauteur totale 2010	*	*	NS

(*) *, **, *** effet significatif au seuil de 10%, 5%, 1%, 1%

NS : non significatif

* Etat sanitaire

Modalité	% mortalité		% cimes sèches (3)	% dégâts gibier (3)	% plants jaunes (3)	nb moyen d'années d'aiguilles	% pousses grillées (3)
	total (1)	2011 (2)					
Luzette	9.6	1.0	1.2	31.3 (b)	2.2	2.92	1.1
Californie	6.6	3.0	2.8	18.0 (a)	4.2	2.75	3.4
mélange	8.1	4.0	2.8	19.1 (a)	2.7	2.85	4.2
Nb individus (%)	48 ind. (8.1%)	16 ind. (2.9%)	12 ind. (2.2%)	123 ind. (22.6%)	17 ind. (3.1%)	m = 2.84	16 ind. (2.9%)

(1) pourcentage calculé par rapport aux effectifs plantés

(2) pourcentage calculé par rapport au nombre d'individus vivants en février 2011

(3) pourcentage calculé par rapport au nombre d'individus vivants en décembre 2011

La mortalité 2011 s'établit à 2,9% (par rapport à l'effectif vivant début 2011), ce qui porte le taux de mortalité global à 8,1%. Pour plus de la moitié des 16 plants nouvellement disparus, la mortalité a une cause accidentelle : frottis de chevreuil ou blessure de débroussailleuse lors du dégagement.

Le pourcentage de plants endommagés par le gibier augmente de 10% en 2010 à 23% en 2011 et, comme l'an passé, le bloc 4 est nettement plus touché. Fin 2011, on comptabilise 117 plants frottés et 6 abrouetés en cime. La forte expansion des dégâts occasionnés par les chevreuils a justifié la mise en place de protections individuelles à l'automne 2011. Chaque plant est dorénavant protégé par 3 piquets de châtaignier. L'importance des frottis observés

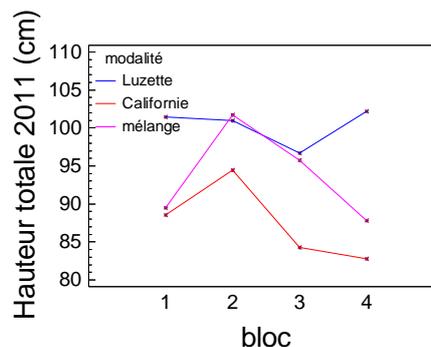
dans les placettes "Luzette" s'explique sans doute par le fait que les chevreuils s'attaquent préférentiellement aux individus les plus vigoureux.

Si l'on excepte ces dégâts de gibier, l'état sanitaire est satisfaisant. En dépit d'un printemps 2011 extrêmement sec – le cumul des pluies de janvier à mai n'atteint que 127 mm, soit seulement 44% des précipitations "normales" -, on ne déplore que peu de descentes de cime (2,2%), de décolorations de feuillage (3,1%) et de reliquats de pousses grillées (2,9%). Par ailleurs, la grande majorité des individus de l'essai (86%) conserve les aiguilles des trois dernières années.

** Croissance en hauteur*

Modalité	accroissement 2011 (cm)	hauteur 2011 (cm)
Luzette	32.5 (a)	100.3 (b)
Californie	28.2 (a)	87.5 (a)
mélange	30.7 (a)	93.7 (ab)
Moyenne	30.5 cm	93.8 cm

Les plants se sont allongés en moyenne de 30,5 cm durant la saison de végétation 2011. Les placettes "Luzette" se caractérisent par une croissance supérieure mais l'interaction modalité x bloc est trop importante pour que l'on puisse mettre en évidence un effet significatif du facteur "modalité". En revanche, les modalités diffèrent significativement pour la hauteur totale, avec une supériorité de La Luzette "pure" sur Californie "pure". Logiquement, la modalité "mélange" occupe une place intermédiaire. On note cependant une certaine hétérogénéité du classement d'un bloc à l'autre.



2.1.3.10.2.- Comparaison des variétés Luzette et Californie

** Analyse statistique*

L'analyse statistique se limite aux données collectées dans les 4 placettes où les représentants des variétés La Luzette et Californie sont mélangés pied à pied, ce qui permet d'éliminer l'effet du milieu intra-bloc. Elle a été conduite de la façon suivante :

- Pourcentages : analyse de variance à deux facteurs (variété, bloc) sur les moyennes par parcelle unitaire, puis comparaison des moyennes à l'aide du test de LSD.
- Variables continues : analyse de variance à deux facteurs (variété, bloc considérés respectivement comme fixe et aléatoire) sur les données individuelles, puis comparaison des moyennes à l'aide du test de LSD. Les conditions de normalité et d'égalité des variances étaient satisfaites sans changement de variable.

NB- L'analyse de la croissance a été réalisée après élimination des individus ayant été endommagés accidentellement (frottis, abrouissements, dégât d'entretien)

** Résultats : bilan général*

Caractère	Effet	Effet bloc	Interaction
-----------	-------	------------	-------------

	modalité		mod x bloc
Mortalité totale	NS	*	n.a.
Mortalité en 2011	(*)	*	n.a.
% cimes sèches	*	NS	n.a.
% dégâts de gibier	NS	NS	n.a.
% plants jaunes/rouges	NS	NS	n.a.
Déficit foliaire	NS	NS	n.a.
% plants à pousses grillées	*	NS	n.a.
Accroissement en hauteur 2010	**	***	NS
Hauteur totale 2010	***	*	NS

(*) *, **, *** effet significatif au seuil de 10%, 5%, 1%, 1% NS : non significatif

* Etat sanitaire

Variété	% mortalité		% cimes sèches (3)	% dégâts gibier (3)	% plants jaunes (3)	nb moyen d'années aiguilles	% pousses grillées (3)
	total (1)	2011 (2)					
Luzette	7.3	2.1	0 (a)	25.3	2.2	2.80	1.1 (a)
Californie	9.0	6.0	5.6 (b)	12.6	3.3	2.90	7.8 (b)

(1) pourcentage calculé par rapport aux effectifs plantés

(2) pourcentage calculé par rapport au nombre d'individus vivants en février 2011

(3) pourcentage calculé par rapport au nombre d'individus vivants en décembre 2011

Dans les parcelles unitaires mélangées, les plants d'origine californienne présentent plus de restes de pousses grillées, ce qui est conforme aux résultats des observations effectuées en juin 2011 dans le test d'évaluation des Barres. Ces dessèchements de pousses sont attribués à des gelées tardives ou à la sécheresse printanière. La variété Californie se distingue aussi de La Luzette par un plus fort pourcentage de cimes sèches mais ce défaut reste rare (5,6% des plants).

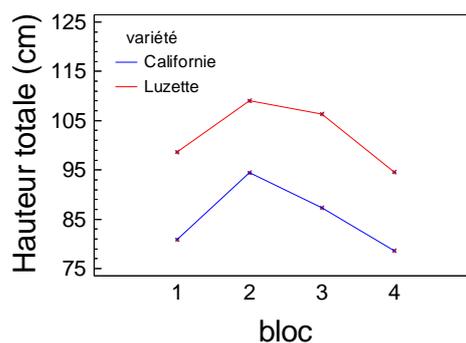
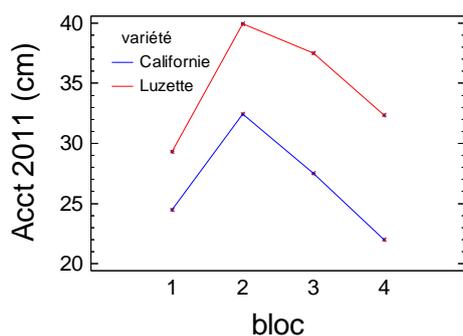
En outre, nous avons conduit une série d'analyses en considérant que les plants californiens et de La Luzette étaient répartis aléatoirement sur la surface de l'essai, et en faisant donc abstraction de la structuration en blocs. Dans ce schéma (plausible car les 4 parcelles unitaires sont peu éloignées les unes des autres), Californie s'avère significativement plus touchée par les dégâts de gibier (proba Khi-2 : 0,04) et tend à être plus défoliée (proba Kruskal-Wallis = 0.08).

* Croissance en hauteur

Variété	accroissement 2011 (cm)	hauteur 2011 (cm)
Luzette	34.8 (b)	102.1 (b)
Californie	26.6 (a)	85.3 (a)

Comparaison basée sur respectivement 71 et 72 individus de La Luzette et Californie

Les représentants de La Luzette sont significativement plus vigoureux que les plants issus du verger "Californie". Leur supériorité, évidente à la fois pour l'accroissement 2011 et la hauteur totale, se vérifie dans les quatre blocs. L'écart de hauteur entre les deux variétés, qui était de 14% en 2010 (Californie versus La Luzette), s'est encore accentué en 2011 (24% pour l'accroissement annuel et 16% pour la hauteur totale). Il est possible que la sécheresse prononcée du printemps 2011 ait désavantagé la variété californienne qui débouresse précocement.



2.1.4.- Marge 2

2.1.4.1.- Haute-Serre (EV_DF_2009.05 – Irstea)

Ce dispositif mono-arbre a été planté en mars 2009, sur le domaine des vergers de l'Etat (pôle de Bouriane dans le département du Lot). Ses caractéristiques ont été présentées dans le rapport d'activité 2009 (février 2010, p.160-161).

* Interventions 2011

- Gyrobroyage des interlignes et débroussaillage manuel autour des plants en mai et octobre
- Arrosage des plants mi-mai en raison d'un fort déficit pluviométrique printanier et de températures élevées.
- Mesures et notations le 26 octobre (protocole standard 2011)

* Analyse statistique

- Les proportions (pourcentages) ont été analysées à l'aide du test de Khi-deux.
- Les données de hauteur ont été traitées par analyse de variance à deux facteurs (variété, répétition) sans interaction et les moyennes ont été comparées en utilisant le test de Tukey. Une transformation en racine carrée a été effectuée pour satisfaire aux conditions d'homoscédasticité et de normalité.

NB- les individus souffrant de cime sèche ou de frottis de chevreuil ont été évincés des analyses (en revanche, les plants jaunes et rouges ont été conservés).

- Les notes, variables prenant un nombre limité de valeurs, ont été analysées par le test de Khi-deux et de Kruskal-Wallis.

* Résultats : bilan général

Variable étudiée	Effet provenance	Effet répétition
% mortalité	*	***
Déficit foliaire	(*)	***
Jaunissement - rougissement	NS	***
Cime sèche	NS	NS
Frottis de chevreuil	NS	NS
Hauteur 2011	***	***

Accroissement hauteur 2009-2011	***	***
---------------------------------	-----	-----

(*), *, **, *** effet significatif au seuil de 10%, 5%, 1%, 1%

NS : non significatif

* *Etat sanitaire*

Variété	% morts fin 2011 (1)	% morts entre 2010 et 2011 (2)	nb années d'aiguilles	% plants jaunes-rouges (3)
WA 403	9.4 (a)	7.4	1.52	13
Darrington	12.5 (ab)	6.7	1.54	17
Luzette	12.56 (ab)	6.7	1.42	7
France 1	11.5 (ab)	11.5	1.49	6
France 2	8.3 (a)	5.4	1.51	11
France 3	19.8 (ab)	8.3	1.57	6
Washington 2	15.6 (ab)	10.0	1.64	12
Californie	25.0 (b)	15.3	1.42	18

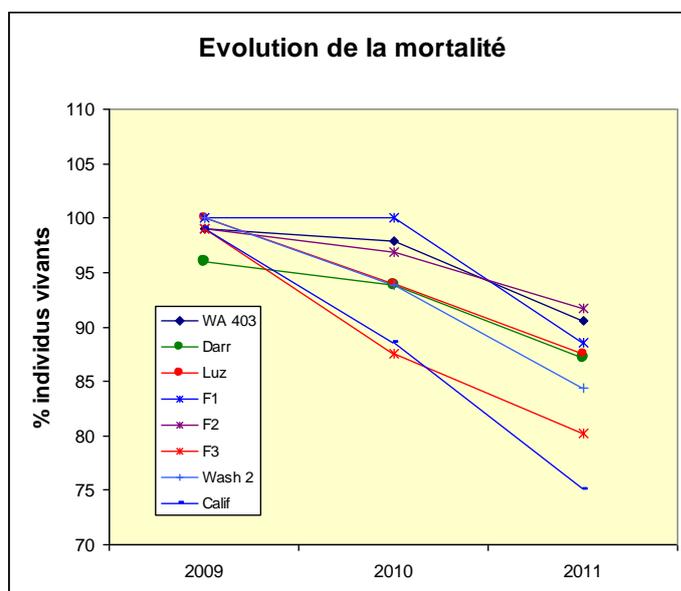
(1) pourcentage calculé par rapport à l'effectif planté

(2) pourcentage calculé par rapport à l'effectif vivant fin 2010

(3) pourcentage calculé par rapport à l'effectif vivant fin 2011

La mortalité, quasiment nulle en 2009, année de reprise, a légèrement augmenté en 2010 pour atteindre 6% des plants. Cette tendance s'est accentuée en 2011 et l'on dénombre à présent 110 plants morts, ce qui correspond à 14.3% de l'effectif planté. L'écrasante majorité (90%) de ces individus nouvellement disparus correspond à des plants notés jaunes et/ou défoliés en décembre 2010.

La variété californienne est significativement plus touchée que France 2 et le témoin "seed zone Washington 403" (25% *versus* 8-9%). On constate également que la mortalité est plus importante dans les parties Sud et Est du dispositif. Cet effet géographique, hautement significatif, est certainement lié à la texture (charge en cailloux), la profondeur et la richesse minérale du sol.



L'état apparent des plants vivants est, dans l'ensemble, moyen à médiocre. Les individus possédant trois années d'aiguilles sont extrêmement rares. La moitié des plants (51%) conserve les aiguilles des deux dernières années tandis que l'autre moitié (49%) ne dispose plus que des aiguilles de 2011. Par ailleurs, 74 plants présentent un jaunissement ou rougissement de feuillage (respectivement 9% et 2% des plants). A quelques exceptions près, ces derniers étaient déjà jaunes ou défoliés fin 2010.

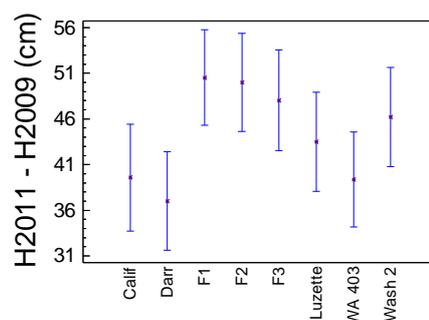
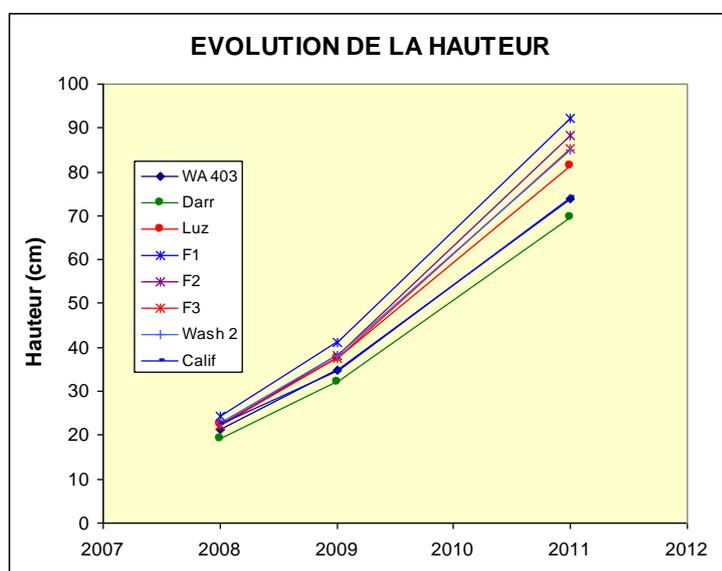
Pour ces deux caractères (déficit foliaire et décoloration du feuillage), les variétés testées ne diffèrent pas statistiquement. En revanche, l'effet répétition est hautement significatif et les zones Sud et Est apparaissent à nouveau les plus défavorables.

Bien que les plants peinent manifestement à se développer dans ce site difficile, les descentes de cimes "physiologiques" restent peu nombreuses (13 plants touchés, soit 2% de l'effectif).

Enfin, des chevreuils ont pu pénétrer dans le dispositif malgré la clôture. Les frottis concernent 14 plants (2.1%). Des précautions seront prises pour éviter de nouvelles intrusions.

** Croissance en hauteur*

Variété	nb observations	hauteur 2011 (cm)	accroissement H2011-H2009 (cm)
WA 403	84	73.9 (ab)	39.4 (ab)
Darrington	79	69.7 (a)	37.0 (a)
Luzette	79	81.5 (bc)	43.5 (abc)
France 1	84	92.2 (c)	50.5 (c)
France 2	80	88.3 (c)	50.0 (bc)
France 3	76	85.4 (bc)	48.0 (bc)
Wash 2	78	84.9 (bc)	46.2 (abc)
Californie	69	74.2 (ab)	39.6 (ab)



Après trois saisons de végétation sur le terrain, la hauteur moyenne n'est que de 81 cm. L'accroissement annuel calculé sur la période 2010-2011, donc après la "crise de transplantation", s'établit à 20-25 cm. Comme prévu, les contraintes pédologiques et climatiques de ce site limitent sérieusement la croissance des plants.

L'amplitude des variations inter-provenances s'amplifie au fil des ans et, fin 2011, l'écart de hauteur entre les variétés extrêmes atteint 22,5 cm. Bien qu'elles ne diffèrent pas significativement de la plupart des autres provenances testées, trois provenances se distinguent par une faible croissance : Darrington, Californie et Washington 403.

On constate également une forte relation entre l'état sanitaire et la croissance. D'une part, les plants jaunes et rouges ont une hauteur inférieure de moitié à celle des plants verts (44 cm *versus* 88 cm ; accroissement 2009-2011 : 10,8 cm *versus* 50,2 cm). D'autre part, le déficit foliaire se traduit par une moindre vigueur (accroissement de 34,6 cm et 56,5 cm respectivement pour les individus possédant une et deux années d'aiguilles).

2.1.4.2.- Fourtou (EV_DF_2009.08 – INRA)

Ce dispositif mono-arbre a été planté en avril 2009, dans l'Aude. Ses caractéristiques ont été présentées dans le rapport d'activité 2009 (février 2010, p.161-162).

* Interventions 2011/12

- Mai 2011 : relevé de mortalité et de la hauteur 2010
- Mars 2012 : relevé de mortalité et de la hauteur 2011

* Taux de survie et hauteur moyens du dispositif

Mesure	Total plants plantés	Plants morts	Plants non mesurables	Plants mesurés	Moyenne (cm)	Minimum mesuré (cm)	Maximum mesuré (cm)
Hauteur totale 2010	1023	196 19,16%	18 1,76%	809 79,08%	53,90	15	125
Hauteur totale 2011	1023	199 19,45%	4 0,39%	820 80,16%	93,99	18	225

2.1.4.3.- Colle du Rouet (EV_DF_2011.05 – ONF)

Ce dispositif mono-arbre a été planté en décembre 2010, dans un site à fortes contraintes du Var (climat, sol peu profond à faible réserve utile). Ses caractéristiques ont été présentées dans le rapport d'activité 2010 (février 2011, pp.16-17).

NB- contrairement à ce qui a été annoncé dans ce rapport, le dispositif est constitué de plants de deux ans et non d'un an.

* Interventions 2011/12

- 20 janvier : mesure de la hauteur initiale
 - 23 juin : évaluation de l'état sanitaire suite à la sécheresse printanière
 - 5 octobre : notation l'état sanitaire et mesure de la hauteur totale.
- Seules ces dernières mesures sont présentées.

* Protocole de mesure : cf St Junien

* Etat sanitaire

Provenances	% mortalité (1)	Nb années d'aiguilles	% plants jaunes-rouges (2)	% cimes sèches (2)
cali	62.5	1.46	25	0
dar	89.1	1.86	14.3	14.3
fra1	75	1.56	25	25
fra2	73.4	1.53	5.9	11.8
fra3	76.6	1.73	6.7	13.3
luz	79.7	1.69	7.7	7.7
wash	81.3	1.42	0	25
wash2	75	1.56	12.5	37.5
wash403	82.8	1.45	18.2	18.2

(1) pourcentage par rapport à l'effectif planté

Fin 2011, La mortalité sur l'ensemble des plants se montre très élevée, de l'ordre de 60% pour le taux le plus faible (Californie) à presque 90% pour le plus fort (Darrington). La sécheresse printanière très marquée a fortement affecté les douglas. Les cèdres du dispositif, plantés comme essence témoin, accusent quant à eux un taux de mortalité de 17%, et ont par conséquent bien résisté aux déficits hydriques. En comparaison, les douglas ont réellement souffert du manque d'eau. Il est cependant intéressant d'observer que la provenance californienne s'en sort le mieux. Son taux de survie est supérieur de 11% à celui de France 2 qui est la 2^{ème} variété la moins touchée.

Le déficit foliaire est très probablement à attribuer à la sécheresse. Il ne semble pas y avoir de corrélation entre ce déficit et la mortalité des plants.

A noter également que, parfois, le quart des plants vivants présente une coloration anormale (Californie et France 1) et/ou une cime sèche (France 1 et Washington).

* *Croissance en hauteur :*

Provenances	Hauteur 2011 (cm)	Accroissement moyen 2011 (cm)
cali	24.4	3.7
dar	32	5.5
fra1	28.1	5.4
fra2	30.1	5.8
fra3	34.8	6.2
luz	32.3	5.2
wash	37.3	5
wash2	31.5	6
wash403	30.7	5.8

On remarque une certaine homogénéité dans les hauteurs moyennes et les accroissements moyens pour l'ensemble des provenances, sauf pour Californie, dont les valeurs se démarquent par leurs faiblesses.

Conclusion

- Une très forte mortalité a frappé le dispositif, suite à une importante sécheresse printanière. Le taux de mortalité varie de 62,5% à 89,1% selon les provenances. La provenance californienne se démarque avec le taux le plus faible (« seulement » 62,5% de plants morts).
- Les croissances et hauteurs se révèlent assez homogènes pour l'ensemble des provenances. La provenance californienne se démarque à nouveau, mais parce qu'elle pousse moins vite que les autres.

2.1.4.4.- Fourtou (DE_DF_2009.07 – INRA)

Ce test de démonstration a été planté en avril 2009, à proximité du test d'évaluation EV_DF_2009.08.

** Notations et mesures réalisées depuis la plantation*

- Fin octobre 2009 : mortalité, état sanitaire, hauteurs 2008 et 2009
- Mai 2011 : mortalité et hauteur 2010
- mars 2012 : mortalité et hauteur 2011

** Taux de survie et hauteur moyens du dispositif*

Mesure	Total plants plantés	Plants morts	Plants non mesurables	Plants mesurés	Moyenne (cm)	Minimum mesuré (cm)	Maximum mesuré (cm)
Hauteur totale 2008	512	34 6,64%	134 26,17%	344 67,19%	26,14	15	45
Hauteur totale 2009	512	34 6,64%	182 35,55%	296 57,81%	36,88	22	60
Hauteur totale 2010	512	60 11,71%	12 2,34%	440 85,93%	54,01	15	113
Hauteur totale 2011	512	65 12,69%	4 0,78%	443 86,52%	92,93	21	208

2.2- Débourrement

L'objectif de ces nouvelles notations est de confirmer le classement obtenu dans plusieurs sites en 2010 et, surtout, de positionner le verger Washington (qui ne faisait pas partie des populations évaluées) par rapport aux autres vergers. Ces relevés de débourrement ont été effectués dans trois tests : Sémelay, Guéry et Montregard.

2.2.1.- Sémelay (EV_DF_2010.01 – Irstea)

La tardiveté de débourrement du bourgeon terminal a été évaluée chaque semaine du 15 avril au 5 mai 2011. Cinq stades ont été définis : 0- bourgeon brun, dormant, 1- bourgeon gonflé, blanchâtre, 2- écailles entrouvertes, 3- aiguilles émergentes, 4- pinceau d'aiguilles et début d'allongement de la pousse, 5- élongation manifeste. Le protocole initial, qui prévoyait de noter la date d'éclatement du bourgeon (stade 3), a été révisé durant la période d'observation pour tenir compte de la rapidité d'évolution des bourgeons (fortes chaleurs). Les 15 et 21 avril, seuls les plants parvenus au moins au stade 2 ont fait l'objet d'une notation ; les 27 avril et 5 mai, des notes de 0 à 5 ont été attribuées à tous les plants bien conformés. Une dernière observation a été effectuée le 13 mai en se focalisant sur les individus les plus tardifs. Ceux qui se trouvaient encore au stade 1, jugés anormaux, ont été conservés comme "anormaux" et éliminés des analyses.

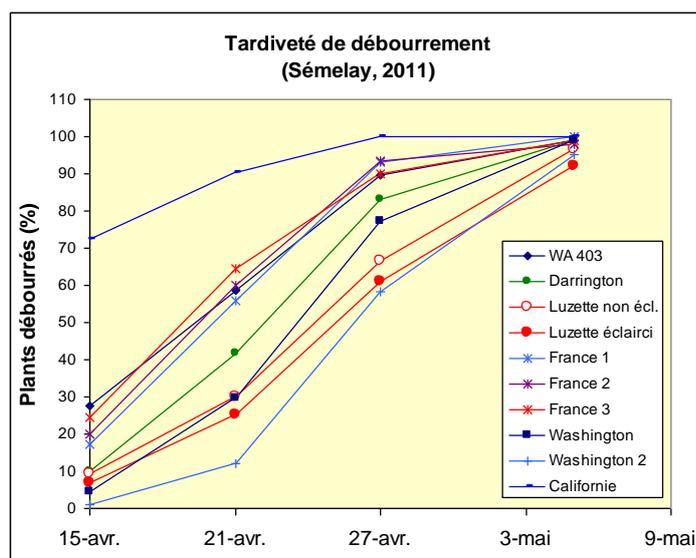
* Résultats

Variabes étudiées	Effet provenance	Effet répétition
Débourrement 15 avril (notes)	***	(*)
Débourrement 21 avril (notes)	***	NS
Débourrement 27 avril (notes)	***	(*)

(*), *, **, *** : effet significatif au seuil de 10%, 5%, 1%, 1%

NS : non significatif

Aux périodes de notation, le dispositif comptait 19%, 47%, 81% et 98% de plants débourrés. Comme en témoigne la figure ci-contre, ces valeurs moyennes cachent néanmoins de très grosses disparités inter-provenances. Si l'on prend comme référence le stade "70% de plants débourrés", ce seuil était atteint dès le 15 avril pour la variété Californie mais seulement le 30 avril pour Luzette éclairci et Washington 2. On retrouve donc l'amplitude de 15 jours observée en 2010 entre les dates de débourrement des variétés extrêmes.



Quelle que soit la date de notation, de fortes différences de variances interdisent la comparaison de la totalité des provenances. Les analyses ont donc été réalisées sur des sous-ensembles afin de ne pas (trop) déroger aux conditions d'homoscédasticité et de normalité.

Provenance	notes de débourrement		
	15 avril	21 avril	27 avril
WA 403	1.77 (a)	2.59 (cd)	3.99 (d)
Darrington	-	2.11 (bc)	3.57 (cd)
Luzette non écl.	-	1.80 (ab)	3.16 (bc)
Luzette éclairci	-	1.69 (ab)	2.85 (ab)
France 1	1.40 (a)	2.43 (cd)	4.06 (d)
France 2	1.58 (a)	2.60 (cd)	4.10 (d)
France 3	1.62 (a)	2.78 (d)	3.98 (d)
Washington	-	1.80 (ab)	3.15 (bc)
Washington 2	-	1.32 (a)	2.58 (a)
Californie	3.21 (b)	-	-
Total			

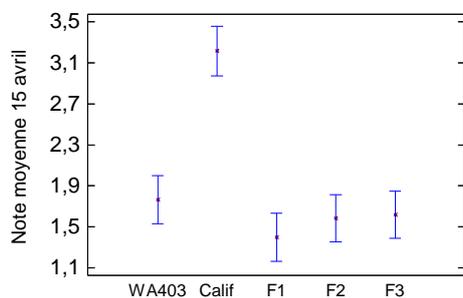
Les valeurs suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%

Les notations des 15 et 21 avril permettent de discriminer les provenances précoces ; celles du 27 avril les provenances tardives

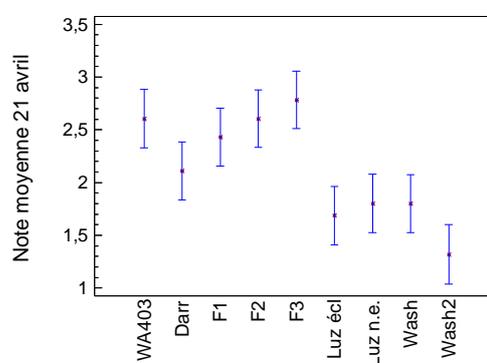
La compilation des résultats permet de dégager trois groupes de provenances : 1) Californie qui est de loin la variété la plus précoce, 2) la seed zone Washington 403 et les trois vergers "France", 3) La Luzette, Washington et Washington 2 qui sont tardifs. Le verger Darrington, quant à lui, fait le "pont" entre les groupes 2 et 3.

Cette hiérarchie est cohérente avec celle issue des notations effectuées en 2010 dans les tests de Peyrat, Haute Serre et des Barres. Par ailleurs, la sélection des clones du verger Washington sur la tardiveté de débourrement a porté ses fruits puisque ce verger se classe au niveau de La Luzette. En définitive, 4 vergers de l'Etat apportent une amélioration sur ce caractère par rapport au témoin Washington 403 : Washington 2, La Luzette, Washington et, à un degré moindre, Darrington.

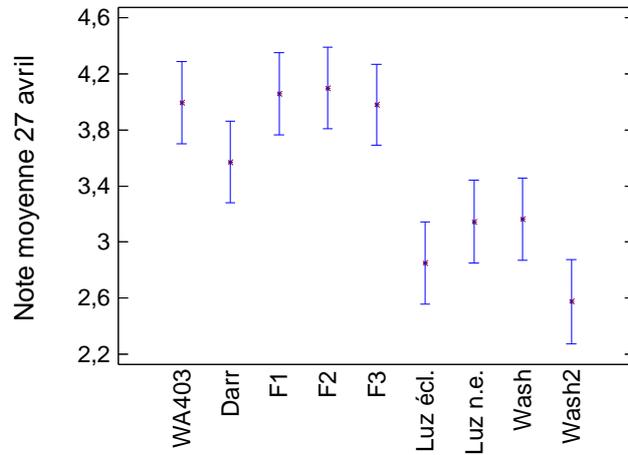
Moyennes et intervalles à 95,0% de Tukey HSD



Moyennes et intervalles à 95,0% de Tukey HSD



Moyennes et intervalles à 95,0% de Tukey HSD



2.2.2.- Guéry (EV_DF_2010.03 – ONF)

Les notations ont été réalisées mais les données n'ont pas été analysées.

2.2.3.- Montregard (DE_DF_2010.02 – CNPF)

Les résultats n'ont pas été livrés à temps et n'ont pu être intégrés dans ce rapport. Ils figureront dans le compte rendu d'activité 2012.

2.3- Evaluation de la résistance aux gelées précoces (étude bibliographique)

La résistance au froid est un caractère important à prendre en compte dans l'évaluation des variétés car le gel peut être à l'origine de dégâts sévères, en particulier dans les jeunes plantations : défauts de forme, lorsque la pousse principale est touchée, réduction de croissance et même mort du plant si les températures sont très basses. En outre, l'augmentation de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère accentuerait les risques de dégâts de gel. Les plants sont particulièrement vulnérables à deux périodes de l'année : au printemps, au moment du débourrement végétatif et au début de l'allongement des pousses, et à l'automne, lorsque les pousses ne sont pas complètement aoûtées.

La résistance aux gels tardifs peut être estimée indirectement via la date de débourrement car ces deux caractères sont fortement corrélés (Aitkens et Adams 1997, O'Neill et al. 2000). Statistiquement, les risques sont d'autant plus élevés que les plants débourrent tôt. Des notations de débourrement ont été réalisées dans plusieurs tests en 2010 et 2011. Les résultats sont très cohérents d'un site à l'autre et on peut considérer que la vulnérabilité aux gels tardifs des 8 variétés françaises est à présent connue.

En revanche, la détermination de la résistance aux gels d'automne se heurte à des problèmes méthodologiques. Des observations, basées sur la morphologie des aiguilles apicales et la couleur de la pousse terminale, ont été effectuées dans trois tests (Peyrat-le-château, Haute-Serre, Les Barres) en 2010 mais ces notations demeurent subjectives et la divergence des résultats obtenus doit nous inciter à la prudence (rapport de février 2011, pp 59-62). Une méthode plus objective et plus répétable doit être mise au point pour statuer de façon fiable sur la dynamique d'aoûttement des variétés et leur résistance aux gels précoces.

Pour ce faire, nous avons recueilli l'opinion de collègues de différents organismes de recherche et, parallèlement, mené une étude bibliographique préliminaire. Les principaux enseignements sont résumés ci-dessous.

Mesure de la résistance au froid et facteurs impliqués dans l'endurcissement (Poirier et al. 2010)

Depuis de nombreuses années, l'INRA de Clermont-Ferrand (PIAF) conduit des recherches sur la résistance au froid. Ces travaux concernent plutôt les feuillus, notamment le noyer, mais les processus généraux impliqués dans la résistance au froid sont certainement extrapolables aux résineux. Nous rapportons ici les points saillants d'une étude (Poirier *et al.*, 2010) destinée à la construction d'un modèle prédictif de la résistance au froid du noyer, en fonction de la température atmosphérique, des réserves glucidiques et de la teneur en eau tissulaire.

- L'acclimatation au froid est déclenchée à l'automne par le raccourcissement de la photopériode et le déclin des températures. Ces facteurs environnementaux induisent des modifications physiologiques et biochimiques dans le végétal, qui aboutissent à l'endurcissement. Ces changements concernent en particulier la dynamique des réserves glucidiques et la teneur en eau.

- L'étude décrite dans l'article porte sur deux variétés de noyer, élevées dans deux environnements climatiques. Ces matériels ont fait l'objet d'analyses régulières de novembre à juin : résistance au froid (variable à expliquer), dosage de glucides et teneur en eau (variables explicatives). En outre, des mesures de température ont été prises tout au long de la période de test.

La résistance au froid a été estimée par l'intermédiaire de la LT50, température provoquant 50% de lyse cellulaire, elle-même déterminée d'après les résultats de tests de conductivité. Ces derniers ont été réalisés à 6 températures comprises entre +5°C (témoin) et -70°C. Après avoir été soumis à la température fixée (abaissement progressif au rythme de 5-7°C/h), le matériel végétal (fragments de tige) est dégelé, immergé dans 15 ml d'eau ultrapure et enfin agité durant 24 h à 5°C. On mesure ensuite la conductivité initiale de la solution puis la conductivité finale après destruction de toutes les cellules par autoclavage, ce qui permet de déterminer le pourcentage de conductivité (rapport entre les conductivités initiale et finale). La température moyenne léthale (LT50) est enfin déduite graphiquement de la courbe traçant le % conductivité en fonction de la température.

- LT50 est le mieux corrélée avec la moyenne des températures minimales durant les 15 jours précédant la collecte des échantillons ($R^2=0,61$), puis la concentration en glucides solubles (saccharose, glucose, fructose ; $R^2=0,58$) et enfin la teneur en eau des tissus ($R^2=0,35$). Le modèle final retient ces trois paramètres (R^2 ajusté sur échantillon indépendant = 64%).

Le fait que LT50 soit mieux corrélée avec la température minimum moyenne qu'avec la température minimale du jour de collecte indique que l'endurcissement dépend de l'histoire climatique (récente) de l'arbre, probablement en lien avec des changements structuraux et/ou métaboliques.

A l'automne, la résistance au froid se développe parallèlement à une transformation de l'amidon en glucides solubles. Ces derniers sont à nouveau mobilisés au printemps pour reformer de l'amidon qui est consommé pour la croissance des pousses. Ce résultat confirme le fait que l'accumulation de saccharose due à la mobilisation de l'amidon constitue une étape essentielle dans l'acquisition de la résistance au froid. Ces glucides solubles abaissent le point de gel de la solution intracellulaire mais il n'est pas exclu qu'ils jouent aussi un rôle indirect dans l'endurcissement, par exemple en stabilisant les membranes cellulaires.

En automne et en hiver, la teneur en eau tissulaire décroît parce que la quantité d'eau évaporée au travers de l'écorce et des bourgeons est supérieure à celle fournie par les racines. Il est tentant d'utiliser ce facteur facilement mesurable pour évaluer le degré d'aoûtement ; malheureusement, il varie peu au cours du temps et n'est que faiblement corrélé à LT50 (dans cette étude tout du moins).

- La sécheresse estivale, dont la fréquence et l'intensité devraient augmenter à l'avenir, a pour effet de réduire l'activité photosynthétique des feuilles, et de ce fait les réserves glucidiques. On peut donc craindre que la sécheresse ne se traduise par une moindre résistance au froid des végétaux. A cet égard, un autre pan de l'étude montre effectivement qu'une défoliation manuelle, qui réduit la quantité de glucides synthétisée, aboutit à une moins bonne résistance au froid hivernal. A l'inverse, l'annélation d'écorce retient les glucides dans le tronc et a un impact positif sur la résistance aux froids d'automne et du printemps.

Magalie Poirier, André Lacoïnte et Thierry Améglio – 2010 – A semi-physiological model of cold hardening and dehardening in walnut stem

Méthode américaine d'évaluation de la résistance au froid du Douglas (Anekonda et al. 2000)

Cet article présente une méthode qui semble mise en œuvre en routine par les améliorateurs américains et canadiens pour évaluer la résistance au froid de leurs génotypes.

Techniques utilisables pour la détermination de la résistance au froid

- L'évaluation directe au champ est aléatoire car les gels sont imprévisibles et d'intensité variable en fonction de la topographie de la surface de l'essai. En outre, il est difficile de séparer les dégâts occasionnés par le gel et d'autres facteurs dommageables (sécheresse, maladie, attaques d'insectes). Il vaut donc mieux avoir recours à des tests indirects.

- Les tests impliquant un gel artificiel sont considérés comme fiables dans la mesure où leurs résultats sont bien corrélés avec les dégâts observés au champ ($0,47 < r < 1,00$; $m=0,82$). Ils peuvent être appliqués à des individus entiers mais le volume réduit des enceintes climatiques ne permet d'évaluer qu'un nombre limité de jeunes individus et ces derniers sont souvent endommagés ou détruits à l'issue du traitement. Il est donc préférable de travailler sur des pousses prélevées au champ, même s'il est difficile de relier les dégâts de pousses au comportement de l'arbre entier (mortalité, croissance, forme). Dans ce contexte, les génotypes sont évalués de manière relative, c'est-à-dire en comparaison avec des témoins.

L'impact du gel peut être estimé quantitativement, en mesurant la conductivité électrolytique ou la fluorescence de la chlorophylle, ou bien par l'intermédiaire d'une note d'endommagement après examen visuel des tissus soumis au froid. En dépit d'une moindre précision, c'est cette dernière technique qui est recommandée dans l'article. Elle présente en effet l'avantage d'être simple, peu coûteuse en matériel et en formation de personnel, et elle est suffisamment fiable pour les besoins ordinaires des améliorateurs : les notes de dégâts sont fortement corrélées aux résultats du test de conductivité et de fluorescence ($R^2 > 0,90$).

- La résistance au froid peut être exprimée par la température qui aboutit à 50% de dégâts (LT50) ou, plus simplement, par le pourcentage de dégâts à une ou des températures donnée(s). Le calcul de LT50 est fastidieux car il est nécessaire de tester les génotypes dans une gamme de températures (au moins 4). La méthode préconisée dans l'article consiste à soumettre les pousses à une température qui produit des dégâts moyens (entre 30% et 70%), puis de classer les génotypes sur la base du pourcentage d'endommagement. La température de test est déterminée après réalisation d'un test préliminaire. Lors de l'évaluation d'un groupe de 180 clones, de fortes corrélations ont été obtenues entre le % de dégâts (moyenne sur 2 températures) et LT50 basée sur 4 températures ($0,82 < r < 0,94$).

- La vulnérabilité aux gels de printemps peut s'apprécier de façon fiable via la date de débourrement. En revanche, la corrélation génétique entre la date de formation du bourgeon et l'endurcissement est moins nette. Si elle est satisfaisante pour les jeunes semis ($0,65 < r < 0,96$; $m=0,80$), elle demeure faible pour les individus plus âgés (4-7 ans) ($0,28 < r < 0,38$; $m=0,33$). Cette méthode doit donc être réservée aux seuls semis. Il ne faut cependant pas sous-estimer la difficulté de l'exercice car le méristème apical est caché par les aiguilles. D'autre part, un suivi régulier s'impose après formation du premier bourgeon en raison des risques de polycyclisme. En définitive, le test au froid artificiel s'avère plus précis et peut-être même moins coûteux.

Génétique de la résistance au froid du Douglas

Les résultats ci-dessous sont issus de l'étude de 291 familles de Colombie-Britannique, Washington et Oregon. Les individus étaient âgés de 4 à 7 ans lors des tests.

- Les dégâts d'aiguilles sont les plus faciles à observer mais les plus dommageables pour la croissance et la forme de l'arbre sont ceux qui touchent la pousse terminale (cambium et phloème) et le bourgeon terminal. Les corrélations génétiques entre les notes affectées à ces trois organes sont moins bonnes à l'automne ($0,16 < r < 0,92$; $m=0,61$) qu'au printemps ($0,74 < r < 0,98$; $m=0,88$). En début d'automne (septembre-octobre), une même température de test permet d'évaluer correctement les dégâts des trois organes mais ce n'est plus le cas en novembre car la température optimale pour les pousses et les aiguilles endommage trop sévèrement les bourgeons. En raison de son importance biologique, il est recommandé d'étudier en priorité les pousses.

Au début de l'automne, les pousses secondaires sont considérablement moins aoûtées que les pousses primaires. Les génotypes à tester devront donc être représentés uniquement par des individus mono ou polycycliques. Le polycyclisme s'arrêtant vers 10 ans, il est préférable d'opter pour des monocycliques car ils seront plus représentatifs de la population à un âge plus avancé.

NB- Le raisonnement est critiquable car les dégâts de gel concernent surtout des individus jeunes, et donc susceptibles de produire des pousses secondaires. D'autre part, l'article n'indique pas si le classement des familles est similaire selon que les tests sont réalisés sur individus mono ou polycycliques.

- Les héritabilités individuelles pour la sensibilité au froid sont beaucoup plus élevées au printemps ($h^2=0,72$) qu'à l'automne ($h^2=0,20$). D'autre part, les corrélations génétiques entre la résistance aux gels précoces et tardifs sont faibles ($r=-0,25$). Il en est de même pour la relation entre vigueur et résistance au froid d'automne ; malgré tout, on doit s'attendre à une relation défavorable car les individus les plus vigoureux sont plus enclins à faire du polycyclisme et s'aoûtent donc plus tardivement. Enfin, on observe de fortes corrélations ($r>0,85$) entre les dégâts obtenus dans des conditions expérimentales différentes (année, date de collecte des pousses à l'automne, site, âge des plants). L'interaction génotype x environnement est donc faible. Une seule évaluation, réalisée à partir de matériel prélevé une année donnée dans un site donné apparaît donc suffisant pour classer des familles.

Protocole expérimental du test

Le test préliminaire et le test principal sont réalisés selon le même protocole. En résumé, des extrémités de rameaux latéraux (4-6 cm de longueur) sont enveloppées dans de la gaze humide recouverte d'une feuille de papier aluminium et placées dans un congélateur permettant un contrôle de la température. Après une nuit à -2°C , la température est réduite de 3°C par heure jusqu'au seuil fixé lors du test préliminaire. Les échantillons sont maintenus 1 h à cette température, puis dégelés au réfrigérateur pendant 12 h et enfin stockés à température ambiante durant 6-7 jours, le temps que les symptômes apparaissent. L'article fournit de nombreux détails pratiques pour guider les opérateurs. En particulier, il indique les LT50 trouvées pour des pousses, bourgeons, aiguilles de semis et de jeunes arbres pour des prélèvements effectués au mois d'octobre, lors de trois années consécutives ($-8^{\circ}\text{C} < \text{LT50} < -20^{\circ}\text{C}$).

Les dégâts sont quantifiés sous une loupe binoculaire, par l'intermédiaire d'une note indiquant le pourcentage de tissu endommagé (1 : 0-10%, 2 : 10-20%, ...). Pour les aiguilles, on note la proportion de la surface foliaire qui a bruni ou s'est détachée de la tige. La pousse est

sectionnée tangentielle dans le sens de la longueur de manière à mettre à nu 2 cm de cambium et phloème ; la note d'endommagement représente le pourcentage de tissu qui a jauni ou bruni. De même, on note le pourcentage de tissu décoloré des bourgeons après coupe longitudinale. Ces notations ne sont pas difficiles à réaliser mais requièrent néanmoins une certaine expérience (le passage du vert au jaune pouvant être subtile). Nous n'avons malheureusement pas pu nous procurer les photos de dégâts annoncées dans l'article. N'ayant pas les moyens d'aller nous former aux Etats-Unis, de nouvelles tentatives seront faites en 2012.

En règle générale, 10-12 individus par famille suffisent pour mettre en évidence un effet génétique significatif.

TS Anekonda, WT Adams, SN Aitken – 2000 – Cold hardiness testing for Douglas-fir tree improvement programs: guidelines for a simple, robust, and inexpensive screening method. Western Journal of Applied Forestry, Vol.15, N)3, July 2000, 129-136.

Structuration de la variabilité génétique du Douglas pour la résistance aux gelées précoces (St Clair 2006 et 2007)

Dans l'étude de St Clair (2006), la résistance au froid a été évaluée dans une plantation comparative de Corvallis (OR) rassemblant 792 familles originaires de 666 sites de l'ouest de l'Oregon et du Washington. Elle a été mesurée en octobre et novembre (températures variant de -12°C à -28°C selon la date), selon la méthode d'Anekonda et al. (2000) et en distinguant les dégâts occasionnés à la tige, aux bourgeons et aux aiguilles. Les plants étaient âgés de deux ans lors des tests.

NB- Etrangement, il n'est pas fait mention dans cet article du polycyclisme qui a pourtant une influence considérable sur l'aoûtement. Les individus mono et polycycliques n'ont apparemment pas été différenciés.

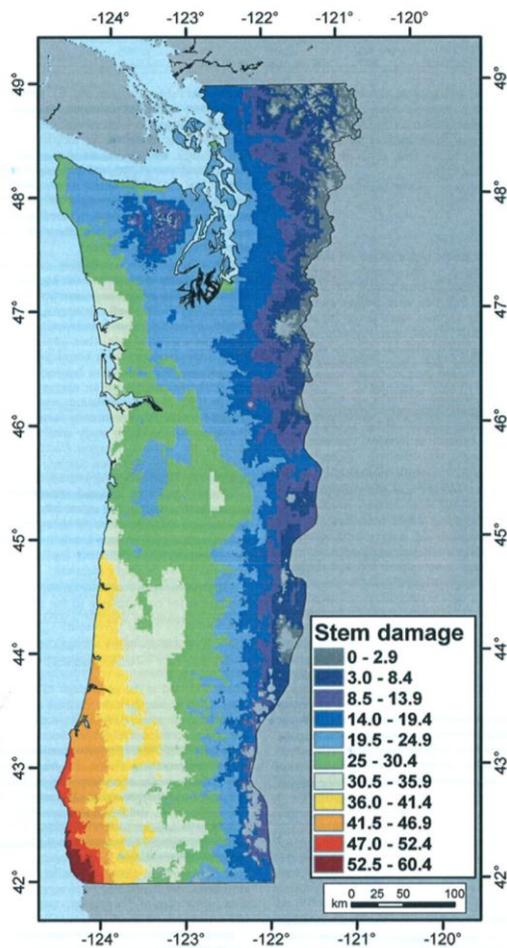
- Les résultats montrent que la variabilité génétique est considérable. Des différences significatives sont observées à la fois entre et à l'intérieur des populations. La différenciation des populations est beaucoup plus forte pour la résistance au froid automnal que pour la croissance et la phénologie (dates de débourrement et de formation du bourgeon terminal). Selon l'auteur, les guides de transfert de MFR devraient sans doute être plus restrictifs si l'on ne veut pas s'exposer à des dégâts de gels précoces.

- Les dégâts observés sur les différents organes sont fortement corrélés ($0,81 < r < 0,91$). L'auteur tient essentiellement compte des résultats obtenus sur pousses car ces dégâts sont les plus préjudiciables aux plants et bien corrélés avec les dégâts de bourgeons ($r=0,91$) et d'aiguilles ($r=0,89$).

- A l'échelle de l'Oregon et du Washington, la variabilité génétique est structurée spatialement, selon des clines correspondant à des gradients environnementaux. Il est donc manifeste que cette variabilité a été façonnée par la sélection naturelle.

La résistance au froid dépend de la latitude, la longitude, l'altitude et la date du dernier gel de printemps ($R^2=0,63$). Elle est d'autant plus faible que les populations sont méridionales et côtières. Logiquement, ce sont les familles originaires de sites à climat froid qui supportent de plus basses températures automnales. Toutefois, ce patron est beaucoup moins net à l'échelle de petites régions géographiques.

NB- Si on extrapole ces résultats à une région plus vaste, étendue au Sud, on en déduit que les populations californiennes devraient être plus sensibles aux gels précoces que les populations du Washington.



© 2006

froid de printemps a été plus faible que pour la résistance au froid d'automne. La tardiveté de débourrement n'est que peu liée aux facteurs environnementaux, même si on observe des corrélations avec la température maximale et les précipitations estivales. Un débourrement précoce, qui permet à l'arbre de produire ses pousses avant l'été, s'interprète comme une adaptation à la sécheresse.

J. Bradley St Clair– 2007 – Genetic variation in fall cold hardiness in coastal Douglas-fir in western Oregon and Washington, Can.J.Bot. 84 : 1110-1121

J. Bradley St Clair et Glenn T. Howe – 2007 – Genetic maladaptation of coastal Douglas-fir seedlings to future climates. Global Change Biology, 13, 1-14.

- Une étude ultérieure de St Clair et Howe (2007), comparant 1256 descendances de Douglas originaires des mêmes Etats, confirme que les provenances de Douglas les plus septentrionales et les plus hautes en altitude sont les moins exposées. Les dégâts de froid précoce (automne) sont corrélés négativement avec l'altitude ($r=-0,35$) et la latitude ($r=-0,49$).

- Sur l'ensemble de la zone étudiée, la résistance au froid d'automne n'est que modérément corrélée avec la date de formation du bourgeon terminal ($r=0,57$). Elle est indépendante de la tardiveté de débourrement ($r=-0,19$) et de la vigueur, appréciée via la biomasse des plants ($r=0,16$). A échelle géographique plus restreinte, les corrélations sont en revanche très variables.

- En ce qui concerne la tardiveté de débourrement, très bon indicateur de la sensibilité aux gels tardifs, la variabilité inter-populations est beaucoup plus faible. L'essentiel de la variabilité se trouve à l'intérieur des populations, ce qui suggère que la sélection naturelle pour la résistance au

Expérience FCBA (P. Alazard, comm. pers.)

FCBA détient une expertise pour l'évaluation de la résistance au froid chez l'eucalyptus. Les clones à tester sont comparés à des témoins dont la résistance est connue ; il s'agit donc d'une évaluation en relatif (plus ou moins sensible que les témoins) et non en valeur absolue (niveau de température nécessaire à l'obtention de dégâts). La procédure FCBA s'applique à des plants en pot placés entiers dans une enceinte climatique contrôlée. Les plants sont graduellement refroidis jusqu'à 2°C, température à laquelle ils sont maintenus durant une nuit, puis la température est abaissée régulièrement, à raison de 2°C par heure, jusqu'au seuil minimal souhaité (déterminé lors d'un test préalable incluant des clones dont le comportement au froid est connu). Après un palier d'une heure à cette température, les plants sont progressivement remis à température ambiante (2°C/h), puis placés en serre pour accélérer la visualisation des dégâts. Ces derniers sont observables après 10-15 jours dans le cas d'un test d'automne ; leur intensité est appréciée visuellement, en distinguant l'apex, les feuilles et la tige. Notons que ce délai d'une à deux semaines constitue un inconvénient pour la détermination de la température à appliquer dans le test réel car les plants poursuivent leur endurcissement entre le test préliminaire et la constatation des dégâts.

Quelques Douglas ont été inclus à titre expérimental dans des tests d'eucalyptus mais les résultats ne sont pas probants car les deux essences réclament des températures différentes.

En ce qui concerne les tests indirects, la conductivité a été largement utilisée dans le passé sur feuilles d'eucalyptus (articles de Cauvin, annales AFOCEL) mais apparemment pas sur le Douglas. Chez le pin maritime, cette technique permet de différencier les races corse et landaise mais pas les clones ou familles à l'intérieur de chaque race. D'autre part, le test de fluorescence a aussi été mis en œuvre par l'université Paul Sabatier de Toulouse.

Nsure

Un laboratoire hollandais (www.nsure.eu), basé à Wageningen, a développé un test pour évaluer la résistance au froid de semis de différentes espèces, parmi lesquelles le Douglas. La technologie est conservée secrète mais elle fait appel à la génomique. Ce test est destiné en premier lieu aux pépiniéristes qui doivent s'assurer que les semis sont bien aoûtés avant de les arracher et de les stocker en chambre froide. Nsure leur fournit un kit permettant, après broyage d'une quinzaine de bourgeons, d'extraire une gouttelette qui est analysée à Wageningen. Le verdict est disponible en 24 h, pour un coût de 85 €/test HT. L'information reste cependant peu précise puisque le résultat présenté sous la forme d'une note de 1 à 3 (vulnérable au froid, maturation en cours d'acquisition, résistance au froid complète).

Le responsable technique de Nsure nous a indiqué que, d'après son expérience, cette technique permettrait effectivement de classer les 8 variétés françaises, en dépit de leur grande diversité génétique. On est cependant en droit de s'interroger sur la différence d'aoûttement que ce test est réellement capable de mettre en évidence à partir du broyat de seulement 15 bourgeons et d'une note 1-2-3. D'autre part, le test présente plusieurs inconvénients techniques et scientifiques : i) il est destructif car il réclame la collecte de bourgeons terminaux, ii) il a été mis au point sur des semis d'un et deux ans, donc plus jeunes que ceux de nos dispositifs, iii) le verdict est fondé sur une méthode inconnue et iv) établi à l'échelle de la population, non de l'individu. Enfin, l'aspect économique est aussi à considérer. Dans notre cas, l'analyse concernerait plusieurs dizaines d'échantillons : 9 provenances x 2 sortes d'individus (mono et polycycliques) x 2-3 dates. En dépit de qualités certaines (très bonne notation de la part d'experts européens, rapidité du diagnostic) et de l'offre tarifaire que

Nsure acceptait de nous consentir, cette technologie ne nous a pas semblé suffisamment adaptée à nos objectifs pour poursuivre sur cette voie.

Fluorescence de la chlorophylle

La mise en œuvre de cette technique serait prématurée ; elle nécessite une recherche bibliographique spécifique et la comparaison de divers matériels disponibles sur le marché. Les capteurs optiques que nous avons étudiés semblent peu adaptés aux petites aiguilles des résineux.

Perspectives pour l'évaluation de l'endurcissement des variétés françaises de Douglas

Nos recherches ont donc permis d'identifier deux méthodes potentiellement intéressantes pour la détermination de la résistance au froid des variétés de Douglas : i) l'observation visuelle des dégâts sur pousses (éventuellement bourgeons et aiguilles) après passage à une ou des températures provoquant des dégâts "intermédiaires" (30%-70% de tissus endommagés) et ii) la détermination de LT50 par des mesures de conductivité. La première, qui est couramment utilisée sur la côte ouest américaine, paraît *a priori* la plus adaptée mais il nous faut acquérir une expérience en matière de notation de tissu nécrosé et avoir accès à un congélateur programmable. D'autre part, il convient de vérifier que cette méthode, destinée au screening de nombreux géotypes, est suffisamment précise pour classer les variétés françaises qui se caractérisent par une large variabilité génétique. La seconde, qui présente l'avantage d'être maîtrisée par une équipe française de l'INRA, a fait ses preuves sur certaines espèces feuillues. Il n'est cependant pas certain qu'elle soit extrapolable en l'état sur conifères car les mesures de conductivité sont influencées par la résine présente dans les tissus. Un complément d'étude bibliographique sera nécessaire pour essayer de contourner cet écueil.

Pour faire progresser la réflexion, J.C. Bastien et G. Philippe ont rencontré T. Améglio et G. Charrier de l'INRA de Clermont (17 janvier 2012). Nos collègues n'ont jamais tenté de quantifier les nécroses tissulaires *de visu* et ne peuvent donc pas nous aider pour l'application de la méthode américaine. Ils considèrent cependant que le test de conductivité est plus simple à mettre en œuvre, tout en reconnaissant la difficulté de travailler sur espèces résineuses (amplitude des % de conductivité plus faible que chez les feuillus). Le PIAF étant intéressé d'acquérir une expérience sur une nouvelle espèce et d'étudier les effets génétiques sur la résistance au froid, une collaboration sera initiée en 2012. Des tests préliminaires, incluant six températures, seront réalisés cet automne à Clermont-Ferrand, sur une centaine d'échantillons de deux variétés *a priori* contrastées pour le caractère étudié. Des tests "américains" seront pratiqués en parallèle si l'on parvient à réunir suffisamment d'informations sur l'évaluation visuelle des dégâts.

3- Référencement des essais du réseau dans la base de données Treebreedex

Après consultation des partenaires du groupe impliqué dans l'évaluation des vergers, il n'est pas apparu nécessaire de construire une base de données spécifique à ce nouveau réseau. En revanche, les organismes jugent utile d'intégrer les 29 tests d'évaluation et de démonstration dans la base de données Treebreedex, qui répertorie et décrit les plantations comparatives à l'échelle européenne. Cette base, administrée par l'INRA d'Orléans (Luc Pâques), n'était à l'origine accessible qu'aux participants Treebreedex mais des droits ont été (ou seront prochainement) accordés aux partenaires du réseau pour leur permettre d'entrer leurs données.

D'un point de vue pratique, le référencement des essais nécessite, pour chaque organisme expérimentateur, de remplir trois fichiers : les deux premiers décrivent les sites d'installation (FT, field tests) et les unités génétiques (GU, genetic units) évaluées, le 3^{ème} (TM) établit une correspondance entre sites et unités génétiques. JC Bastien, G Philippe et L Pâques se sont réunis le 9 février 2012 à l'INRA d'Orléans pour entrer, à titre d'essai, quelques tests du réseau dans la base et identifier d'éventuelles difficultés. L'opération s'est soldée par un échec car il s'est avéré impossible d'extraire un fichier GU de la base pour le modifier. La raison en est que les mêmes unités génétiques figurent parfois sous le même nom dans les fichiers d'organismes différents et que, par précaution, une procédure n'autorise évidemment pas un institut à supprimer des unités d'un autre partenaire.

Pour contourner ce problème technique, chaque organisme devra donc adopter un système de codification propre de "ses" unités génétiques et il conviendra, dans un 2^{ème} temps, de construire une table des synonymes indiquant l'équivalence des différentes appellations.

En raison de cette difficulté, le remplissage de la base Treebreedex n'a pu aboutir dans les délais prévus. Cette opération sera réalisée dans le courant de l'année 2012.

4- Communication

Un gros effort de communication a été fait en 2011. Les objectifs, l'état d'avancement et les premiers résultats de ce réseau ont été présentés à divers publics et sous diverses formes :

- Présentation orale à la réunion de la section "arbres forestiers" du CTPS (G. Philippe, 16 mars)
- Intégration dans la présentation orale faite par D. Michaud à l'occasion du 3^{ème} atelier RMT du réseau AFORCE (12 mai) et dans celle de J.C. Bastien lors de l'Assemblée Générale de l'association France Douglas (Mazamet, 9 octobre)
- Présentation d'un poster au colloque "Applied forestry research in the 21st century" (G. Philippe, Prague, Rep. tchèque, 13-15 septembre)
- Parution d'un article dans la revue "Sciences Eaux & Territoires" d'Irstea (G. Philippe, S. Matz, J.C. Bastien, G. Archevêque, S. Girard, B. Musch). Le document est téléchargeable à l'adresse suivante : <http://set-revue.fr/un-reseau-national-de-plantations-comparatives-pour-evaluer-les-vergers-graines-francais-de-douglas>

Testing French Douglas-fir seed orchards: a newly-established network of trials



PHILIPPE Gwenaél¹, BASTIEN Jean-Charles², MATZ Stéphane³, ARCHEVEQUE Guylaine⁴,
GIRARD Sabine⁵, MUSCH Brigitte⁸

^{1,3} Cemagref Nogent-sur-Vernisson (F) ² INRA Orléans (F) ^{4,6} ONF Lempdes/Orléans (F) ⁵ CNPF Lyon (F)

Seedlings grown by the State nursery of Aix-en-Provence – Project funded by the French Ministry in charge of forests

Field testing of improved materials is essential:

- (i) to quantify realized genetic gains
- (ii) assess performances for non-selected traits
- (iii) specify target areas for utilisation (GXE interaction)

Study case: French Douglas-fir seed orchards

- 8 clonal orchards established in the 1980's (90 ha)
- Origin of the materials: U.S.A. (mainly Washington) & France
- Produce 80-90% of the seedlings used in France

Seed orchard	Plant. year	Area	# clones	Clone origin
Darrington	1978/ 1990	14 ha	70	USA (WA, prov. Darrington)
La Luzette	1980	34 ha	226	USA (WA & OR) + France
Washington	1984	8 ha	269	USA (West WA)
Washington 2	1983	8 ha	106	USA (WA)
France 1	1990	8 ha	110	France
France 2	1989	5 ha	138	France
France 3	1989	10 ha	151	France
Californie	1986	5 ha	116	USA (CA)

tested category qualified category

A collaborative trial network

(Cemagref, ONF, INRA, CNPF)

- 27 trials comparing the 8 s.o. and Washington seed zone 403 (USA) as control
- Planted from 2009 to 2011
- 3 types of trials: single tree plots, block design, demonstration plots



coloured symbols: testing trials empty symbols: demonstration trials

4 types of sites

representative of current and foreseen adaptation of standard varieties in the next 50 years:

- large production areas (OK/OK)
- « climatic margin 1 » (OK/?)
- « climatic margin 2 » (no/no)
- high elevation areas (no/OK)

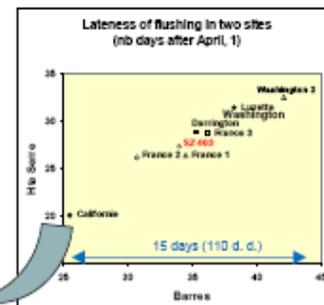
First results

- Lateness of flushing
- Initial height growth: most of the varieties grow faster than the control
- Polycyclism, shoot hardening

Prospects

- First multisite assessment at age 5 (survival, health, height growth, branching, forking)
- Extension of the network (other EU countries ?)
- Study drought resistance through indoor tests

Special thanks to P. Brahic (State nursery Aix), B. Chopard, J.M. Fargeix, T. Quesney, J. Courtiol, C. Blazy (ONF), C. Vidal (CNPF), D. Vauthier (INRA), F. Montagnon and S. Guerinet (State nursery Peyrat)



Conclusion

Le programme d'installation décidé lors de la réunion de lancement du projet (22 janvier 2008) est à présent terminé. Le réseau est à présent constitué de 17 dispositifs d'évaluation (12 mono-arbres et 5 dispositifs en grandes parcelles unitaires) et 10 tests de démonstration, soit 27 essais au total.

Type de milieu	Dispos expérimentaux		Tests de démo
	grandes p.u.	mono-arbres	
Cœur de l'aire	2 (ONF)	3 (Irstea)	3 (CNPF)
Altitude		2 (Irstea) + 2 (ONF)	2 (CNPF)
Marge 1	1 (Irstea) + 1 (ONF) + 1 (CNPF)	1 (Irstea) + 1 (ONF)	4 (CNPPF)
Marge 2		1 (Irstea) + 1 (INRA) + 1 (ONF)	1 (INRA)

En outre, deux dispositifs comparant La Luzette et Californie, pures et en mélange, auront été installés aux Barres (2009) et en FD des Battées (2012). Des placeaux purs de ces deux provenances ont également été plantés dans deux sites en 2011 par le CNPF.

Dans l'ensemble, l'état des dispositifs est satisfaisant puisque 24 d'entre eux ont une mortalité inférieure à 20%. On déplore néanmoins la perte de deux tests : i) Taravant qui a subi deux attaques d'hylobes et qui ne mérite pas d'être conservé malgré le regarni de 2011 (taux de mortalité supérieur à 60%) et ii) Colle du Rouet, planté dans des conditions pédo-climatiques très difficiles, mais qui aura cependant fourni des informations avant son abandon. Une ré-installation est à l'étude sur ce site très "discriminant". Enfin, deux dispositifs ont subi des dégâts importants mais continuent néanmoins à être suivis : Les Barres qui a été regarni et Anglès.

Des mesures de hauteur ont été prises régulièrement dans la majorité des sites. La variété californienne se caractérise par une faible vigueur initiale dans tous les milieux. Si l'on excepte Darrington, relativement peu vigoureuse, les autres variétés ont généralement une croissance supérieure au témoin de l'aire naturelle (seed zone Washington 403) mais la hiérarchie varie d'un site à l'autre. Les données qui seront collectées dans tous les tests à l'issue de la 5^{ème} année sur le terrain fourniront des informations plus précises sur la croissance juvénile et sur la relation croissance x milieu.

Si le réseau est à présent conforme au schéma imaginé lors du lancement du projet, il n'en a pas pour autant atteint sa configuration définitive. De larges parties du territoire national ne sont pas couvertes alors même que le Douglas y est largement cultivé ou qu'il est appelé à se développer rapidement (dans la perspective de diversifier les essences et d'améliorer la productivité des forêts). Lors d'une réunion organisée à l'initiative de l'ONF et du CRPF Franche-Comté (22-23 novembre 2011), les partenaires du réseau se sont donc prononcés en faveur d'une extension du réseau dans le nord-est (massif du Jura, plateaux calcaires, massif des Ardennes, collines sous-vosgiennes) et le nord-ouest de la France (Normandie). Avec l'aide du GIE "semences forestières améliorées", Irstea et l'INRA ont d'ores et déjà mobilisé des lots de graines des vergers, en veillant à ce qu'ils soient le plus représentatifs possible de la diversité génétique des matériels de base. Un semis est programmé début 2013, ce qui permettrait à l'ONF et au CNPF d'implanter les premiers dispositifs au printemps 2014.

MESURES DANS DES DISPOSITIFS AGES (ONF, INRA, Irstea)

1- Dispositifs homologues ONF-Irstea

1.1- Tests gérés par Irstea

Comme prévu, Irstea a effectué une campagne de mesures dans trois dispositifs mono-arbres plantés au printemps 1998 : Montsauche-les-Settons (58), Ingwiller (67) et Grandcheneau (54). Les caractéristiques de ces essais ont été détaillées dans le compte rendu d'activité 2008 (rapport de février 2009, pp 143-146). Les mesures d'Ingwiller et Grandcheneau ont été réalisées par une équipe mixte ONF-Irstea et, en contrepartie, Irstea a participé aux mesures du test ONF de Val de Senones.

Dans les trois sites Irstea, les notations et mesures concernaient l'état sanitaire et la croissance en circonférence. A Ingwiller et Grandcheneau, l'état sanitaire a été apprécié en septembre 2011, selon le système de notation anciennement en vigueur (note d'état assortie de remarques). A Montsauche en revanche, les observations ont été réalisées en janvier 2012, ce qui a permis d'utiliser la grille nouvellement définie par le groupe "évaluation des vergers de Douglas". Le déficit foliaire (rétention des aiguilles) et la couleur du feuillage sont ainsi traités comme des caractères à part entière.

Les données seront analysées en 2012 et les résultats détaillés seront donc présentés dans le prochain rapport d'activité. En attendant, les résultats bruts sont exposés dans les tableaux ci-dessous.

	Survie (%)		
	Montsauche	Ingwiller	Grandcheneau
Bout 24	90	86	92
Darrington	94	83	89
Luzette	92	89	98
RP 04	94	85	83
WA 403	95	91	93
Moyenne	93%	87%	91%

	nb années d'aiguilles	% arbres avec défoliation	
	Montsauche	Ingwiller	Grandcheneau
Bout 24	1.46	40.7	19.6
Darrington	1.62	24.1	27.0
Luzette	1.51	19.1	16.3
RP 04	1.33	41.2	21.7
WA 403	1.42	26.4	19.3
Moyenne	1,47 année	30,4%	20,7%

	circonférence à 14 ans (cm)		
	Montsauche	Ingwiller	Grandcheneau
Bout 24	41.2	37.7	45.1
Darrington	40.6	37.0	39.4
Luzette	39.5	39.5	44.4
RP 04	36.9	36.0	38.3
WA 403	37.0	34.9	40.0
Moyenne	39,0 cm	37,0 cm	41,5 cm

La concurrence entre arbres, bien réelle dans ces essais âgés de 14 ans, est susceptible d'introduire un biais dans les résultats. On risque en effet de sous-estimer la croissance des provenances les moins vigoureuses dont les représentants sont plus souvent dominés. Cependant, les gestionnaires des essais d'Ingwiller et Grandcheneau, rencontré sur le terrain lors des mesures ou contacté par téléphone, ne sont pas favorables à une éclaircie rapide, d'autant que la densité de plantation était relativement faible.

1.2- Tests gérés par l'ONF

Les caractéristiques des sites d'expérimentation et des essais ont été décrites dans le rapport de février 2010, pp 166-172. Lors de cette campagne de mesures, les arbres étaient âgés de 14 ans (depuis la plantation).

1.2.1.- Homol (Gard)

Les mesures ont été réalisées les 30 novembre et 1^{er} décembre 2011. Les données ont été analysées mais le compte rendu nécessite des corrections. Les résultats seront présentés dans le prochain rapport d'activité.

1.2.2.- Le Goulet (Lozère)

1.2.2.1. Rappel : objet de l'expérience - dispositif

Le but initial de l'expérience est de tester le comportement de trois vergers à graines de douglas (La Luzette, Darrington et Bout 24) dans l'étage montagnard supérieur du Massif Central. Toutefois, le verger à graines de Bout n'étant plus commercialisé, il pourrait être considéré comme témoin. A titre de témoins, 2 autres variétés de douglas et une d'épicéa ont été installées. Il s'agit de :

- Douglas RP 04 (Est Massif Central)
- Douglas Washington 403.
- Epicéa RP 05 (2^{ème} plateau du Jura)

Les récoltes de graines sont contemporaines de celles de Brassy soit 1996.

Date de mise en place (plantation) : 09 avril 1998.

Altitude : 1300 m.

** Dispositif*

Unité expérimentale : plateau de 5 plants alignés

Répétitions : 19 organisées en blocs

Densité de plantation : 1330/ha (3 m entre les lignes × 2,50 m sur les lignes).

Mesures réalisées

- taux de reprise, hauteur initiale et hauteur totale à l'automne 1998
- hauteur totale et taux de survie à 3 ans, puis tous les 3 ans
- tardiveté du débourrement au printemps 1999 ou 2000
- circonférence à 1 m 30 à partir de la 9ème année.

Le protocole ONF-Cemagref de 2007 prévoit des mesures de branchaison sur un test d'adaptation par organisme. Pour l'ONF, c'est le dispositif du Goulet qui a été choisi.

1.2.2.2.- Mesures effectuées à l'issue de la saison de végétation 2011

Les observations et mesures ont été effectuées les 23-24 novembre 2011. Elles concernent le taux de survie, l'état sanitaire des plants, leur circonférence à 1,30 m et leur hauteur totale en fin de saison de végétation 2011. De plus, une notation de branchaison a donc été effectuée.

- Taux de survie et état sanitaire estimés via un système de notation récemment révisé par les partenaires du réseau :

0- arbre sain 2- cime sèche 5- abrouiti 6- frotté
7- endommagé lors du dégagement 8- Pb particulier 9- mort.

Le code 8 a été attribué à des plants couchés, cassés ou pliés par la neige.

- Circonférence et hauteur totale fin 2011 : ces deux données ont été mesurées sur tous les plants vivants non cassés ou couchés de l'échantillon principal.

Les mesures de forme prennent en compte la fourchaison et la qualité de la branchaison. Les mesures de branchaison ont été effectuées sur le premier verticille vivant situé en dessous de 2 m de hauteur. Ont été notés :

- la hauteur du verticille.
- le nombre de branches vertes du verticille.
- le nombre de branches mortes. Toutefois, seules deux tiges comportaient des branches mortes. Cette donnée n'est donc pas analysée.
- le diamètre des deux plus grosses branches. (diamètre arrondi au cm le plus proche).

** Analyse statistique*

- Proportions (pourcentages) : analyse de variance à deux facteurs (provenance, bloc) sans interaction sur les moyennes par bloc.

- Variables continues : analyse de variance à deux facteurs (provenance, bloc), sans interaction sur les moyennes par bloc puis comparaison des moyennes à l'aide du test de Newman-Keuls.

NB : L'épicéa a été retiré de toutes les analyses statistiques.

Pour les analyses concernant l'état sanitaire, tous les douglas plantés ont été pris en compte, soit 475 tiges (95 par provenance). Pour les analyses concernant les circonférences et les hauteurs, ont été retirées:

- Les plants morts ou absents en 2011 (82 plants).
- Les plants présentant des cimes sèches (25 plants).

- Les tiges couchées ou cassées, notés 8 (16 plants).

De plus, pour les analyses de circonférences, ont été retirés les plants n'ayant pas pu être mesurés en 2008 et/ou 2011, car trop petits (3 plants).

De même, pour les analyses de hauteurs, ont été retirés 9 tiges qui n'avaient pas été mesurées en 2008 (sans raison connue).

Pour les analyses de branchaison, outre les morts et les notes 8, 53 tiges ont été retirées en raison d'une incertitude sur le nombre de branches (limites du verticille difficiles à définir), et 6 tiges présentant des fourches basales. Par contre les plants présentant des cimes sèches ont été maintenus.

Le tableau ci-dessous résume le nombre de tiges prises en compte dans les analyses pour chaque catégorie de variables :

Type de variable	Nbre de tiges analysées	Pourcentage/total douglas plantés	Pourcentage/total douglas vivants
Etat sanitaire	475	100 %	
Circonférence à 1,30 m	349	73 %	89 %
Hauteur totale	343	72 %	87 %
Branchaison	318	67 %	81 %

1.2.2.3. Résultats

* Bilan général

Variable étudiée	Effet provenance	Effet bloc
% Mortalité 2011	NS	NS
% Divers (note 8)	*	NS
Circonférences 2008	NS	NS
Circonférences 2011	NS	NS
Accr. Circonf.08-11	NS	NS
Hauteur totale 2008	NS	NS
Hauteur totale 2011	NS	NS
Accr. Ht 08-11	NS	NS
Nbre branches vivantes	NS	NS
Grosseur branche 1	NS	NS
Grosseur branche 2	NS	NS
% d'arbres fourchus	*	NS

(*), *, **, *** effet significatif au seuil de 10%, 5%, 1%, 1%

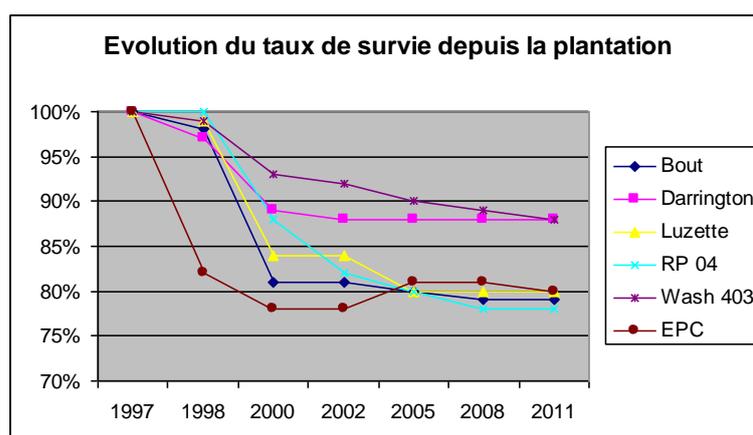
NS= non significatif

Pour les effets significatifs au seuil de 5%, l'homogénéité des variances a été testée à l'aide du test de Cochran. Ce test a permis de vérifier que les variances sont homogènes. Toutefois, pour cela, une transformation de variable a été nécessaire en ce qui concerne le nombre de fourches.

* *Survie*

Provenance	Taux Survie 2008 (%)	Taux de survie 2011 (%)
Bout	79	79
Darrington	88	88
Luzette	80	80
RP04	78	78
Wash 403	89	88
EPC	81	80

Tous les pourcentages sont calculés par rapport aux effectifs plantés.

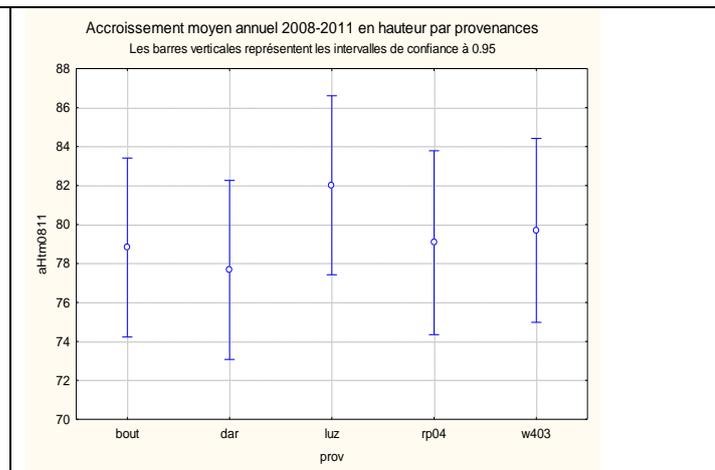
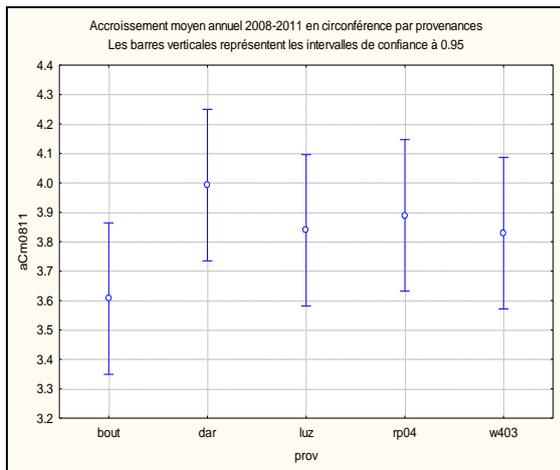
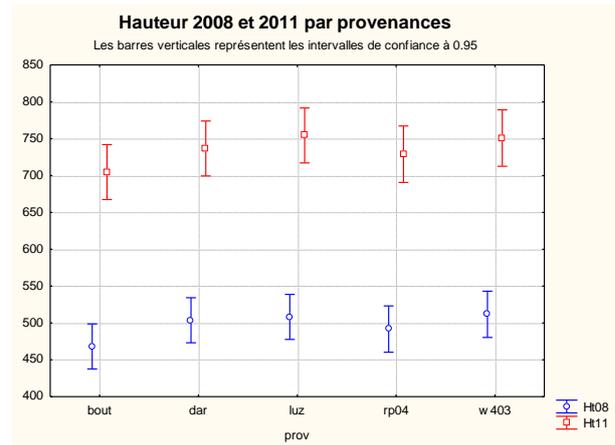
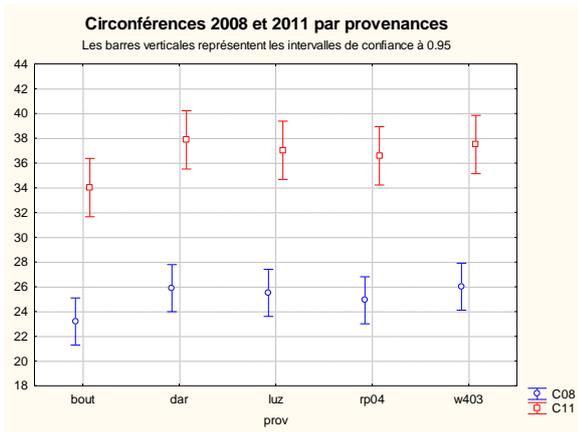


Après une baisse relativement forte au cours des premières années (1997 à 2000), le taux de survie s'est stabilisé à un niveau très correct pour toutes les provenances de douglas, ainsi que pour l'épicéa qui présente un taux comparable à celui des douglas.

* *Croissance en circonférence et hauteur*

Provenance	Bout	Darrington	Luzette	RP 04	Wash 403	EPC
Circ. 2008	23,2	25,9	25,5	24,9	26,0	6,0
Circ. 2011	34,0	37,9	37,0	36,6	37,5	13,2
Accr Circ 08-11	3.6	4	3.8	3.9	3.8	2.4
Haut. 2008	468	504	508	492	512	162
Haut. 2011	705	737	754	729	751	275
Accr Ht 08-11	79	78	82	79	80	38

Les accroissements en circonférence et en hauteur sont des accroissements moyens annuels sur la période 2008-2011. Les groupes homogènes n'ont pas été indiqués sur ce tableau car, pour aucune des variables le test de Newman-Keuls n'a permis d'identifier plus d'un groupe homogène.



Ces tableaux et graphes ne permettent de constater aucune différence significative entre les 5 provenances de douglas, malgré une légère avance pour Darrington et Washington 403 pour la circonférence, et pour Luzette et dans une moindre mesure Washington 403 pour les hauteurs.

La constatation la plus remarquable concerne la provenance Darrington, qui est à la fois celle ayant la plus forte croissance moyenne annuelle en circonférence sur la période 2008-2011, et la plus faible croissance moyenne annuelle en hauteur sur cette même période, ce qui peut laisser espérer que les plants de cette provenance gagnent en robustesse et en résistance aux facteurs météorologiques hivernaux (neige, givre, vent).

Rappel : les tests statistiques n'ont pas fait apparaître d'effet provenance significatif pour tous ces critères dimensionnels.

Concernant l'épicéa, on constate pour cette essence des performances inférieures d'environ 64% par rapport à la moyenne des douglas, que ce soit en circonférence 2011 ou en hauteur 2011.

* *Fourchaison*

Provenance	Nbre de fourches	Haut moy fourches	Nombre de baïonnettes	% divers
Bout	4	566	6	8.4
Darrington	12	553	14	0
Luzette	12	563	6	2.1
RP04	4	468	9	2.1
Wash 403	4	363	9	4.2
EPC	1	200	0	0

Divers = plants couchés par la neige, cassés ou pliés.

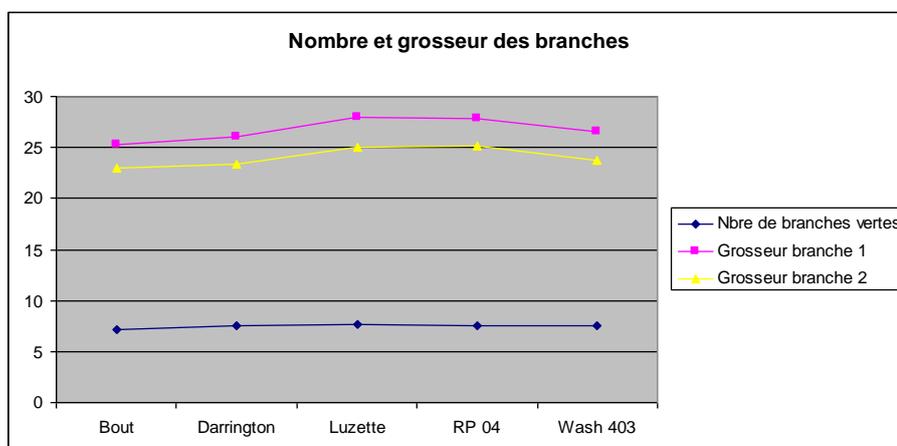
Les notations de fourchaison font apparaître :

- * un nombre de fourches relativement fort pour Luzette et Darrington (12 plants fourchus soit environ 15% des tiges vivantes). A noter que l'effet provenance est significatif au seuil de 5% pour ce critère. (Rappel : l'épicéa n'a pas été pris en compte dans les analyses statistiques).
- * un nombre important de baïonnettes pour la provenance Darrington.
- * la provenance Bout est celle qui comporte le plus grand nombre de plants couchés, cassés ou pliés par la neige.
- * l'épicéa se caractérise par une absence totale de baïonnettes, de cimes sèches, de plants couchés, et un seul plant fourchu.

* *Branchaison*

	Hauteur verticille	Nbre de branches vertes	Grosueur branche 1	Grosueur branche 2
Bout	173	7.2	25.3	23
Darrington	170	7.5	26	23.3
Luzette	174	7.7	27.9	25
RP 04	173	7.5	27.8	25.1
Wash 403	172	7.5	26.6	23.8

Pour simplifier, nous avons fait figurer ces deux données (nombre de branches vertes et grosueur de branches) sur le même graphe, bien que n'étant pas dans la même unité.



- Hauteur du verticille et nombre de branches : aucune différence significative entre les provenances.
- Grosseur des branches : Luzette et RP 04 se distinguent pas des branches légèrement plus grosses, sans que cette différence soit significative.

Globalement, sur l'ensemble des variables évaluées, sur ce dispositif, les cinq provenances de douglas présentent sensiblement les mêmes performances, à l'exception d'une légère faiblesse pour Bout sur les critères dimensionnels (circonférence et hauteur). Par contre, l'épicéa est nettement en retrait par rapport à tous les douglas pour la vigueur.

Poursuite de l'essai :

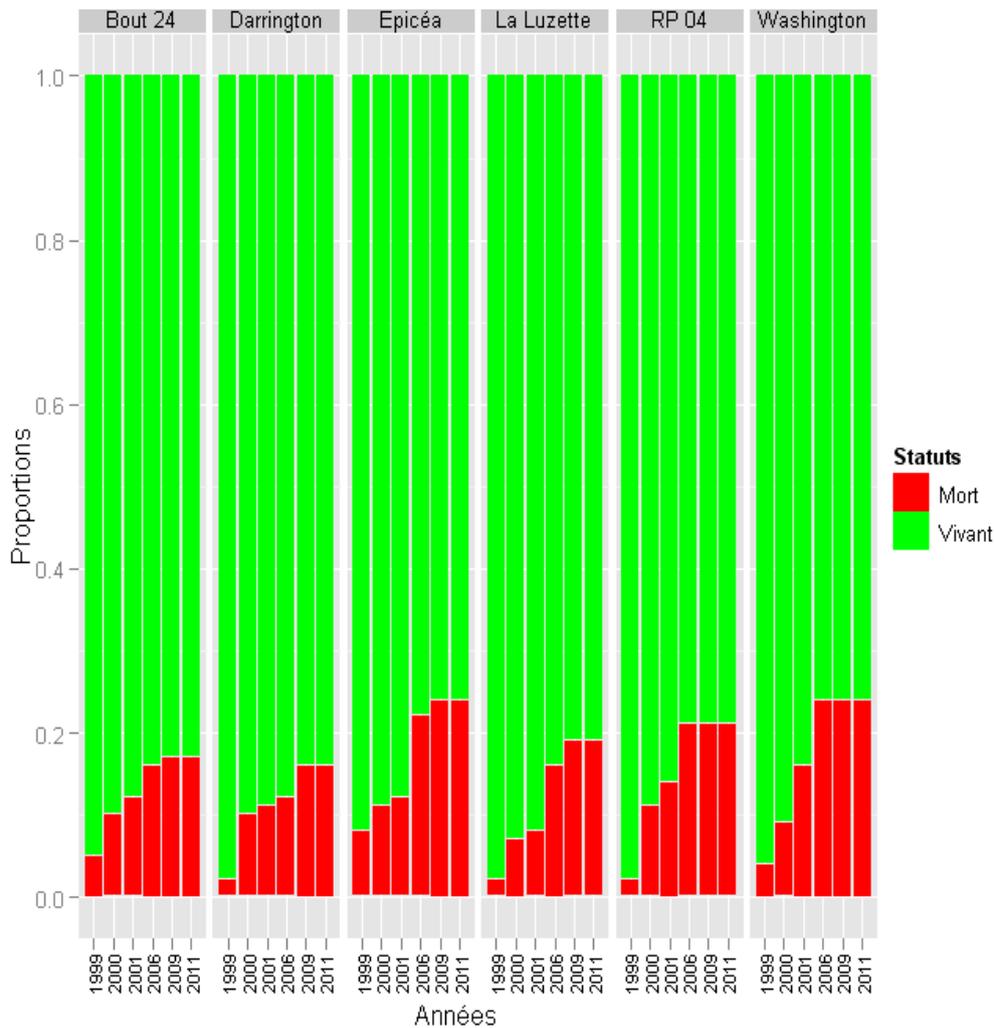
La durée de vie de cet essai était fixée initialement à 20 ans. Le protocole ONF-Cemagref de 2007 prévoit une durée d'environ 15 ans. La prochaine campagne de mesures, qui devrait avoir lieu fin 2015, sera donc la dernière.

1.2.3.- Val de Senones (Vosges)

Les mesures ont été réalisées les 19-20 septembre 2011 sur le dispositif expérimental, situé parcelle 195 en forêt domaniale du Val de Senones. Ce dispositif a pour objectif de comparer la croissance des variétés de douglas "La Luzette, Bout 24, Washington 403, Darrington et RP04" dans le contexte particulier des hautes chaumes vosgiennes, en les comparant également à la croissance de l'Épicéa, planté et suivi selon les mêmes modalités. L'Épicéa servant de référence. Tous les plants sont actuellement âgés de 14 ans.

Le climat montagnard, avec 90 jours de gelée par an, dont bon nombre de tardives, couplé avec un manteau neigeux pouvant atteindre un mètre, ainsi qu'un sol de type podzolique et une légère hydromorphie, explique en partie la très faible croissance sur ce site.

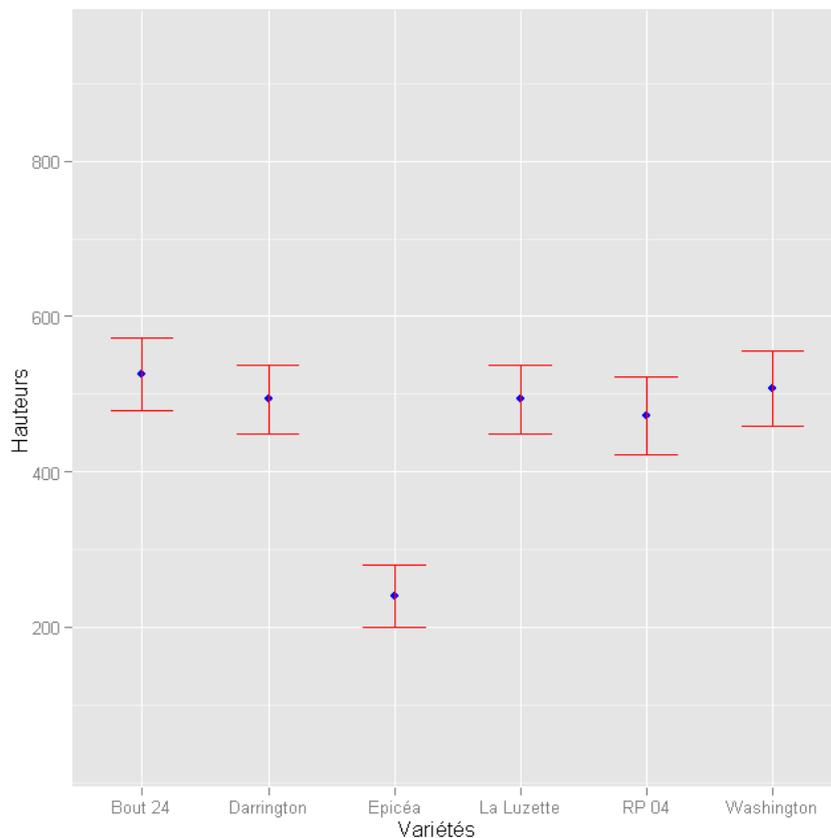
1.2.3.1. Evolution du taux de mortalité



Graphique n° 1 : Évolution de la mortalité naturelle en fonction des variétés.

Le **graphique n°1** montre que, 14 ans après la plantation, le taux de mortalité semble s'être stabilisé pour la majorité des variétés (stagnation ou légère augmentation entre 2006 et 2011). Le taux de mortalité se situe entre 17 et 23 %, d'où une plantation considérée comme réussie avec un taux de reprise satisfaisant, qui se maintient au-dessus des 75%.

1.2.3.2. Hauteurs moyennes en 2011

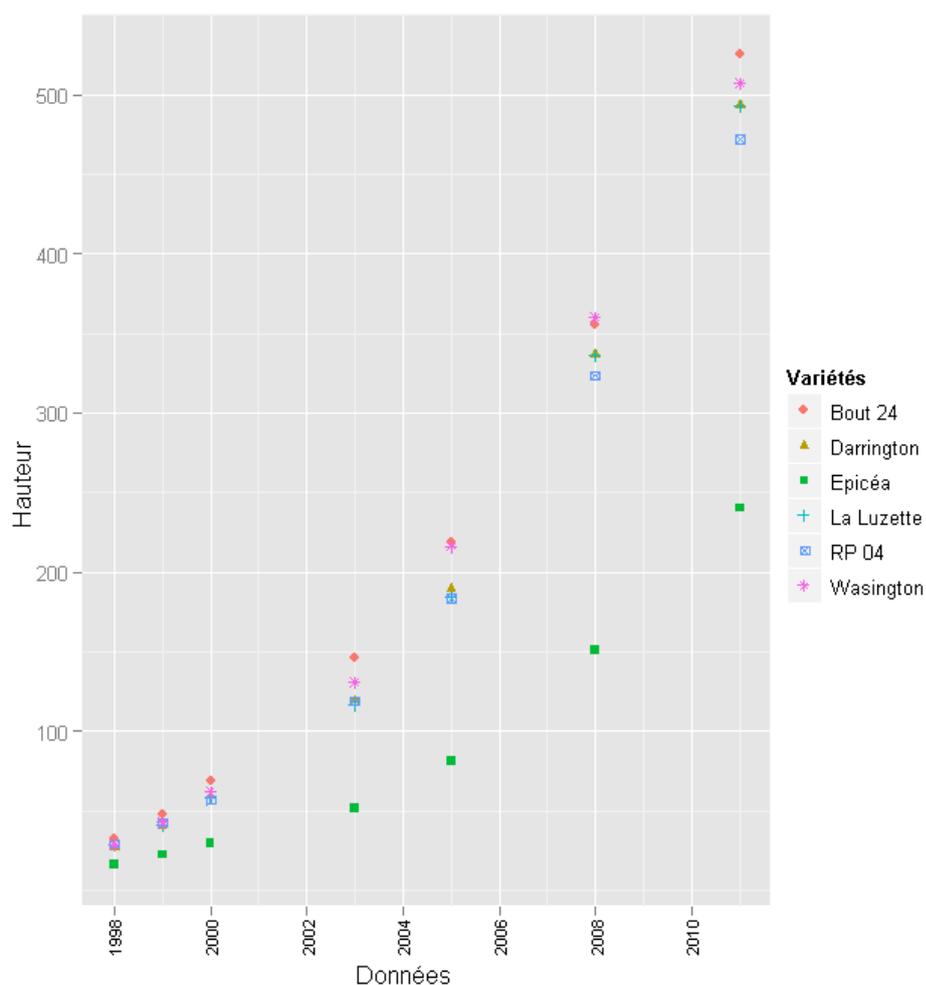


Graphique n°2 : Moyennes des hauteurs 2011 en cm (points bleus) en fonction des variétés. Les barres rouges représentent les intervalles de confiance à 95 %.

Les variétés « Bout 24 » et « Washington » présentent les hauteurs moyennes les plus importantes (respectivement 5,25 et 5,07 m). Les variétés "Darrington" et "La luzette" ont des valeurs moyennes identiques entre elles (4,93 m) mais inférieures aux précédentes. La variété RP04 présente la moyenne, pour les douglas, la plus faible avec 4,72 m. On remarque toutefois que les intervalles de confiance à 95 % des 5 variétés se chevauchent, ces différences ne sont donc pas significatives.

Seul l'Épicéa a une hauteur moyenne (240 cm) nettement en dessous des valeurs attribuées aux douglas. Il est cependant important de préciser que sur l'aire du dispositif, les épicéas d'origine naturelle (non mesurés) semblaient présenter en majorité une hauteur largement supérieure à celle des Épicéas introduits.

1.2.3.3. Évolution des hauteurs moyennes



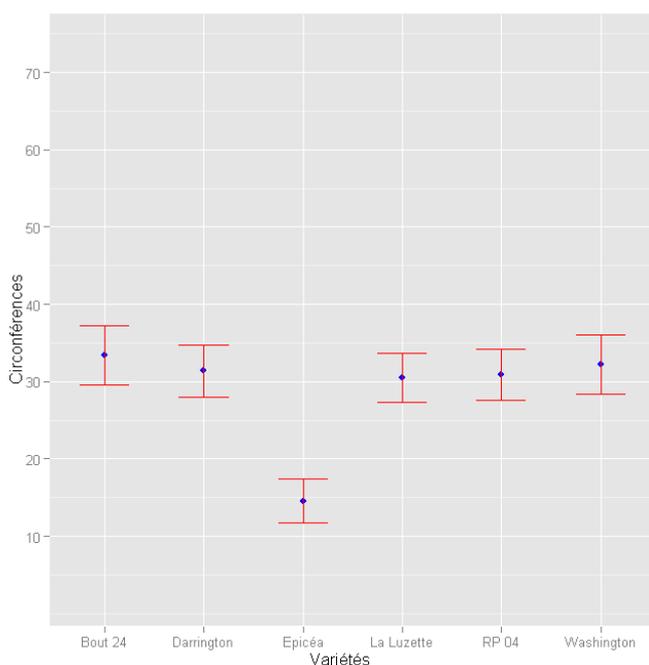
Graphique n° 3 : Évolution de la hauteur en fonction des variétés.

	1997-1998	1998-1999	1999-2000	2000-2003	2003-2005	2005-2008	2008-2011
Darrington	5,5	13,9	19,9	21,3	36,4	46,4	49,8
La Luzette	5,5	13,3	18,8	21,0	31,5	49,5	52,5
Bout 24	5,4	16,7	21,3	25,8	35,7	45,2	57,0
Washington	6,8	15,7	20,9	24,5	39,6	47,1	49,0
R P 04	6,2	13,0	15,3	21,4	31,5	46,0	49,3
Épicéa		6,7	7,9	7,7	13,7	23,0	29,3

Tableau n° 1 : Évolution de la croissance moyenne annuelle (en cm) en fonction des variétés et de la période de croissance.

Après une phase d'installation d'environ 3 ans, on constate que le rythme de croissance en hauteur s'accélère pour tous les douglas et l'Épicéa, avec un accroissement annuel moyen sur la période 2008-2011 maximum pour la variété "Bout 24" (57 cm/an). A l'exception de l'Épicéa qui présente un accroissement nettement plus faible (23 cm/an), les variétés de douglas ont, sur la même période, une croissance annuelle en hauteur qui se situe autour de 50 cm/an.

1.2.3.4. Circonférence moyenne en 2011



Graphique n° 4 : Moyennes des circonférences 2011 en cm (points bleus) en fonction des variétés. Les barres rouges représentent les intervalles de confiance à 95 %.

Comme pour la moyenne des hauteurs 2011, nous constatons qu'il n'existe pas de différence significative entre les différentes variétés de douglas : les moyennes relevées sont les suivantes : 33 cm pour "Bout 24", 32 pour "Washington 403", 31 cm pour "Darrington" et pour "RP 04" et 30 cm pour "la Luzette". Seul l'Épicéa avec une circonférence moyenne de 15 cm est nettement en dessous des valeurs attribuées aux douglas.

Conclusion

Bien que les variétés Bout 24 et Washington aient actuellement des hauteurs et des circonférences moyennes légèrement plus importantes, il est encore trop tôt pour discerner un potentiel de croissance ou d'adaptation au milieu plus favorable à l'une ou à l'autre variété de douglas. Globalement, les différentes variétés de douglas présentent des performances de croissance équivalentes. La variété Bout 24 présente le meilleur compromis entre : taux reprise très satisfaisant et caractéristiques de croissance.

On observe que sur la dernière période l'accroissement annuel moyen en hauteur de chaque variété continue d'augmenter, ce qui pourrait traduire la fin d'une phase d'installation et peut laisser espérer un rythme de croissance plus élevé à l'avenir. L'accroissement annuel moyen du douglas qui est d'environ 50 cm par an est très prometteur.

Les performances de croissance en hauteur des Épicéas sont largement inférieures à celles des douglas, mais il faut préciser que la physionomie des épicéas régénérés naturellement témoigne d'une vigueur bien plus importante que celle des Épicéas introduits artificiellement.

2- Dispositifs en grandes parcelles unitaires (ONF)

2.1- Larfeuil

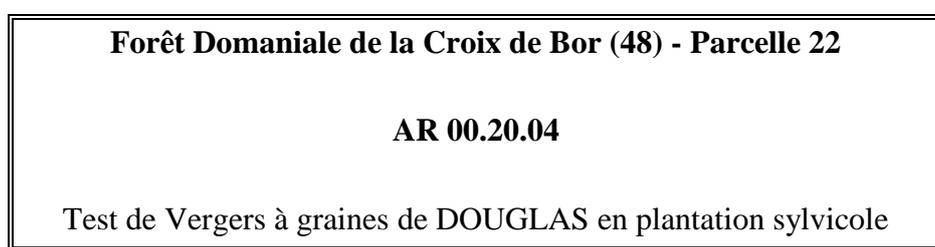
Corrèze

Les mesures de ce test implanté en Corrèze ont été réalisées les 29-30 novembre 2011. Le compte rendu nécessitant des améliorations, il sera intégré dans le rapport d'activité 2012.

2.2- Aigoual

Les données n'étaient pas disponibles au moment de la parution du rapport. Les résultats seront présentés dans le rapport d'activité 2012

2.3- Croix de Bor



2.3.1. Rappels

2.3.1.1. Peuplement forestier

Ancien peuplement d'Epicéa commun âgé de 60 ans coupé à blanc en 1998.

Broyage puis ouverture de potets à la pelle mécanique à la densité d'environ 1100 t/ha (3 m x 3 m).

Plantation en avril 2000, de plants en racine nue de type (2+1), élevés à l'identique à la pépinière administrative de Peyrat le Château ; traitement contre l'Hylobe avant livraison (Gori).

2.3.1.2. Conditions stationnelles

Région IFN : Margeride (n°627)

Altitude : 1410 m

Pente : 12 %

Exposition : Nord, Nord-Est

Pluviométrie : 980 mm/an Température moyenne annuelle : 6,1 °C

Station météorologique de référence : Saint Denis en Margeride (alt.1172m)

Géologie : granite

Sol : brun à brun humifère, de texture limono-sableuse à argilo-sableuse, 10 à 20 % de gravillons ; 40 à 60 cm prospectable à la tarière avant altérite granitique (arène).

2.3.1.3. But de l'essai – Facteur étudié

Dans le cadre d'une convention pluri-annuelle ONF/CEMAGREF, il s'agit de **tester le comportement de 4 provenances (dont 3 vergers à graines) de Douglas en grands placeaux** (plantations sylvicoles) permettant d'apprécier la production à moyen et long terme (réseau multi-site commun ONF-Cemagref).

Ce réseau multisite compte également les essais AR 99.19.03 (Brou), AR 99.10.01 (Larfeuil), AR 99.13.01 (Hazelles).

Facteur étudié : 1 seul = la provenance de Douglas avec 4 modalités :

- ✓ verger à graines **La Luzette**
- ✓ verger à graines **Darrington**
- ✓ verger à graines **Bout 24**
- ✓ **Washington** (USA) zone **403**, issu de 3 peuplements de la CEE (n° 041, 013 et 080)

Ces tests en plantations sylvicoles font suite à des tests d'adaptation réalisés sur 8 sites répartis dans toute la France.

Facteur contrôlé : la sylviculture pratiquée, identique pour toutes les provenances

Itinéraire prévu : "rattrapage à 14 m de Ho - fertilité 2" (Guide ONF des Douglassaies françaises)

Ho	0	13,6 m	20 m	26,6 m	27 m	32,3 m
Densité (n/ha)	110 0	506	303	231	220	192

NB : la classe de fertilité sera à confirmer lorsque le peuplement atteindra une 20aine d'années

2.3.1.4. Type de dispositif, échantillonnage

Ce dispositif en placettes unitaires comprend **2 répétitions (blocs)** de chacune des modalités, sauf Bout24 qui n'est pas répété (dispositif en blocs incomplets), soit **7 unités expérimentales**. Les unités expérimentales ont une surface voisine de 40 ares (18 à 22 lignes x 15 à 20 plants).

- ✓ Pour les campagnes de 2000 à 2011, la zone de mesure comprenait environ 140 plants dans chaque unité expérimentale.
- ✓ Entre 2002 et 2005 toutefois, en raison de la concurrence et de la mortalité rendant difficile l'identification des lignes de plants, un doute subsiste sur l'identité de certains échantillons ; en attendant une éventuelle confirmation de terrain, on simplifiera

l'analyse dans ce compte rendu en considérant qu'un changement d'échantillon a été opéré entre ces 2 dates.

- ✓ **A compter de la prochaine mesure**, une sous placette centrale de mesures (par ex. 10 lignes x 10 plants, soit 100 emplacements) sera rematérialisée (délimitation piquets + rubans) et les plants seront tous numérotés individuellement. On s'efforcera, dans toute la mesure du possible, d'identifier leur « ancien n° » afin de pouvoir reconstituer leur histoire.

2.3.1.5. Variables de jugement et mesures

** Variables de jugement*

- ✓ taux de reprise et de survie
- ✓ croissance en hauteur puis en circonférence (et en volume)

** Mesures et périodicité*

Protocole initial suivi jusqu'en 2008 : sur un échantillon systématique d'environ 200 à 250 plants par placette (effectif selon la surface totale de la placette unitaire)

- taux de reprise, hauteur initiale et hauteur à 1 an à l'automne 2000,
- hauteur totale et état sanitaire à 3 ans (fin 2002) puis tous les 3 ans (fin 2005, fin 2008)

En 2011 des mesures systématique de circonférence ont remplacé les mesures de hauteur ; ces dernières n'ont concerné qu'un sous échantillon de 25 tiges par placette (tirage au sort de 25 tiges représentatives de la distribution en circonférence de la population complète, type « coopérative »).

Les codes d'état sanitaire qui été utilisés sont les suivants : 2 : cime sèche, 5 : abrouti (gibier), 6 : frotté (gibier), 7 : coupé au dégagement, 9 : mort, 8 : code libre pour toutes observations (par ex. adaptation : dépérissement, jaunissement ou autre...).

L'échantillon a également fait l'objet d'une note éventuelle de coloration anormale (1 : jaune ; 2 : rouge) et de déficit foliaire (1 : manque 1 année d'aiguilles ; 2 = manquent 2 années d'aiguilles)

Pour les prochaines mesures, on veillera à mettre en oeuvre un protocole commun et harmonisé (échantillonnage, nature et périodicité des mesures) sur tous les sites de ce réseau « ancien ».

2.3.1.6. Etat d'avancement

- Hiver 1999/2000 : Choix du site, broyage avant plantation + ouverture de potets à la pelle mécanique et implantation du dispositif
- avril 2000 : Plantation
- 18/10/00 et 6/11/00 : mesure du taux de reprise, de la hauteur initiale et de la hauteur à 1 an

- 25/11/02 : mesure à 3 ans de Htot et de l'état sanitaire
- 05/10/05 : mesure à 6 ans de Htot et de l'état sanitaire
- 05/10/05 : mesure à 6 ans de Htot et de l'état sanitaire
- hiver 07/08 : mesure à 9 ans de Htot et de l'état sanitaire
- 7 et 8/12/11 : à 12 ans, notation de l'état sanitaire + mesure Ci + mesure Htot sur sous échantillon d'environ 25 plants (parmi les tiges mesurées en Ci).

2.3.2. Rappels des résultats précédents

A l'issue des mesures de fin 2005, les conclusions provisoires principales étaient les suivantes :

- ✓ Les taux de survie à 6 ans sont excellents (>90%). Dans ces conditions extrêmes pour le douglas (altitude = 1410m), les plus fortes mortalités sont constatées sur le bloc 2 Luzette avec 36%. L'excellent comportement du Darrington est à souligner. Son taux de survie est de 10 % supérieur à celui des autres provenances.
- ✓ Ces mesures mettent en évidence l'importance de la situation topographique sur la réussite du reboisement :
 - en haut de versant exposé en plein vent (altitude 1410m) Washington 403 n°2 et Darrington n°2 présentent les accroissements les plus faibles sur la période fin 99- fin 05.
 - en versant exposé nord-est, le mauvais comportement initial des provenances Bout et Luzette bloc 1 n'est plus d'actualité.
 - en bas de versant, Washington 403 n°1 et Darrington n°1 : les accroissements sont corrects pour ces provenances et la mortalité est insignifiante.
- ✓ Au cours des 6 ans qui ont suivi la plantation, sur ce site la croissance en hauteur moyenne du verger à graines Darrington semble supérieure à celle des autres provenances (+15% sur l'accroissement en hauteur sur la période fin 99 – fin 05).

2.3.3. Résultats 12 ans après plantation (mesures des 7 et 8/12/11)

2.3.3.1.- Analyse statistique

Proportions (pourcentages) et variables continues : analyse de variance à deux facteurs (provenance + bloc) sans interaction, sur les valeurs moyennes par P.U., distinction des groupes homogènes à l'aide du test de Newman-Keuls.

Des transformations de variables ont été effectuées pour satisfaire au mieux aux conditions de normalité et d'égalité des variances.

NB : Les individus souffrant de cime sèche/cassée ou endommagés lors des travaux d'entretien ont été retirés des analyses de hauteur ; en revanche, les plants jaunes ont été conservés.

2.3.3.2.- Bilan général

Variable étudiée	Effet provenance	Effet bloc
% mortalité	NS	NS
% cimes sèches	NS	NS

% dégâts de gibier	NS	NS
Coloration anormale	NS	NS
Déficit foliaire	NS	NS
Hauteur moyenne 1999	**	(*)
Hauteur moyenne 2000	*	NS
Hauteurs moyenne 2002, 2005, 2008, 2011	NS	NS
Accroissement annuel en hauteur 2008-11	NS	NS
Circonférence 2011	NS	NS

(*), *, **, *** effet significatif au seuil de 10%, 5%, 1%, 1‰ NS : non significatif

2.3.3.3. Survie et état sanitaire

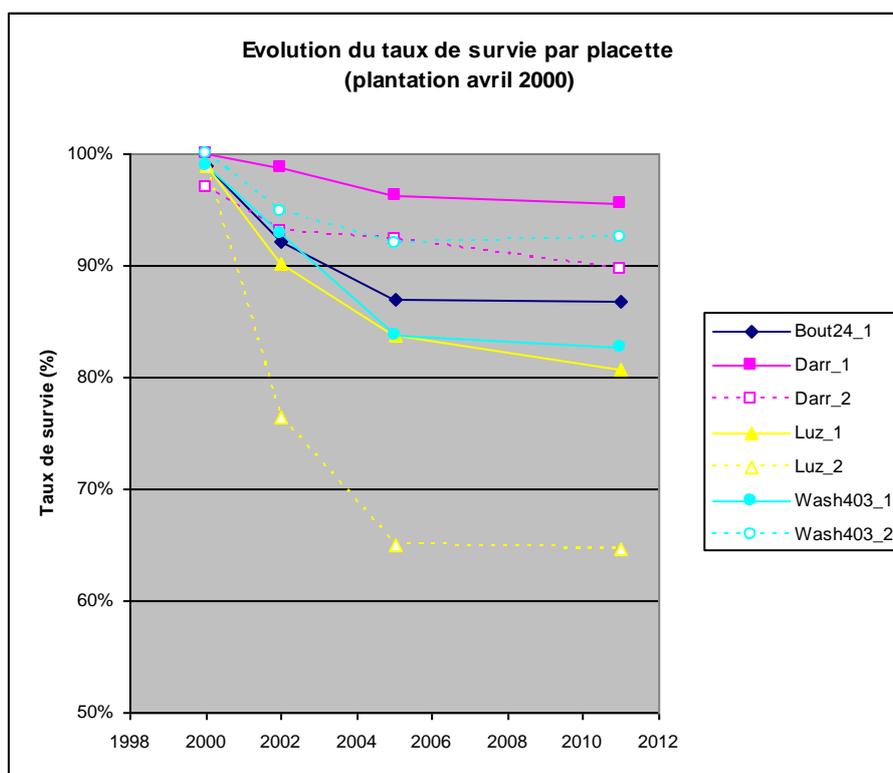
Variété (moyenne des 2 blocs)	% morts fin 2011 (1)	% cimes sèches (1)	% dégâts de gibier (1)	% dégâts dégagement (1)	% coloration anormale (2)	% déficit foliaire (2)	Nb moy d'ann d'aigu
Bout24	13,2 %	11,8 %	1,4 %	8,3 %	0,0 %	8,8 %	2,8
Darrington	7,4 %	8,3 %	5,3 %	9,8 %	0,8 %	11,1 %	2,8
Luzette	27,3 %	20,8 %	2,3 %	10,8 %	11,7 %	37,5 %	2,4
Washington403	12,8 %	5,0 %	1,7 %	24,4 %	6,6 %	23,2 %	2,6
Moyenne (3)	15,2 %	11,5 %	2,7 %	13,3 %	4,8 %	20,1 %	2,6

(1) pourcentage calculé par rapport au nombre d'emplacements

(2) pourcentage/moyenne calculé par rapport à l'effectif vivant fin 2011

(3) moyenne arithmétique des moyennes "placettes" de chaque provenance

Fig. 1 : Evolution du taux de survie par provenance et par bloc (plantation en avril 2000)



* *Survie*

La reprise des plants l'année suivant la plantation a été très satisfaisante pour toutes les provenances et toutes les placettes (> 97 % de survie à 1 an). En revanche, dès la 2^{ème} année une mortalité plus forte est observée dans la placette Luzette – bloc2, mise en relation avec la proximité d'une zone humide, une concurrence herbacée beaucoup plus forte (molinie) et une zone du dispositif beaucoup plus fréquentée par le chevreuil.

En 2005, la survie était toutefois encore excellente pour toutes les provenances et placettes, compte tenu des conditions climatiques du site, jugées extrêmes pour le Douglas (rappel : 1410 m d'altitude, expo Nord/Nord-Est, situation voisine du Col de la Croix de Bor). Les taux de survie n'ont que peu évolué depuis : en moyenne sur les 2 blocs, ils restent voisins de 92 % pour Darrington, 87 % pour Bout24 et Wash403, et 74 % pour Luzette. Ceci confirme la **très bonne résistance des provenances testées** (dans une légère moindre mesure pour Luzette) **à ces conditions climatiques extrêmes**, en dépit de leurs régions de provenance dans l'ouest des Etats-Unis (plutôt côtières).

* *Etat sanitaire*

Bien que les effets de la provenance ou du bloc ne soient pas statistiquement significatifs, on note fin 2011 :

- une proportion de cimes sèches plus élevée pour la variété Luzette (21 %) et dans une moindre mesure pour Bout24 (12 %)
- une proportion de plants à coloration anormale légèrement plus forte pour Luzette (12 %)
- une proportion de plants présentant un déficit foliaire plus élevé pour les provenances Luzette (37 %) et Washington403 (23 %)

NB : quelle que soit la provenance, la proportion de plants présentant un déficit foliaire semble plus élevée dans le bloc 1 ; sa situation plutôt en bas de versant ne permet pas d'expliquer ce phénomène peut-être plutôt lié à un effet observateur : la prochaine campagne devrait permettre de préciser ce phénomène.

2.3.3.4. Croissance en hauteur

Provenance	Hauteurs moyennes en cm						Accroissement moyen annuel (cm/an)
	1999	2000	2002	2005	2008	2011*	de fin 2008 à fin 2011*
Bout 24 <i>(exclus de l'analyse)</i>	48,0	57,0	73,6	163,1	275,2	419,2	50,3
Darrington	38,6 (a)	46,5 (a)	69,1	170,3	309,4	444,4	53,3
Luzette	48,2 (c)	57,3 (b)	72,1	156,6	273,9	455,9	54,9
Washington 403	42,1 (b)	50,5 (a)	72,3	163,4	284,7	433,6	49,7
moyenne	44,2	52,8	71,8	163,4	285,8	438,3	52,1

* Rappel : en 2011, la hauteur totale n'a été mesurée que sur un sous échantillon de 25 plants/placette, représentatif de la distribution de la population complète en circonférence (échantillon type « coop »).

La hauteur 2011 et l'accroissement en hauteur 2008-2011 ne sont donc calculés que sur ce sous échantillon.

Fig.2 : Evolution de la hauteur totale moyenne par provenance et par bloc depuis la plantation

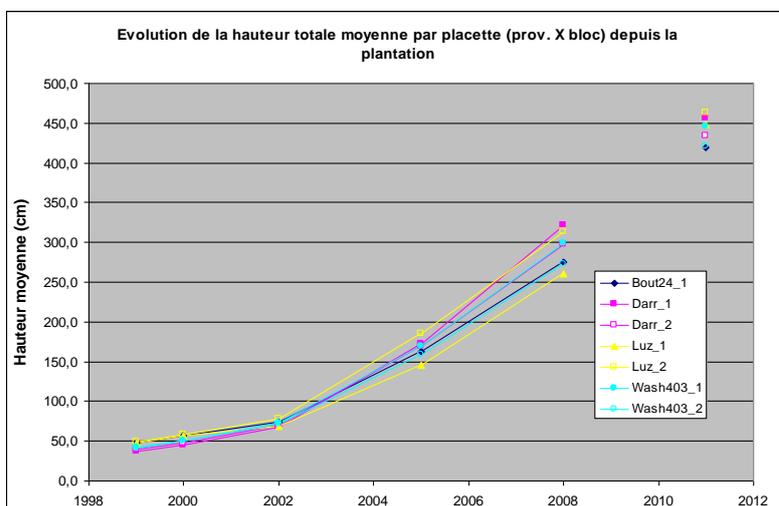


Fig.3 et 4: Hauteur totale moyenne fin 2011 par provenance et interaction provenance/bloc

Rappel : environ 25 plants mesurés en hauteur par provenance

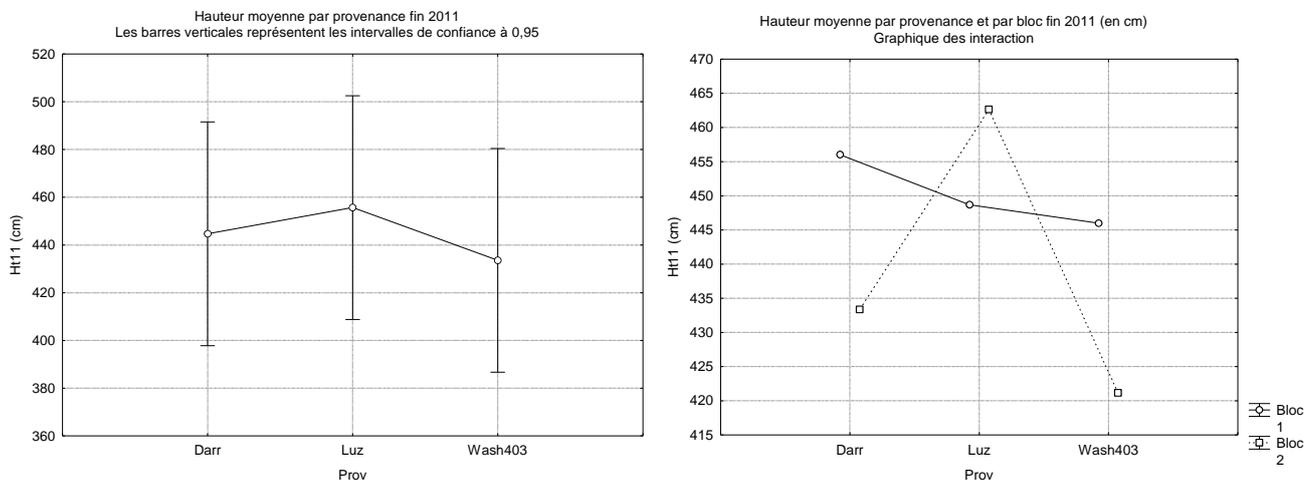
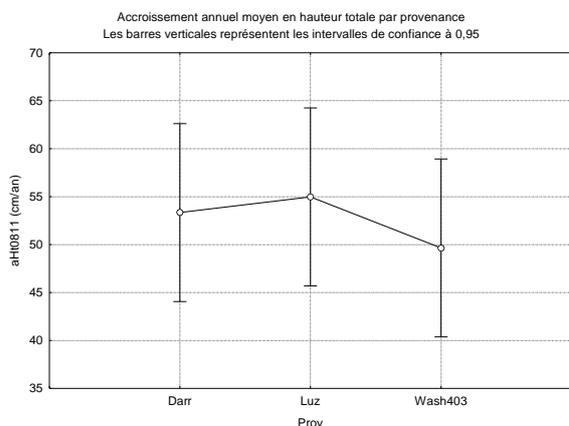


Fig.5 : Accroissement annuel moyen en hauteur de fin 2008 à fin 2011



- 12 ans après plantation, la croissance en hauteur des variétés améliorées Luzette et Darrington ne se distingue pas statistiquement de la provenance Washington 403 (moins de 25 cm d'écart à 12 ans)

- la croissance du verger Bout24 semble légèrement plus faible que les autres (35 cm de moins que Luzette 12 ans après plantation) ; toutefois cet écart ne peut être vérifié statistiquement faute de répétition de cette provenance

- avec une hauteur totale moyenne toutes provenances confondues de l'ordre de 4,40 m à 12 ans, ce site aux conditions stationnelles extrêmes est logiquement un des moins fertiles de l'ensemble du réseau ; toutefois la croissance du Douglas n'est pas ridicule : sur la dernière période de mesure elle affiche environ 50 cm/an, ce qui reste tout à fait honorable.

2.3.3.5.- Croissance en circonférence

Provenance	Circonférence à 1,30 m fin 2011 (cm)		
	Bloc 1	Bloc 2	Moyenne des 2 blocs
Bout24	26,0	-	26,0
Darrington	28,4	27,7	28,1 (a)
Luzette	25,2	29,9	26,6 (a)
Washington 403	28,5	26,4	27,4 (a)
<i>moyenne</i>	27,0	28,0	27,0

La circonférence moyenne en 2011 n'est pas davantage que la hauteur significativement différente entre provenances ou entre blocs. De même que pour la hauteur, il est probable qu'une interaction avec le bloc masque des effets : la variété Luzette est globalement plus élancée dans le bloc 1, et c'est l'inverse dans le bloc 2.

2.3.4.- Conclusions provisoires et poursuite de l'essai

Avec un taux de survie supérieur 87 % pour les provenances Bout24, Darrington et Washington 403, et supérieur à 75 % pour la provenance Luzette, cet essai installé dans des conditions climatiques extrêmes pour le Douglas a de quoi surprendre !

L'état sanitaire des individus n'est toutefois pas exceptionnel : mis à part 20 % des plants présentant des dégâts de gibier ou d'entretien, 22 % d'entre eux présentent un déficit foliaire et 10 % ont une cime sèche.

Sur le plan de la croissance, bien qu'en retrait par rapport aux autres essais du réseau, la croissance apicale et radiale des Douglas reste honorable, avec près de 4,50m de hauteur moyenne à 12 ans et 28 cm de circonférence à 1,30m, toutes provenances confondues.

Aucun effet significatif de la provenance ou du bloc n'est mise en évidence sur les dimensions atteintes en 2011 ou l'état sanitaire ; toutefois à l'échelle individuelle l'essai n'est pas très puissant puisqu'il ne comporte que 2 blocs et que la modalité Bout24 n'est pas répétée. Il mériterait une analyse en réseau.

Les provenances testées de douglas semblent en tout cas tout à fait résistantes aux conditions difficiles de cette station, en dépit de l'exposition (Nord – NordEst) plutôt défavorable à cette altitude (1410 m). La qualité n'est en revanche pas au rendez vous semble t'il : bien qu'aucune variable qualitative n'ait été relevée, la forme des individus semble globalement peu engageante pour une production de bois d'œuvre de qualité...

Poursuite de l'essai

En application du protocole Douglas du réseau expérimental VAG ONF/CEMAGREF (version de mai 2007) les prochaines mesures devraient être programmées à l'hiver 2015/16.

Seront à effectuer :

- ✓ la matérialisation physique d'une placette de mesures centrale (par ex. de 10 lignes x 10 plants = 100 emplacements)
- ✓ le repérage individuel et la numérotation (ligne.colonne) de chacun de ses échantillons

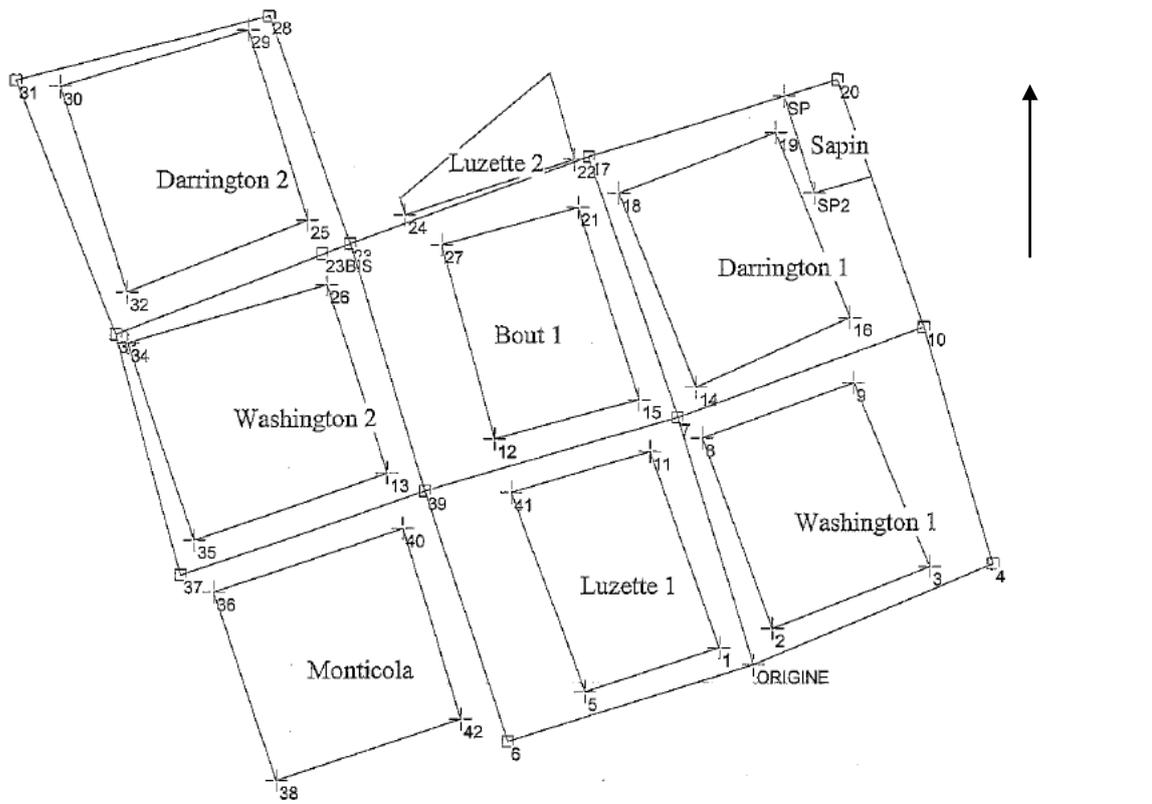
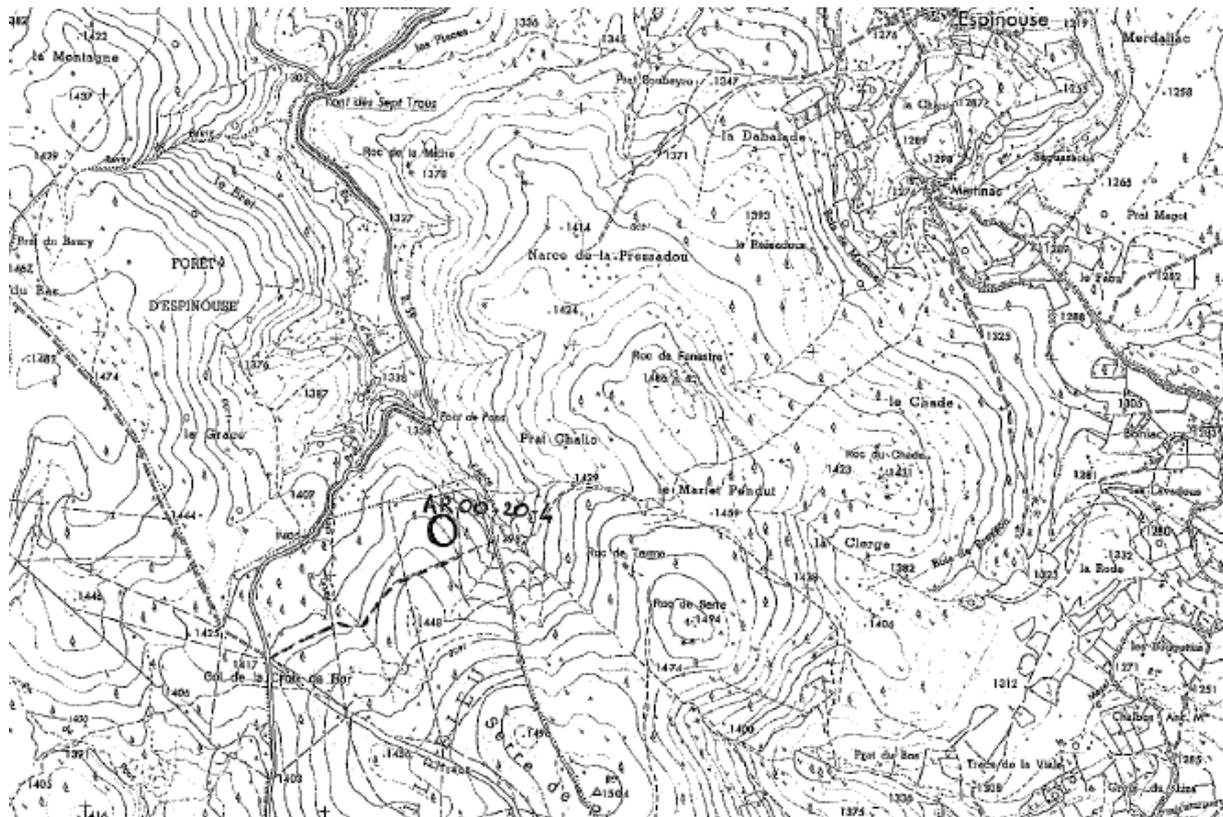
Sur cet échantillon :

- ✓ la notation de l'état sanitaire (survie)
- ✓ la mesure de circonférence à 1,30 m (niveau à matérialiser si non fait fin 2011)

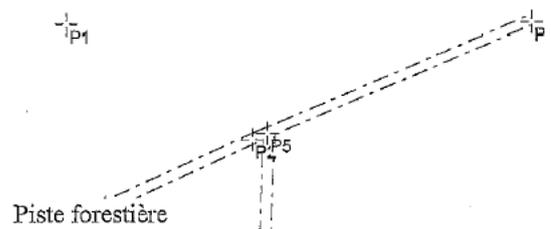
Sur le sous échantillon mesuré fin 2011 ET sur un nouveau sous échantillon de 25 plants représentatif de la population (5 classes de circonférence d'égale amplitude ; cf. protocole)

- ✓ la mesure de la hauteur totale

Annexe 1 : **PLAN DE SITUATION** (extrait carte I.G.N. au 1/25 000 et levé au 1/1500^{ème} du 03/11/2005).



 Zone de mesures



2.4- Hazelles

Forêt Domaniale des HAZELLES (Ardennes)

AR 99.13.01

Placettes de références sylvicoles (site ONF)

Vergers à graine DOUGLAS

- Analyse des mesures des 09-10/11/2011-

Résumé

L'objectif est de tester 4 provenances de douglas (*Pseudotsuga menziesii*) plantées sur le site de la forêt des Hazelles (08) et issues de 3 vergers à graines (La Luzette, Darrington, Bout 24) et de la provenance témoin Washington 403. On mesure les taux de survie et l'état sanitaire de ces provenances, les variables dendrométriques, hauteur totale de l'arbre et circonférence à 1m30, sont mesurées également.

Les mesures de 2011 montrent que le taux survie moyen est de 74 %, la variété ayant le meilleur taux de survie étant Washington avec 80% de survivants. La vigueur des arbres est forte comme le démontre le nombre d'arbres jaunissant en 2008 qui sont redevenus bien portant en 2011.

La variété ayant la meilleure circonférence moyenne et le meilleur volume moyen est la Luzette. La variété Darrington possède la meilleure hauteur moyenne.

2.4.1. Rappels

2.4.1.1. Peuplement forestier antérieur

Taillis sous Futaie pauvre (< 40 tiges de futaie / ha) composé à 90% de chêne. Quelques taches d'épicéas plantés dans les années 1930 en mélange avec quelques sapins pectinés.

Taillis : 80% de bouleau, 10% de chêne, 10% d'autres feuillus (charme en majorité).

2.4.1.2. Peuplement forestier actuel

Plantation en mars 2000 de variétés améliorées de Douglas (*Pseudotsuga menziesii*) à la densité de 1100 tiges / ha (norme adoptée localement).

La plantation expérimentale de 3,5 ha se situe à l'intérieur d'une zone engrillagée de 10 ha dans laquelle, outre du douglas (6,24 ha), on trouve du chêne rouge sur 1,72 ha et du mélèze sur 1,88 ha. L'engrillagement est obligatoire compte tenu d'une forte densité de gibier (cerf) sur le massif, observée lors de la plantation. Hors grillage, une zone de 3 ha a été conservée en TSF.

2.4.1.3. But de l'essai – Facteur étudié

Dans le cadre d'une convention ONF /CEMAGREF, programme pluri-annuel 1996 - 2000, il s'agit d'évaluer 4 variétés de Douglas par plantation sylvicole sur 5 sites en France.

3 variétés de vergers à graines : **Darrington, La Luzette, Bout 24**, et une variété d'origine **Washington 403**.

Ces plantations font suite à des tests d'adaptation réalisés sur 8 sites répartis dans toute la France.

2.4.1.4. Type de dispositif

Le dispositif expérimental se situe dans la parcelle 11 de la forêt domaniale des Hazelles (Ardennes). Il comprend 2 répétitions appelées bloc. Dans chaque bloc, 4 placettes correspondant aux 4 variétés de Douglas ont été implantées. L'emplacement des modalités a été tiré au sort pour chaque bloc.

L'attribution des 8 placettes est la suivante :

- Bloc 1 : A = Washington ; B = Darrington ; C = Bout 24 ; D = La Luzette
- Bloc 2 : E = La Luzette ; F = Bout 24 ; G = Washington ; H = Darrington

** Unité expérimentale*

Elle correspond à une placette de référence de 42 ares (80m × 52m), repérée sur le terrain par des bornes de géomètre et des piquets blancs en chêne. Chaque placette comprend une placette centrale de mesure de 9 ares (30m × 30m) délimitée par des bornes et des piquets rouges. Cette zone de mesure comprend 10 lignes de 10 plants soit 100 plants à suivre.

** Type de plantation*

Plantation au coup de pioche à la densité de 1100 tiges / ha (3m × 3m) alignée dans les 2 sens. Lors de la présence de tas de rémanents ou mulch, les plants n'ont pas été plantés.

2.4.1.5. Mesures

Périodicité des mesures sur les tiges échantillons, suivant le protocole initial :

- Mars 2001 : taux de reprise, hauteur initiale et hauteur à un an.
- Mars 2003 puis tous les trois ans : hauteur totale et survie.
- Circonférence à 1,30 m tous les 3 ans, à partir de la 12^{ème} année.

2.4.1.6. Etat d'avancement

- Octobre 2000 : choix du site (par la STIR Massif-Central)
- Mars 2000 : implantation du dispositif
- 21 au 23 mars 2000 : plantation
- 23 mars 2000 : matérialisation des zones de mesures
- Septembre 2000 : mise en place du grillage
- Mars 2001 : mesure du taux de reprise, de la hauteur initiale et de la hauteur à 1 an
- Mai 2001 : dégagement des plants à la serpe et au sécateur
- 17 avril 2003 : mesure de la Ht et de l'état sanitaire
- Octobre 2005 : dégagement
- 4 mai 2006 : mesure de la hauteur totale, notation de l'état sanitaire, des fourches et baïonnettes
- 20 février et 19 mars 2009 : mesure de la hauteur totale, notation de l'état sanitaire et remise en état des limites (piquets + peinture).
- 9 et 10 novembre 2011 : mesure de la hauteur totale et de la circonférence à 1m30. Notation de l'état sanitaire. Remise des numéros des arbres de début et fin de ligne.

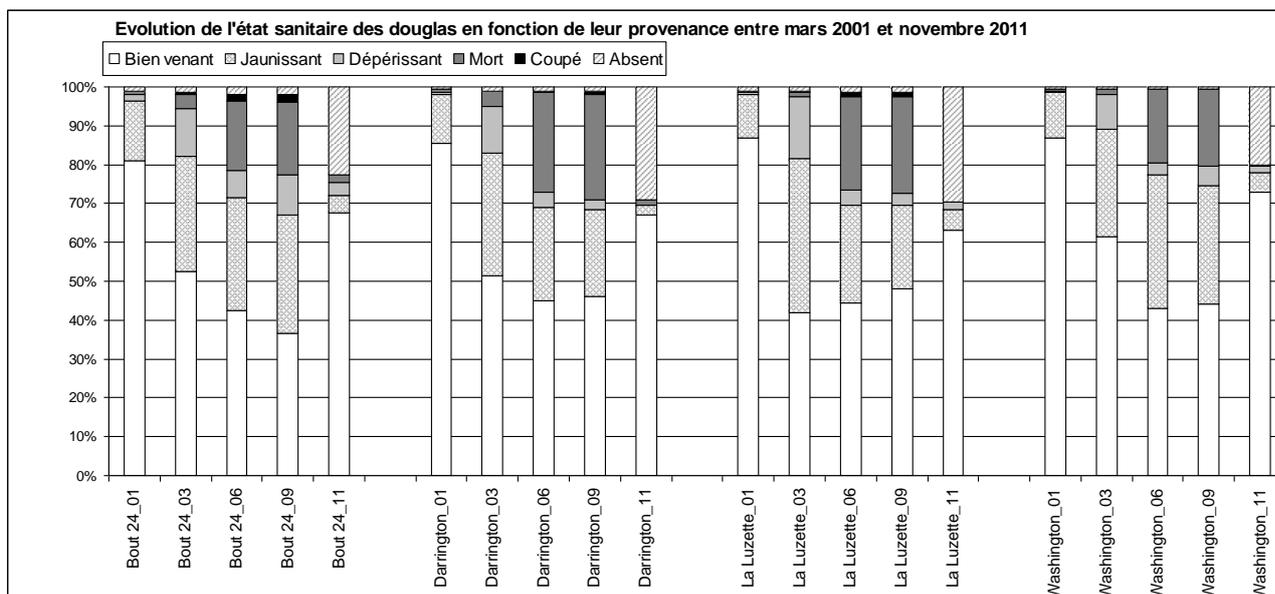
2.4.2. Rappels des résultats précédents : taux de reprise en 2000, effet de transplantation, fourchaison, état sanitaire, croissance

Les analyses des années précédentes indiquaient :

- un taux de reprise un an après la plantation (mars 2000) très satisfaisant (1 % de morts, 1 % de dépérissants et 12 % de jaunissants) avec aucune différence entre les provenances et les blocs ;
- un effet de la transplantation sur la croissance des pousses pendant seulement un an avec une croissance moyenne en hauteur de 10 cm au cours de la saison de végétation de 2000, sans différence significative entre provenance ;
- une dégradation de l'état sanitaire des plants suite à la sécheresse de 2003 avec plus de 50 % des plants présentant des signes de jaunissement ou de dépérissement ;
- une absence de différences significatives en état sanitaire, en hauteur et en croissance en hauteur entre les provenances en 2005 ;
- une évolution du pourcentage d'arbres fourchus jusqu'à 20-25 % à la fin de 2005 pour les variétés Bout 24, Darrington et Washington 403. En revanche, ce pourcentage est resté stable à environ 10 % pour la provenance La Luzette entre 2002 et 2005.
- En 2008, on remarque une mortalité moins forte chez Bout 24 et Washington (environ 20 % contre 30 % pour La luzette et Darrington) ; un taux de jaunissements et de dépérissements plus important chez Bout 24 (environ 40 % de l'effectif total) et un taux de bien venants similaire et plus élevé chez les provenances Darrington, La Luzette et Washington que chez Bout 24 (environ 45 % contre 37 %) en 2008.

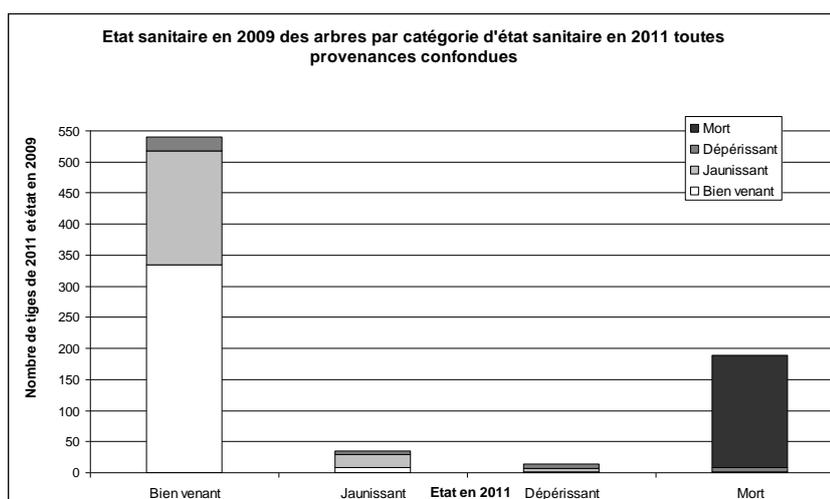
2.4.3. Résultats apportés par les mesures de novembre 2011

2.4.3.1. Evolution de la survie et de l'état sanitaire



- Les provenances La Luzette et Darrington ont un taux de survie légèrement plus faible (environ 70 %) contre 76 % pour Bout 24 et environ 80 % pour Washington ;
- En outre, toutes les provenances affichent une bonne vigueur dans les tiges restantes. De nombreux arbres jaunissants en 2008 sont redevenus bien portants. La proportion d'arbres bien venants est plus importante et s'améliore même pour se situer entre 63% et 73%.
- Les taux de mortalité, stabilisés depuis 2008, sont compris en 2011 entre 20 et 30 % restent raisonnables.

L'évolution de l'état sanitaire individuel d'un relevé à l'autre est présentée dans les graphes suivants (les arbres coupés ou abandonnés n'ont pas été pris en compte) :



On remarque globalement que :

- entre chaque campagne de mesures, certains bien venants deviennent jaunissants et vice-versa ;
- cette tendance s'est accrue en 2011 avec un taux de jaunissants et dépérissants qui s'est amenuisé comme les arbres ont gagné une meilleure vitalité.
- la campagne de mesure 2011 a permis de confirmer que les arbres en place montraient un état physiologique externe sain à contrario de celui observé précédemment pour certains.

Conclusion sur la reprise et l'état sanitaire 2011

En conclusion, s'il est encore un peu tôt pour affirmer qu'une provenance est plus adaptée que les autres à ces conditions bioclimatiques, on peut cependant dire que :

- le meilleur taux de plants bien venants relève de la variété **Washington (73%)** ; les autres **Bout 24 (68%)**, **Darrington (67 %)** et **La Luzette (63%)** montrent également des taux satisfaisants de plants bien venant. Il eut été préférable de mesurer en mars 2012 pour être sûr que ce taux ne soit pas moins bon en sortie d'hiver ;
- le taux de survie global des plants, situé entre 70 et 80 % reste relativement bon ;
- le phénomène du jaunissement se résorbe et ne concerne plus que 2 à 8 % des plants selon la provenance.

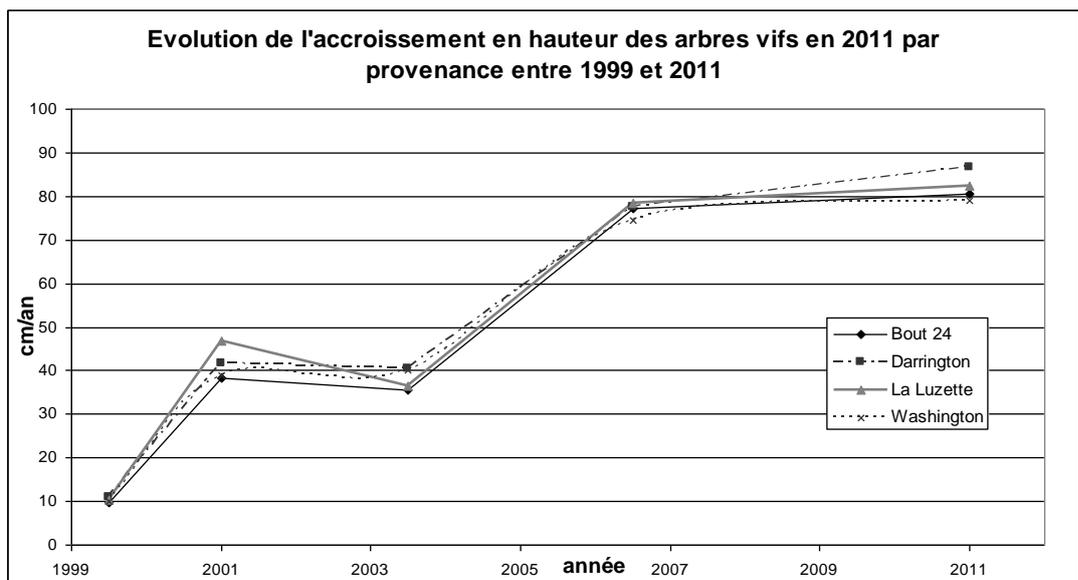
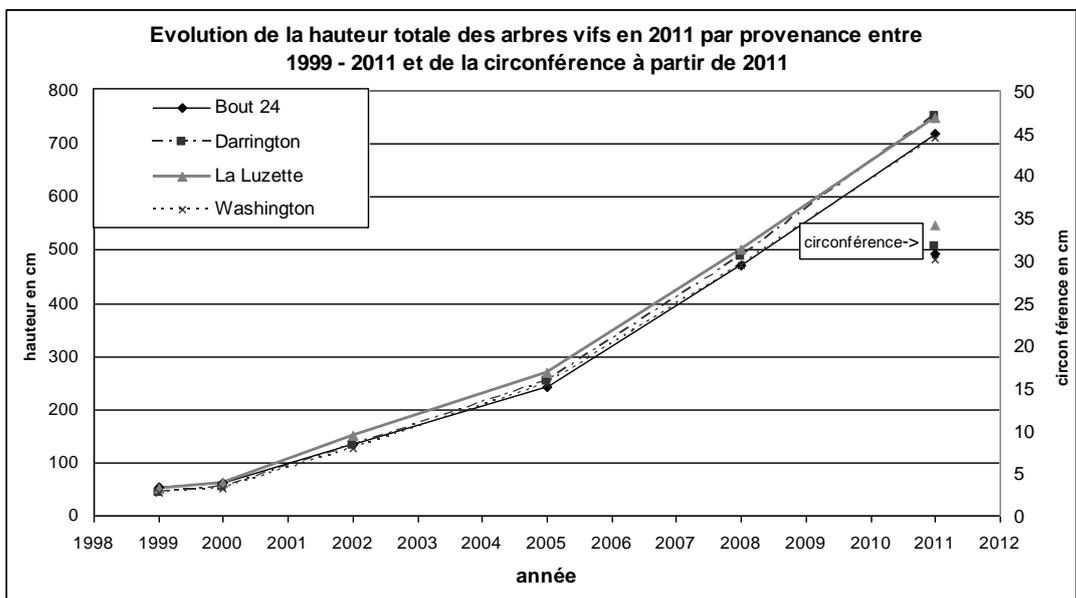
2.4.3.2. Hauteur totale des plants

Les moyennes suivantes sont calculées à partir des arbres vifs (dépérissants, jaunissants, bien venants) en novembre 2011. La considération des seuls arbres bien venants ne serait pas adaptée car l'état sanitaire des arbres peut s'améliorer (cf. paragraphe 2.4.3.1).

De plus, certains plants pris en compte dans ces calculs ont subi, lors des années précédentes, une cassure de la cime qui a rabaissé la hauteur avant une reprise de croissance. Les moyennes suivantes sont donc les accroissements de la hauteur apparente et non de la longueur cumulée, prenant en compte le tronc et la cime retrouvée au sol. De plus, le pourcentage de tiges cassées prises en compte dans le calcul étant similaire pour toutes les provenances, cela ne provoque pas de sous ou surestimation pour une provenance par rapport aux autres. On obtient donc les résultats suivants :

		Variété				ANOVA (significativité)
		Bout 24	Darrington	La Luzette	Washington	
Accroissement annuel en hauteur des arbres vivants en 2011 (cm/an)	1999-2000	9,8	10,9	10,4	10,1	ns
	2000-2002	38,3	41,4	46,9	38,9	ns
	2002-2005	34,8	39,9	37,2	39,9	ns
	2005-2008	75,6	76,4	78,4	74,2	ns
	2008-2011	80,2	88,3	82,5	78,9	ns
	2000-2011	59,4	64,2	62,5	59,9	ns
Hauteur totale (cm) en 2011	2000	64 B	56 A	64 B	52 A	P=0,0044
	2011	716,9	761,6	750,5	710,9	ns

Les analyses effectuées (ANOVA) ne mettent en évidence aucun effet bloc.

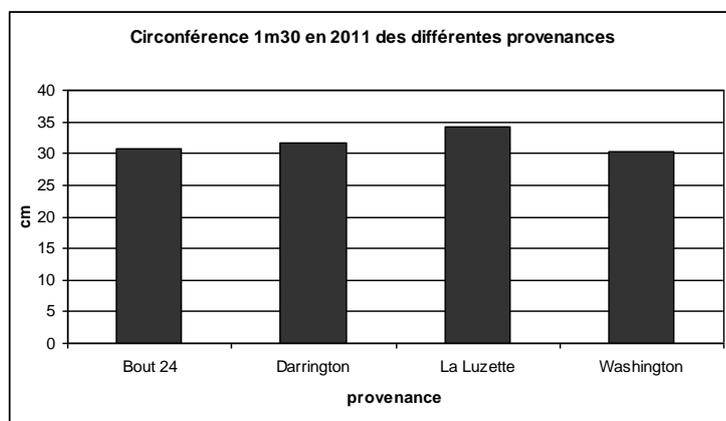


Ces résultats confirment dans un premier temps les précédentes analyses :

- les hauteurs et les accroissements sont très similaires entre les provenances. Ces variations sont semblables au point de suivre exactement les mêmes courbes. On notera juste une légère démarcation vers le haut pour l'accroissement en hauteur de la variété Darrington en 2011 ;
- la transplantation n'a perturbé la croissance des plants que pendant un an ;
- si les différences entre provenances ne sont pas significatives, on remarque toutefois sur la période 2000-2011 une croissance légèrement meilleure des plants survivants des variétés La Luzette et Darrington et légèrement plus faible des plants de provenance Bout 24 et Washington.
- l'accroissement semble se stabiliser entre 80 et 90 cm/an suivant les provenances.

2.4.3.3. Circonférence moyenne des plants

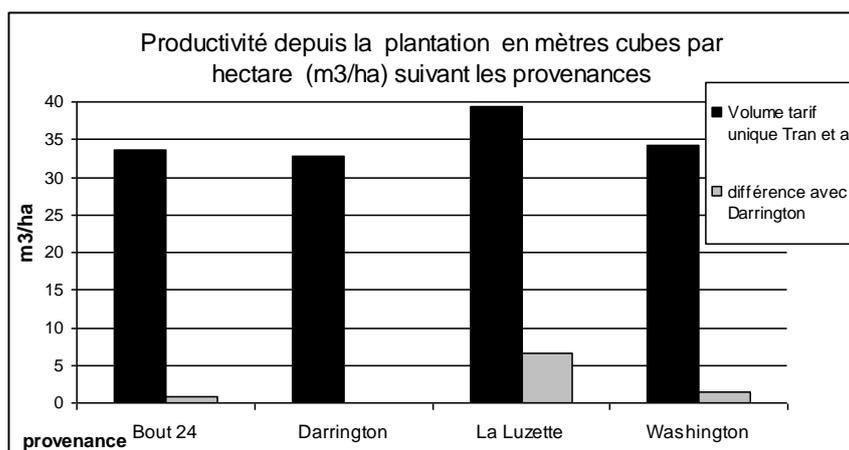
	Variété				ANOVA (significativité)
	Bout 24	Darrington	La Luzette	Washington	
Circonférence moyenne (cm) 2011	30,8	31,6	34,2	30,2	ns



Les plants ont une croissance soutenue en circonférence de plus de 3 cm/an en moyenne. Les arbres issus de la variété **La Luzette** ont la plus grande circonférence moyenne de **34,2 cm**. Les autres variétés ont des valeurs inférieures à la luzette de 7,6 % pour Darrington et 11,7% pour Washington la plus basse en circonférence.

2.4.3.4. Productivité (m³/ha)

	Variété				ANOVA (significativité)
	Bout 24	Darrington	La Luzette	Washington	
Volume (m ³ /ha) selon tarif douglas de l'AFOCEL (source : guide douglas ONF) En 2011	33,6	32,7	39,3	34,2	ns



Le volume a été calculé avec la formule volume total aérien par arbre du tarif unique pour le Douglas établie par Mien Ha-Tran et al (département R&D ONF) :

$$V = g \times (2,068594 + (0,34835 \times h))$$

La productivité totale depuis plantation, montre que la variété Luzette (39,3 m³/ha) est la plus productive sur ce site, au contrario de Darrington (32,7 m³/ha) qui est la moins productive. Le graphique reprend la différence de productivité de la variété Darrington par rapport aux autres. Malgré le faible taux de reprise de Darrington cette productivité n'est pas trop éloignée de Bout 24 et Washington, en revanche elle est nettement en deçà de la Luzette. La meilleure productivité de la variété Luzette est corrélée à la meilleure croissance en diamètre affichée par les arbres de cette provenance.

Ce résultat est à nuancer en fonction du faible nombre de répétitions des placettes. La productivité totale est intimement liée à la survie des plants qui est la moins élevée pour Darrington. De plus, cette mortalité peut être due à un effet stationnel ou de la qualité de la plantation sur les placettes de Darrington. Aussi, il faut regarder ce résultat à travers le réseau de plantations de douglas issus de verger à graines.

Les résultats ont montré une bonne adaptation des plants de la variété la Luzette, en conformité avec les résultats obtenus sur l'ensemble des dispositifs de type peuplement du

réseau (7 sites au total). Cependant, le site des Hazelles est le moins haut en altitude (350 m). Aussi, les provenances débouillant tôt, comme Bout 24 sont moins victimes des gelées tardives que dans les autres sites du réseau et peuvent pousser plus longtemps. Ceci peut expliquer le rattrapage de croissance en hauteur des autres variétés, dont Darrington qui dépasse les autres variétés sur ce site aux dernières mesures de 2011.

2.4.4. Conclusions provisoires et poursuite de l'essai

En 2011, avec un taux de survie moyen pour toutes les variétés de 74% et un taux de bien venants de 68 % signe de la bonne vigueur, ainsi qu'une croissance en hauteur soutenue, la plantation de Douglas de la FD des Hazelles se porte relativement bien si on considère les événements qu'elle a subis, notamment la sécheresse printanière et estivale de 2003. Le douglas semble donc bien adapté à cette station : la faible altitude semble compensée par des précipitations normales comprises entre 800 et 900 mm répartis tout au long de l'année.

A ce stade de l'expérimentation, soit 12 ans après la plantation, aucune différence significative entre l'une ou l'autre des 4 variétés de Douglas testées n'a pu être mise en évidence statistiquement sur les critères considérés. Toutefois, à défaut de différences statistiquement significatives, on relève certaines tendances :

- la provenance La Luzette présentait une proportion de plants fourchus moins importante en 2005 (10 %) que les autres variétés (23 %) ;
- le nombre de plants bien venants s'est amélioré entre 2008 et 2011, pour toutes les provenances et de façon accrue pour les variétés Washington et Bout 24. La variété Darrington est celle qui a le plus faible taux de jaunissants et dépérissants mais également, le moins de survivants ;
- la croissance en hauteur entre 2008 et 2011, est très légèrement meilleure pour les plants Darrington, intermédiaire pour La Luzette et Bout 24, et la plus faible pour Washington.
- la variété ayant la plus grande circonférence moyenne est la Luzette en 2011, la variable circonférence n'ayant pas été prise auparavant.
- la variété ayant la plus grande productivité moyenne est la Luzette. Cette variable est à considérer avec prudence car elle est fortement dépendante de la mortalité.

Cette campagne de mesures a permis de montrer que la dominance de la provenance la Luzette peut être confortée comme c'est la meilleure en circonférence et en productivité. Elle pourra peut-être à l'avenir être remise en cause, si la variété Darrington continue d'avoir une meilleure croissance en hauteur. Cette remise en question est à regarder dans l'ensemble du dispositif multisite VAG (verger à graines). Le site des Hazelles présente la particularité d'être le plus bas en altitude, ce qui pourrait expliquer la croissance plus marquée de Darrington et le retour à une bonne vigueur pour toutes les provenances. Ces points seront à surveiller lors des prochaines campagnes de mesures.

3- Densité du bois des descendances du verger Darrington (INRA)

A l'occasion d'une très bonne fructification intervenue en 1985, des graines ont été récoltées sur 2 à 3 ramets des 70 clones constituant le verger à graines franco-danois "Darrington". Au printemps 1989, deux tests ont été plantés en forêt, dans lesquels les 70 descendances du verger sont comparées à trois lots témoins :

- deux lots du verger d'arbres plus français situé à Bout dans l'Allier, récoltés lors de deux années différentes : BOUT et BOUT2
- la provenance Sauk River, originaire de la seed zone 403 dans l'aire naturelle : SKRV

Une description de ces tests est présentée ci-dessous :

N° test	type dispo	site (dépt)	altitude	nb arbres
3-704-1	Dispositif en parcelles monoarbre - 40 individus par famille	Propriété de la CDC en forêt de l'Aumone à Freteval(41)	200 m	1850
3-704-2	- 100 individus par population témoin.	Forêt communale de St Vaury (23)	600 m	1850

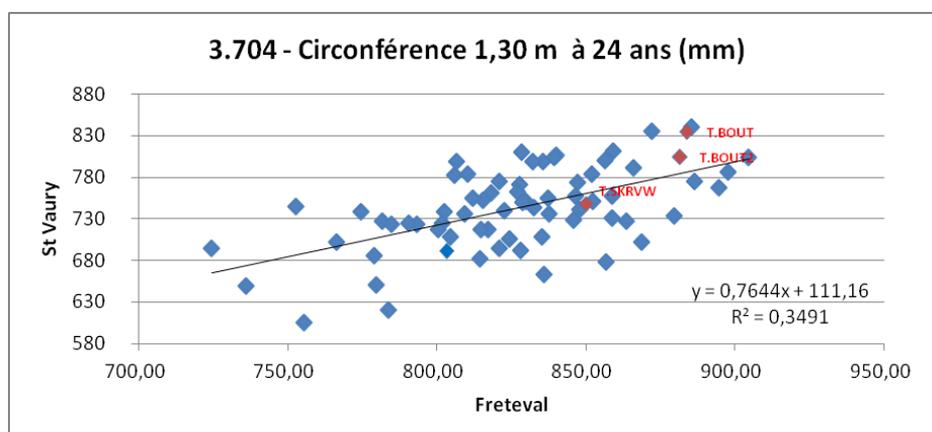
En 2004, soit 17 ans depuis la graine, une éclaircie a été réalisée dans les tests. Les effectifs restant sur pied à l'automne 2011 (24 ans depuis la graine) sont de 28 à Freteval (6-33) et 21 à St Vaury (8 - 31).

A l'automne 2011, tous les arbres sur pied ont fait l'objet d'une mesure de circonférence à 1,30m et de deux sondages orthogonaux l'un de l'autre dans le tronc à l'aide d'un pénétromètre Pilodyn, afin d'estimer indirectement la densité du bois des derniers cernes formés.

Le présent rapport présente le résultat intra et intersite de ces deux mesures et leurs liaisons avec quelques données de croissance et d'architecture prises antérieurement.

3.1.- Circonférence 1,30 m à 24 ans depuis la graine

Tout naturellement, dans le site de basse altitude, Freteval, la croissance des arbres a été meilleure (11%) qu'à St Vaury, situé à 600 m d'altitude : respectivement 827 et 743 mm à 24 ans. Les effets géotypes et blocs sont très significatifs dans les deux sites (respectivement $F = 2,6 ***$ et $3,0 ***$ à Freteval et $F=3,1***$ et $2,6***$ à St Vaury). Le graphique ci-dessous illustre la distribution des circonférences moyennes par géotype, ajustées des effets blocs dans les deux sites.



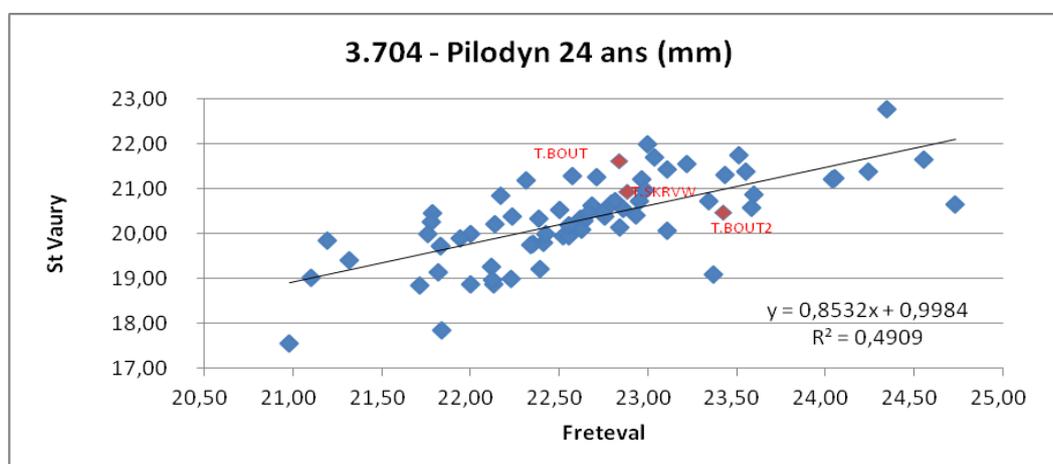
On constate que la croissance de la majorité des familles issues des clones du VG Darrington est globalement inférieure aux 3 témoins. Toutefois, on constate également que, sans être

significativement différentes, 17 familles (1/4) à Freteval et 31 familles (44%) à St Vaury sont plus vigoureuses que le lot témoin Sauk River, représentatif d'une population de l'aire naturelle. Selon les sites, 4 ou 5 familles sont même plus vigoureuses que la moyenne des deux lots du VG de Bout, considéré pourtant comme une référence de vigueur. Entre familles extrêmes, on observe enfin une différence de circonférence de 22% à Freteval et 32% à St Vaury. Cette variabilité s'accompagne d'une héritabilité individuelle du caractère faible, mais dont l'ordre de grandeur est comparable dans les deux sites : 0,22 à Freteval et 0,19 à St Vaury.

Malgré la différence des conditions environnementales, la stabilité du classement des génotypes entre les deux sites est remarquable pour ce critère de croissance en circonférence, souvent perturbé par les effets de compétition puisque le coefficient de corrélation inter-site des moyennes de génotypes est de 0,59.

3.2.- Pénétrromètre Pilodyn

Le graphique ci-dessous présente la distribution des profondeurs moyennes de pénétration de l'aiguille du Pilodyn par génotype, ajustées des effets blocs dans les deux sites.



Conséquence d'une plus forte vigueur, la profondeur de pénétration de l'aiguille du Pilodyn est sensiblement plus élevée à Freteval qu'à St Vaury : respectivement 22,7 mm et 20,3 mm. Des différences très importantes de densité moyenne du bois périphérique sont observées entre familles dans les deux sites : 17% à Freteval et 26% à St Vaury. On remarquera que les 3 lots témoins, malgré leur vigueur comparativement élevée, se positionnent juste au dessus de la moyenne de la distribution des familles.

Enfin, la stabilité du classement entre les deux sites des familles pour ce caractère de densité du bois appréciée de manière indirecte est remarquable puisque la corrélation intersite entre moyennes de génotypes est de 0,70.

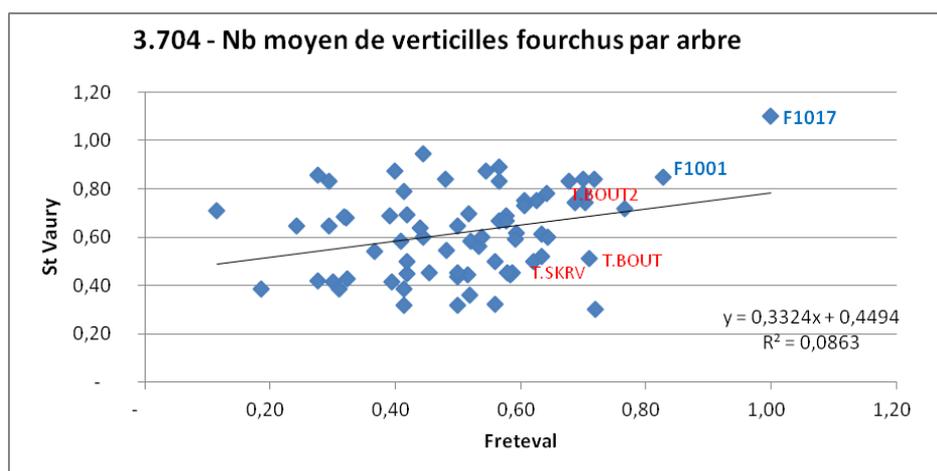
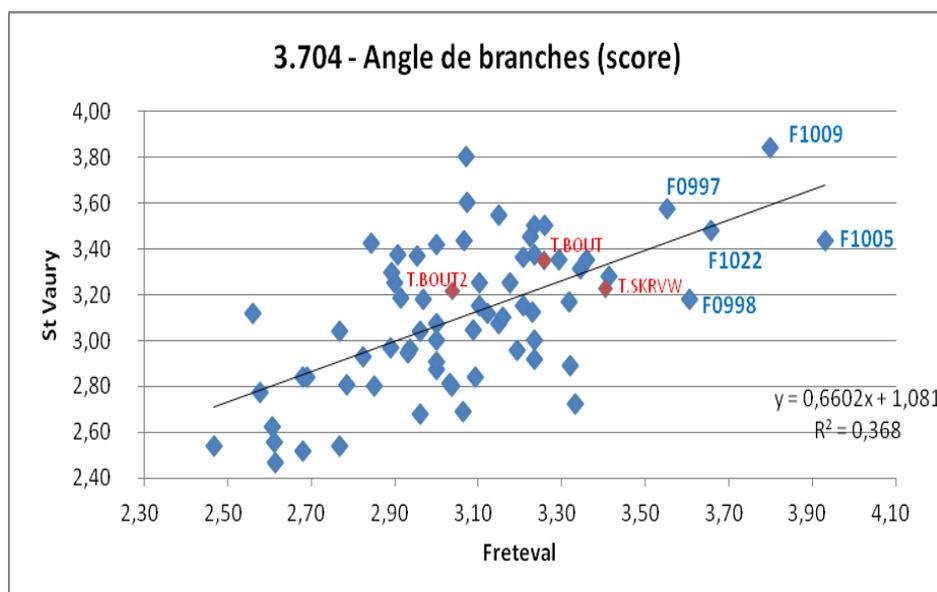
3.3.- Autres caractères

Lors d'une précédente campagne de mesure, en 1996 (9 ans depuis la graine) d'autres caractères d'intérêt ont été mesurés sur chaque arbre: angle d'insertion de branche (score 1 = fastigié à 5 = plat), grosseur de branche (score 1 = très grosses à 5 = fines), nombre de verticilles avec défaut de fourchaison.

Le classement des génotypes pour les caractères angle et grosseur de branche confirment une certaine stabilité environnementale, avec des corrélations intersite entre moyennes de familles respectivement de 0,61 et 0,41. Globalement, le nombre moyen de verticilles avec défaut est équivalent sur les deux sites (0,5 à Freteval et 0,6 à St Vaury). Ce caractère, dépendant des

effets environnementaux locaux, s'avère au final peu stable (corrélation intersite de 0,21 seulement).

Les graphiques ci-dessous présentent la dispersion dans les deux sites de test des moyennes de familles ajustées aux effets blocs pour les caractères angle de branches et fourchaison.



Ces graphiques confirment la stabilité intersite du caractère angle de branche chez le Douglas. Les MFR du VG Darrington présentent un angle de branche légèrement plus fastigié que le témoin de l'aire naturelle mais de niveau comparable au témoin issu des vergers d'arbres plus français. Pour le taux de fourchaison, les deux sites s'avèrent plus contrastés. Deux clones engendrent manifestement des familles dont le nombre moyen de verticilles avec défaut est particulièrement élevé. Avec un nombre moyen de verticilles avec défaut de 0,56, le VG Darrington se situe très en dessous des lots du VG de Bout (nombres moyens : 0,61 et 0,71 (soit une amélioration de -9% et -27%).

Les tableaux ci-après présentent pour chaque site de test les corrélations génétiques entre les principaux caractères mesurés : Circonférence à 1,30m en 2011 (Cir.11), Pilodyn moyen 2011 (Pil.11), Angle de branche 1996 (Ang. 96), Nombre moyen de verticilles fourchus en 1996 (Fourch.96), grosseur de branches en 1996 (Gr.Br. 96) :

Freteval

St Vaury

	Pil.11	Ang. 96	Fourch.96	Gr.Br. 96
Cir.11	0,49	0,27	0,23	-0,12
Pil.11		0,08	0,06	-0,10
Ang. 96			0,17	0,51
Fourch.96				-0,14

	Pil.11	Ang. 96	Fourch.96	Gr.Br. 96
Cir.11	0,61	0,14	-0,24	0,01
Pil.11		0,17	-0,19	0,04
Ang. 96			0,18	0,03
Fourch.96				-0,06

La plupart des caractères ne sont pas liés génétiquement, sauf croissance en circonférence et pilodyn qui sont défavorablement corrélés et, à Freteval seulement, angle et grosseur de branches qui sont au contraire favorablement corrélés.

Conclusion

Sur l'ensemble des deux sites de tests, les familles du VG Darrington confirment un comportement très voisin de la provenance Sauk River, représentative de la région d'origine:

- vigueur quasiment équivalente : -2%
- densité du bois estimée par le Pilodyn équivalente : +2%
- angle et grosseur de branche sensiblement meilleur : +7%
- fourchaison sensiblement augmentée : +9%

Dans l'hypothèse d'une reconstitution d'un nouveau verger Darrington pour augmenter les capacités de production de cette variété très demandée, on peut se demander quel gain génétique on serait en droit d'espérer par sélection de clones sur leurs performances pour les différents caractères. Malgré des différences nettes entre moyennes de familles, une amélioration significative ne pourrait pourtant s'envisager qu'en réduisant fortement la base génétique; en ne retenant pour un nouveau verger par exemple que 35 clones. Le tableau ci-dessous présente, sous cette hypothèse, les écarts de performances en % par rapport à la provenance Sauk River :

	Circonférence	Densité bois	Angle	Fourchaison	Grosseur br.
Sélection sur Circonférence seulement	+2	0	-4	-11	-3
Sélection sur Pilodyn seulement	-5	+5	-7	-7	-5
Sélection sur Fourchaison seulement	-3	+2	-8	+11	-6

N.B. dans le tableau ci-dessus une différence notée d'un signe + est favorable, notée d'un signe – elle est défavorable

Il est évident qu'en pratique, une sélection ne s'opérerait pas sur un seul caractère mais sur au moins deux voire plus. Les chiffres du tableau ci-dessus montrent néanmoins que du fait de la base génétique très faible du verger Darrington, il est illusoire d'espérer améliorer significativement les produits du verger par une sélection des meilleurs clones sur valeur de leur descendance. Tout au plus pourrait on éliminer les clones qui engendrent les familles les plus fourchues. Ainsi, l'élimination des 10 clones les plus mal classés pour ce caractère de forme sur les deux sites permettraient de réduire presque totalement l'écart de 9% observé aujourd'hui entre le produit moyen du verger Darrington et la provenance témoin de l'aire naturelle.

4- Plantation de deux tests de descendance du verger Californie (INRA)

Anticipant une entrée en production commerciale du verger et l'admission de ce dernier en catégorie "qualifiée", l'INRA a profité de deux années de bonne fructification (2005 et 2007) pour récolter des graines sur chaque clone fructifère, à raison de 1 à 3 ramets par clone. A l'issue des deux récoltes, des graines identifiées par clone étaient disponibles pour 85 génotypes, soit $\frac{3}{4}$ des géniteurs du verger. Pour 15 de ces génotypes, les graines des récoltes 2005 et 2007 ont été maintenues séparées. La récolte des cônes et l'extraction des graines ont été réalisées par les gestionnaires du verger, le nettoyage et le conditionnement des graines ont été pris en charge par l'INRA.

Au printemps 2009, 104 lots de graines ont été envoyées à la pépinière des Milles pour être semés en conteneurs de 0,5 litres, en vue d'évaluer en forêt les composants du verger californien ayant fructifié en 2005 et / ou 2007. Ces lots se décomposent comme suit :

- 100 descendance maternelles des clones du VG Californien- 70 lots correspondant aux graines récoltées sur 70 clones en 2005 ou 2007, 30 lots correspondant aux graines récoltées sur 15 autres clones en 2005 et 2007
- 4 lots témoins : 3 issus des vergers à graines de l'Etat (Washington 2, Luzette, France 1) et un lot issu d'une récolte en vrac dans un parc à clones de l'INRA d'Orléans (PC24), constitué de 200 clones sélectionnés sur index dans 5 tests de descendance des populations Darrington et Arlington (série de tests INRA 2-703).

Le développement insuffisant des plants à l'automne 2009, suite à des températures estivales très élevées, a justifié de maintenir les plants à la pépinière des Milles pendant une année de croissance supplémentaire.

En mars 2011, deux tests ont été installés en forêt :

- 3.716.1 – Saint Junien la Bregère (Haute Vienne), station classique à Douglas vert choisie en vue d'évaluer la tolérance au froid du matériel Californien (Long : 1° 45' 14"E, Lat : 45° 53' 28" N, alt : 580m). Matériel végétal installé : 48 descendance du VG Californien et 2 témoins (Luzette-VG et PC24 Orléans). Type de dispositif: blocs incomplets à composition aléatoire (46 blocs à 29 ou 30 plants; 1466 plants en tout). Densité 1100 plants /ha.
- 3.716.2 - forêt communale de Fourtou (Aude) : station classique à Douglas mais qui sera exposée précocement aux effets du changement climatique (Long : 2° 25'06" E, Lat : 42° 54' 19" N, alt, 730 m). Matériel végétal installé : 96 descendance du VG Californien et 4 témoins (France 1-VG, Washington 2-VG, Luzette-VG et PC24 Orléans. Type de dispositif: blocs incomplets à composition aléatoire (89 blocs à 29 ou 30 plants; 2705 plants en tout). Densité 1100 plants /ha.

Un relevé de mortalité, réalisé à l'automne 2011 par sondage dans une dizaine de blocs dans les deux sites, fait état d'une très bonne survie du matériel Californien après une saison de végétation sur le terrain (respectivement 95 et 97 % de survie à St Junien et à Fourtou). Une mesure de survie et de hauteur totale seront réalisés sur l'ensemble des deux tests à l'automne 2012.

5- tests en conditions semi-contrôlées (Irstea)

L'opération, qui devait consister en une simple réflexion sur l'aménagement de la serre, s'est en réalité transformée en une installation d'un essai probatoire. Deux actions ont été menées

en parallèle : l'aménagement d'une serre autrefois destinée aux recherches liées à la gestion d'un verger sous serre de mélèze et le conditionnement des plants de Douglas destinés à l'essai.

5.1.- Remise en état et équipement de la serre

La serre (40 m x 12 m), qui date du milieu des années 1990, a été remise en état et révisée :

- changement des vitres endommagées
- révision de l'ensemble du système de régulation thermique (changement des systèmes de commande électrique des ouvrants latéraux et de faitage)
- blanchiment par hélicoptère.

En outre, une commande a été passée pour un nouveau système d'arrosage permettant de faire varier la quantité d'eau distribuée dans différents secteurs de la serre (maîtrise des paramètres "débit instantané" et "vitesse d'avancement"). Cet investissement a nécessité la création d'une nouvelle adduction d'eau, de diamètre supérieur, pour obtenir le débit et la pression requis par le chariot d'arrosage.

5.2.- Préparation de l'essai

La mise en place de l'essai a été accélérée du fait de la disponibilité de plants d'origine connue à la pépinière de l'Etat d'Aix-en-Provence. Ils ont été produits à partir de reliquats de deux lots de graines utilisés pour l'installation du réseau d'évaluation des vergers : Luzette non éclairci (récolte 2004) et Californie (récolte expérimentale 2007). Ces plants, élevés en conteneurs de 560 cc et âgés d'un an (semis 2010), proviennent des deux meilleures modalités d'un essai visant à comparer plusieurs techniques de culture en pépinière (semis précoce sous serre puis élevage des plants sous ombrière). Ils ont été livrés à Nogent mi-mars 2011, alors que les individus californiens commençaient à débourrer, puis traités dans les meilleures conditions possibles en attendant la livraison des conteneurs devant les accueillir.

Ces caisses métalliques (Lxlxh : 145 cm x 110 cm x 78 cm ; poids à vide : 180 kg) ont une capacité de charge en dynamique de 2 tonnes. Leur base a été percée de 30 trous pour permettre l'écoulement d'eau. De manière à réduire le poids, le fond a été tapissé de plaques de polystyrène recouvertes d'une bâche en tissu perméable à l'eau. Dans cette configuration, la hauteur utile est réduite à 45-50 cm.

Ces caisses ont été remplies de terre de falaise préalablement criblée (maille de 3 x 3 cm), de manière à éliminer les éléments grossiers et à fractionner les mottes. Des pesées après tamisage à différentes mailles montrent que ce substrat est à forte teneur en sable (70%). La granulométrie et la richesse chimique seront précisées après analyse en laboratoire. Des tubes en PVC adaptés aux sondes TDR, couvrant la totalité de la profondeur du substrat, ont été installés au milieu de chaque caisse de manière à permettre un suivi de l'humidité et raisonner les arrosages. A cet effet, la sonde a été étalonnée sur un échantillon de terre de falaise après ajouts successifs de volumes d'eau connus.

Les plants ont été installés à racines nues, c'est-à-dire après élimination du substrat du godet, dans 12 caisses (30 plants/caisse) les 25-26 mai. Ils ont séjourné à l'extérieur de la serre le reste de l'année et ont été arrosés régulièrement pour garantir leur survie. Les caisses ont ensuite été transférées sous serre fin décembre pour éviter les dégâts de gel. A cette époque, le taux de survie était satisfaisant (93,3% et 95% respectivement pour La Luzette et Californie).



Photos prises fin
mai - début juin
2011

Divers achats ont été réalisés pour faciliter le transport des caisses (transpalette peseur) et l'arrosage manuel (débitmètre). Compte tenu du poids des caisses, le transpalette ne permet que de petits déplacements sur une surface roulante (sous serre p.ex.). Les transports de plus longue distance ne peuvent s'effectuer qu'à l'aide d'une fourche élévatrice. Le tracteur d'Irstea étant interdit d'usage depuis peu, nous ne sommes plus autonomes pour les entrées/sorties de serre et ces déplacements nécessitent une sous-traitance extérieure coûteuse.

Les 360 plants ont fait l'objet de mesures complètes à l'intersaison 2011/12 : état sanitaire, hauteur des pousses primaires et secondaires 2010 et 2012, nombre et longueur cumulée des ramifications, diamètre au collet. Ces données ont été utilisées pour appairer les caisses des deux variétés dans les trois modalités climatiques de l'essai : 1) température et pluviosité naturelles, 2) chaleur et pluviosité estivale modérée, 3) chaleur et forte restriction d'eau. L'élévation de température sera obtenue sous serre et les régimes d'arrosage en serre seront inspirés des scénarios du GIEC.

Des séries de mesures seront effectuées durant toute la période de végétation. Elles visent à caractériser le milieu (*a minima* température, humidité et fertilité du substrat) et le développement des plants : état sanitaire, phénologie (dates de débournement et de formation du bourgeon terminal, polycyclisme) et croissance (dynamique de la croissance en hauteur, nombre et longueur des ramifications, diamètre).

Cet essai permettra d'acquérir des données sur le comportement des deux variétés, mais aussi de l'expérience en prévision d'un essai de plus grande envergure qui débutera en 2013. Une nouvelle série de 24 caisses a été commandée ainsi que des plants en provenance des vergers Californie et Washington 2.

MELEZE

PERFORMANCES DE VARIETES HYBRIDES

1- Hybrides F1

1.1.- Dispositifs de Brenod et Arleuf (Irstea)

Les mesures ont été effectuées à Brenod et Arleuf, respectivement les 29-30 et 17 novembre 2011. Quatre caractères ont été évalués : survie et état sanitaire, circonférence à 1,30 m, rectitude du tronc (note de 1- très flexueux à 5- droit), écart à la verticalité. Les données seront analysées en 2012 et les résultats présentés dans le prochain rapport d'activité.

Ces visites ont été mises à profit pour effectuer des relevés d'éclaircie. Il s'avère malheureusement que le propriétaire du terrain de Brenod n'a pas éliminé les arbres oubliés par l'abatteuse et on note des divergences non négligeables entre les effectifs théoriquement et réellement présents sur le terrain.

Un déplacement a été programmé sur le site de Maîche mais il a dû être annulé en raison de fortes chutes de neige. Il est reporté à 2012.

1.2.- Influence du pourcentage d'hybrides sur les performances de 4 variétés – test de La Courtine (Irstea)

1.2.1.- Rappel du contexte

Cette étude, menée dans des dispositifs contemporains implantés en milieux acide (La Courtine) et calcaire (Brenod), vise à comparer la croissance des individus hybrides et d'espèces pures de plusieurs variétés européennes ainsi que l'évolution dans le temps du pourcentage d'hybrides. Dans ce rapport, nous nous limiterons au dispositif de La Courtine dont les principales caractéristiques sont rappelées ci-dessous.

Localisation géographique : Creuse (23) – longitude : 2° 15' E – latitude : 45° 42' N - altitude : 800 m

Climat : température moy. annuelle : 8°C – pluviosité moy. annuelle : 1100 mm

Pédologie : sol profond (> 50 cm) sur granite – antécédent cultural : ancien peuplement de pin sylvestre

Plantation : avril 1995 – plants à racines nues 1+1 - espacements : 3m x 2m (1667/ha) - 4 blocs complets, soit 40 parcelles unitaires contenant chacune 64 plants

Eclaircie en mai 2005.

Cet essai compare 6 variétés hybrides européennes (Halle représentée par deux récoltes, FP 237, FH 201, Vaals, Esbeek, Maglehem), une variété française de mélèze d'Europe (Le Theil) et deux témoins d'espèces pures (MJ Hokkaido et ME Sudètes Ruda).

Verger	pays	espèce	nb clones	millésime des
--------	------	--------	-----------	---------------

		maternelle	(E/J)	graines
Halle	B	J	15/15	1983
Maglehem	S	J	8/1	1992
FH 201	F	E	1/56	1992
Esbeek	NL	E	1/4	1992

En 2008, l'INRA a déterminé l'identité spécifique de la moitié des représentants des variétés Halle 2, Maglehem, FH 201 et Esbeek (*i.e.* tous les individus vivants des blocs 1 et 2), à partir de bourgeons récoltés par le Cemagref avant la première éclaircie (février 2004). Les résultats du génotypage ont été mis en relation avec les performances (état sanitaire, vigueur, forme) évaluées 6, 10 et 16 ans après plantation.

L'analyse des données a été conduite en trois étapes : i) comparaison des performances des individus hybrides et d'espèces pures au sein de chaque variété, ii) comparaison des variétés en prenant en compte la totalité de leur population ou seulement les individus hybrides et iii) étude de l'évolution du pourcentage d'hybrides au fil des éclaircies.

Pour faciliter la compréhension, nous rappelons les résultats acquis antérieurement (après une nouvelle analyse plus poussée, ce qui explique les menues différences entre les tableaux présentés ici et dans le rapport "évaluation des VFA" de février 2009).

1.2.2.- Comparaison des performances des individus hybrides et d'espèces pures dans les quatre variétés étudiées

La mortalité est très faible et on note peu de problèmes sanitaires (descentes de cime, frottis de gibier). Dans ces conditions, on n'observe jamais de différence significative entre les individus hybrides et d'espèces pures. Les variables étudiées concerneront donc la croissance et la forme.

1.2.2.1.- Halle 2

** Composition spécifique de la population*

Statut	avant éclaircie			après éclaircie		
	bloc 1	bloc 2	total	bloc 1	bloc 2	total
J	55	54	109	29	32	61
H (mère J)	7	8	15 (12.1%)	7	4	11 (15.3%)
mort	2	2	4	0	0	0

L'espèce des 124 individus vivants (sur 128 plantés) a pu être déterminée. L'échantillon analysé est constitué de 109 individus de mélèze du Japon (J) et 15 hybrides (H), tous de mère japonaise. Bien que l'année de récolte des graines ait été marquée par une forte floraison, le pourcentage d'hybrides est donc extrêmement faible (12,1%). Après éclaircie, subsistent 61 mélèzes du Japon et 11 hybrides.

** Vigueur*

Population entière (avant éclaircie)

Espèce	hauteur 2000 (cm)	circ. 2000 (cm)	circ. 2004 (cm)	volume 2000 (cm ³)
H	581.5** (+10%)	24.8* (+12.1%)	42.8(*) (+7.8%)	19 200** (+29.9%)
J	531.1	22.1	39.7	14 800

(*), *, **: différence significative au seuil de 10%, 5%, 1%

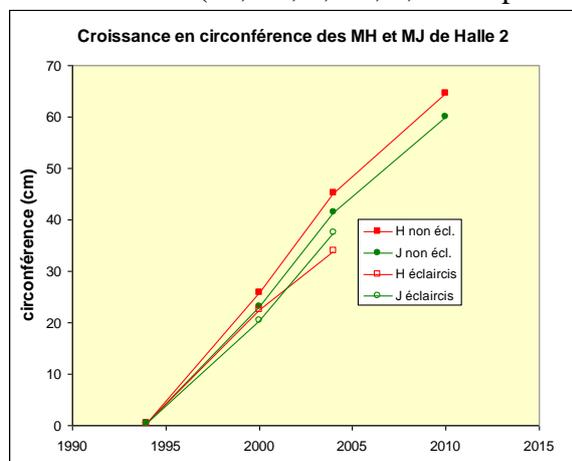
Population non éclaircie

Espèce	circ. 2000 (cm)	circ. 2004 (cm)	circ. 2010 (cm)
H	25.8* (+10.9%)	45.3* (+9.4%)	64.5 (*) (+7.2%)
J	23.2	41.4	60.1

(*), *, **: différence significative au seuil de 10%, 5%, 1%

Six ans après la plantation, les hybrides sont significativement supérieurs aux Japonais pour la hauteur (+9.5%), la circonférence (+12.1%) et le volume (+29.9%). Cependant, la supériorité des hybrides se manifeste seulement dans le bloc 1, les H et J faisant jeu égal dans le bloc 2 (interaction espèce x bloc significative).

10 et 16 après plantation, la circonférence des hybrides demeure significativement supérieure à celle des individus japonais mais le différentiel de vigueur tend à s'amenuiser avec le temps. Dans la population non éclaircie, bien que les hybrides continuent à croître plus vite en circonférence (+ 2,6 cm en 2000, + 3,9 cm en 2004, + 4,4 cm en 2010), l'écart diminue en valeur relative (10,9%, 9,4%, 7,2% respectivement en 2000, 2004 et 2010).



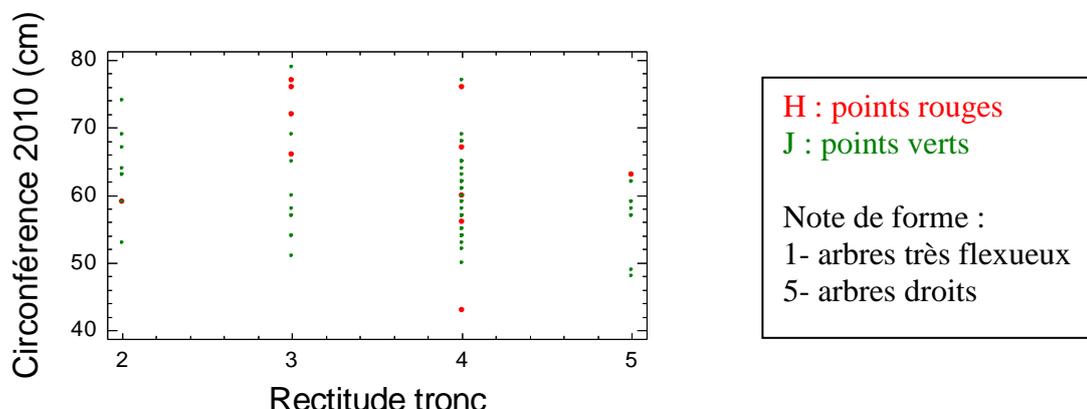
** Forme*

Espèce	rectitude du tronc						courbure basale	
	note moyenne			% arbres droits (1)			(% courbés)	
	2000	2004	2010	2000	2004	2010	2000	2004
H	3.75	3.27	3.54	67	53	54	27*	33
J	3.48	3.31	3.72	57	52	70	9	22

Les valeurs non suivies d'astérisques ne diffèrent pas significativement au seuil de 5% (1) notes 4+5

On n'observe que peu de différence entre hybrides et Japonais pour les caractères de forme (rectitude du tronc, courbure basale, facteur d'élancement). Après éclaircie, la proportion

d'arbres droits est sensiblement inférieure dans la population hybride mais la différence est loin d'être significative. Les hybrides étaient également plus courbés à la base en 2000 mais cette différence avait disparu 4 ans plus tard. D'autre part, on note une faible corrélation négative entre la circonférence 2010 et la rectitude du tronc ($r = -0.28^*$).



1.2.2.2.- Maglehem

* Composition spécifique de la population

Statut	avant éclaircie			après éclaircie		
	bloc 1	bloc 2	total	bloc 1	bloc 2	total
E	0	2	2	0	2	2
H (mère J)	26	20	46 (38.0%)	14	14	28 (40.6%)
J	35	38	73	21	18	39
indéterminé	2	2	4	0	0	0
mort	1	2	3	0	0	0

121 individus ont pu être déterminés : 46 hybrides, 73 Japonais et 2 Européens. Compte tenu de leur faible effectif, les mélèzes d'Europe n'ont pas été étudiés.

* Vigueur

Population entière (avant éclaircie)

Espèce	hauteur 2000 (cm)	circ. 2000 (cm)	circ. 2004 (cm)	volume 2000 (cm ³)
H	568.9** (+7.1%)	21.9* (+3.5%)	40.1* (+5.0%)	16 700* (+22.8%)
J	531.0	21.2	38.2	13 600

(*), *, ** : différence significative au seuil de 10%, 5%, 1%

Comparés aux mélèzes du Japon, les hybrides se caractérisent par une croissance en hauteur et en diamètre légèrement plus forte. Logiquement, leur volume est supérieur à celui des Japonais (+ 23% à 6 ans). Pour tous ces caractères, on note cependant une interaction espèce x bloc, les hybrides ne se différenciant pas des Japonais dans le bloc 1 alors qu'ils leur sont très supérieurs dans le bloc 2.

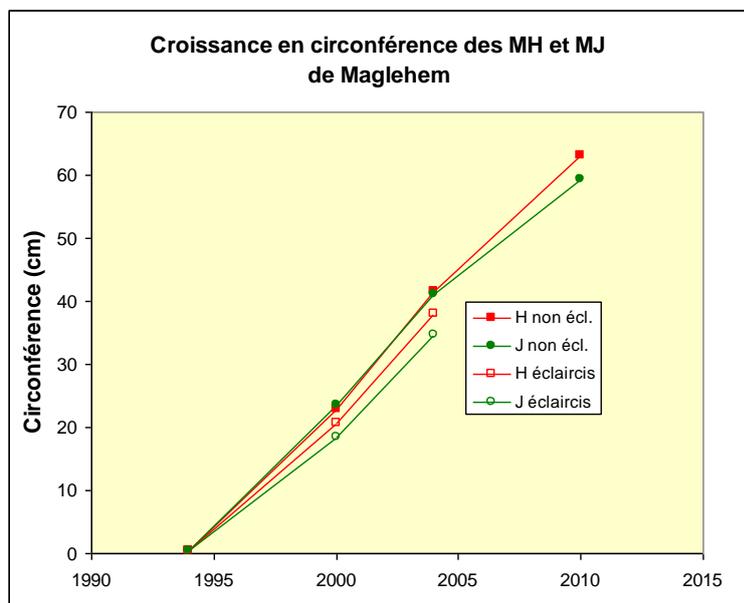
Population non éclaircie

Espèce	circ. 2000 (cm)	circ. 2004 (cm)	circ. 2010 (cm)
--------	-----------------	-----------------	-----------------

H	23.0	41.5	63.1 (*) (+6.2%)
J	23.5	41.2	59.4

(*), *, **: différence significative au seuil de 10%, 5%, 1%

Les hybrides non éclaircis, qui présentaient jusqu'en 2004 une croissance comparable à celle des Japonais, se distinguent par de forts accroissements radiaux post-éclaircie (+18,9% entre 2004 et 2010). Fin 2010, le différentiel de circonférence atteint 3,7 cm (6,2%) et les deux populations sont significativement différentes.

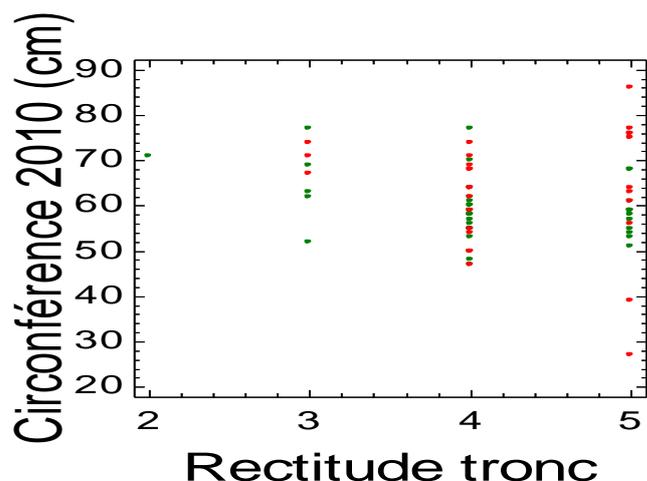


* *Forme*

Espèce	rectitude du tronc						courbure basale (% courbés)	
	note moyenne			% arbres droits (1)			2000	2004
	2000	2004	2010	2000	2004	2010	2000	2004
H	3.38	3.62	4.29	47.8	60.0	89.3	11	27
J	3.47	3.74	4.13	53.4	63.1	84.6	10	19

Les valeurs non suivies d'astérisques ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%
(1) notes 4+5

La population restant après éclaircie a une forme très satisfaisante et les hybrides ne diffèrent jamais des Japonais, quel que soit le caractère étudié (flexuosité du tronc, courbure basale, facteur d'élanement H/D). Par ailleurs, la flexuosité du tronc est indépendante de la circonférence ($r = -0.17$ NS).



H : points rouges

J : points verts

Note de forme :

1- arbres très flexueux

5- arbres droits

1.2.2.3.- FH 201

* Composition spécifique de la population

Statut	avant éclaircie			après éclaircie		
	bloc 1	bloc 2	total	bloc 1	bloc 2	total
E	11	7	18	3	1	4
H (mère E)	48	49	97 (84.3%)	33	31	64 (94.1%)
indéterminé	3	7	10	1	6	7
mort	2	1	3	0	0	0

La population initiale comprend 125 arbres vivants, parmi lesquels 115 ont pu être identifiés. Ils sont tous de mère européenne. 97 d'entre eux ont un père japonais et 18 un père européen. Le taux d'hybrides est donc de 84,3% (en excluant les profils illisibles).

Après éclaircie, on dénombre 64 hybrides (94,1%), 4 mélèzes d'Europe et 7 individus indéterminés. A ce stade, le nombre de représentants européens est trop limité pour estimer précisément les performances de la population non hybride.

Par ailleurs, l'analyse de la récolte 1992 aboutissait à un taux d'hybrides de 49,3% (Pâques et al. 2006). Une forte proportion des génotypes de ME a donc disparu entre les stades "graines" et "plants", ce qui est cohérent avec leur origine "autofécondée".

* Vigueur

Population entière (avant éclaircie)

Espèce	hauteur 2000 (cm)	circ. 2000 (cm)	circ. 2004 (cm)	volume 2000 (cm ³)
E	464.0	19.44	27.7	10 500
H	589.7*** (+27.1%)	26.52*** (+36.4%)	43.6*** (+57.4%)	22 700*** (+116%)

(*), *, **, *** : différence significative au seuil de 10%, 5%, 1%, 1%

Les hybrides sont supérieurs aux européens pour tous les caractères étudiés et cette hiérarchie est respectée dans les deux blocs (absence d'interaction espèce x bloc). Les différences sont hautement significatives, même pour les mesures de hauteur effectuées sur seulement une

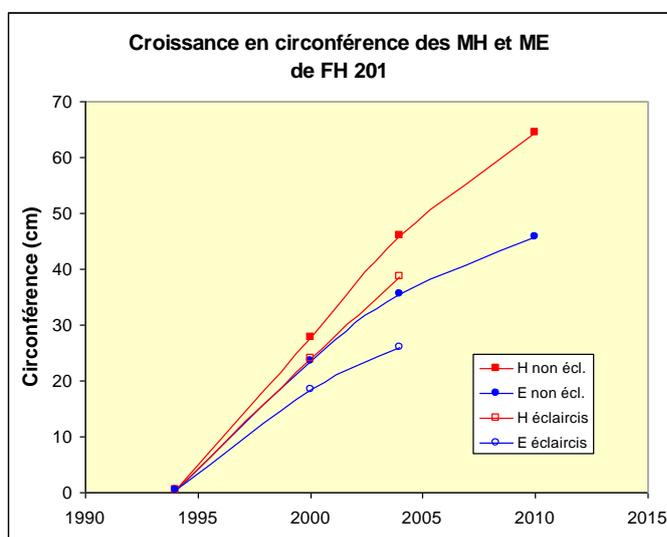
fraction de la population (1998, 1999, 2004), et très importantes en valeur relative : + 27% en hauteur, + 35-60% en diamètre, +116% en volume. Entre 6 et 10 ans, les hybrides présentent des accroissements en circonférence doubles de ceux des Européens (4.28 cm/an vs 2.07 cm).

Population non éclaircie

Espèce	circ. 2000 (cm)	circ. 2004 (cm)	circ. 2010 (cm)
E	23.5	35.5	45.7
H	27.7 (*) (+17.9%)	46.0** (+29.5%)	64.4** (+40.9%)

(*), *, **, *** : différence significative au seuil de 10%, 5%, 1%, 1‰

Le différentiel de croissance H/E s'accroît fortement entre 6 et 16 ans, notamment après l'éclaircie (accroissements en circonférence de 3,1 et 1,7 cm/an pour les hybrides et Européens). Cependant, les mélèzes d'Europe ayant été dominés très tôt (4,90 m de hauteur en 2000, contre 6,10 m pour les hybrides), il est possible qu'un effet "compétition" vienne se superposer à l'effet génétique.

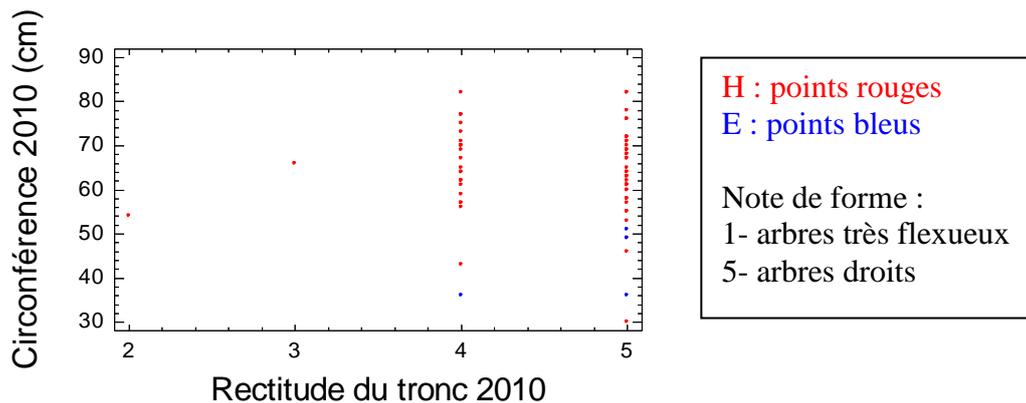


* Forme

Espèce	rectitude du tronc						courbure basale	
	note moyenne			% arbres droits (1)			(% courbés)	
	2000	2004	2010	2000	2004	2010	2000	2004
E	4.29	4.16	4.83	89	89	100	22	28
H	4.13	4.16	4.57	75	82	97	10	12

Les valeurs non suivies d'astérisques ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%
(1) notes 4+5

La forme est excellente et les hybrides ne diffèrent pas significativement des Européens pour la flexuosité du tronc et la courbure basale. On note cependant que les hybrides tendent à être plus trapus que les européens (H/circ 2000 = 22.9 et 24.6 respectivement). Par ailleurs, en 2010, la flexuosité du tronc est indépendante de la circonférence (r = 0).



1.2.2.4.- Esbeek

* Composition spécifique de la population

Statut	avant éclaircie			après éclaircie		
	bloc 1	bloc 2	total	bloc 1	bloc 2	total
E	5	5	10	1	1	2
H (mère E)	48	55	103 (89.6%)	31	37	68 (95.8%)
J	1	1	2	1	0	1
indéterminé	6	0	6	3	0	3
mort	4	3	7	0	0	0

Parmi les 128 individus plantés, 7 sont morts et 6 n'ont pu être déterminés. La population connue, qui est donc constituée de 115 individus, comprend 90% d'hybrides, tous de mère européenne, 9% d'Européens, vraisemblablement issus d'autofécondation, et 2% de Japonais. Compte tenu de leur faible effectif, et du fait que le design du verger ne laissait pas supposer leur présence, les mélèzes du Japon n'ont pas été analysés. Le groupe des Européens l'a été mais il est évident que le faible nombre de représentants après éclaircie limite sérieusement la portée des résultats.

* Vigueur

Population entière (avant éclaircie)

Espèce	hauteur 2000 (cm)	circ. 2000 (cm)	circ. 2004 (cm)	volume 2000 (cm ³)
E	467.9	16.4	24.5	8 000
H	608.7*** (+30.0%)	25.7*** (+56.7%)	42.1*** (+71.8%)	21 300*** (+168%)

(*), *, **, *** : différence significative au seuil de 10%, 5%, 1%, 1%

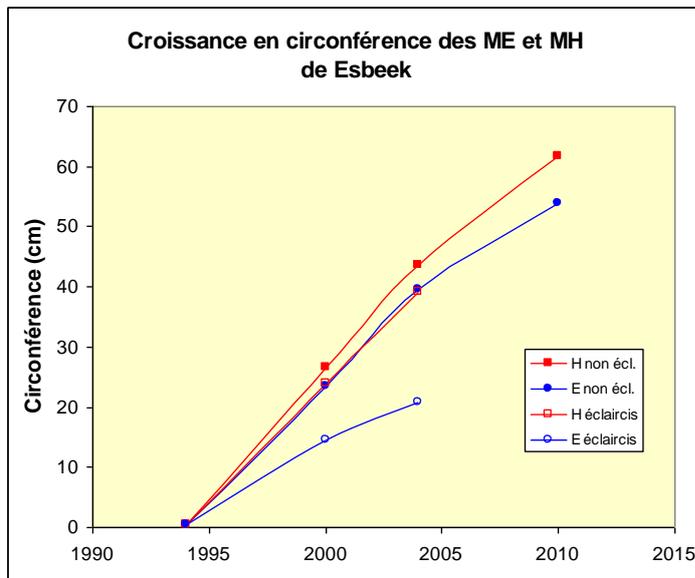
Les hybrides sont plus vigoureux que les Européens et cette supériorité se manifeste avec la même intensité dans les deux blocs (interaction espèce x bloc NS). Les écarts sont encore plus importants que pour FH 201 : +30% en hauteur, +60-70% en circonférence, +170% en volume à 6 ans. Entre 6 et 10 ans, les hybrides présentent des accroissements en circonférence doubles de ceux des Européens (4.10 cm/an vs 2.02 cm).

Population non éclaircie

Espèce	circ. 2000 (cm)	circ. 2004 (cm)	circ. 2010 (cm)
E	23.5	39.5	54.0
H	26.7	43.5	61.8

(*), *, **, *** : différence significative au seuil de 10%, 5%, 1%, 1‰

Les deux individus européens subsistant après éclaircie présentent une croissance en circonférence inférieure à celle de la population hybride mais l'écart relatif est modéré (14% en 2010). D'autre part, le Japonais restant se caractérise par une faible vigueur (41 cm de circonférence à 16 ans).



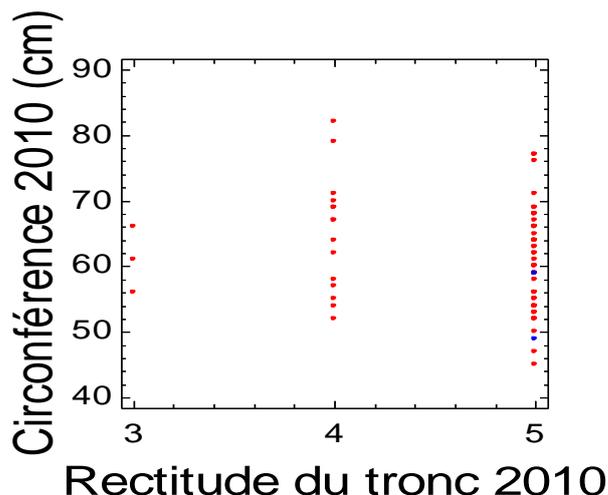
* *Forme*

Espèce	rectitude du tronc						courbure basale (% courbés)	
	note moyenne			% arbres droits (1)			2000	2004
	2000	2004	2010	2000	2004	2010	2000	2004
E	4.10	4.20	5.0	80	90	100	0	0
H	4.03	4.08	4.68	69	81	96	5	11

Les valeurs non suivies d'astérisques ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%

(1) notes 4+5

La forme est excellente pour les hybrides et les Européens ; ceux-ci ne diffèrent pas significativement pour la flexuosité du tronc et la courbure basale. En revanche, ils sont plus trapus (H/circ 2000 = 23.9 et 28.8 respectivement pour H et E). On n'observe pas de relation significative entre la croissance (circonférence) et la rectitude du tronc ($r = -0,20$).



H : points rouges

E : points bleus

Note de forme :

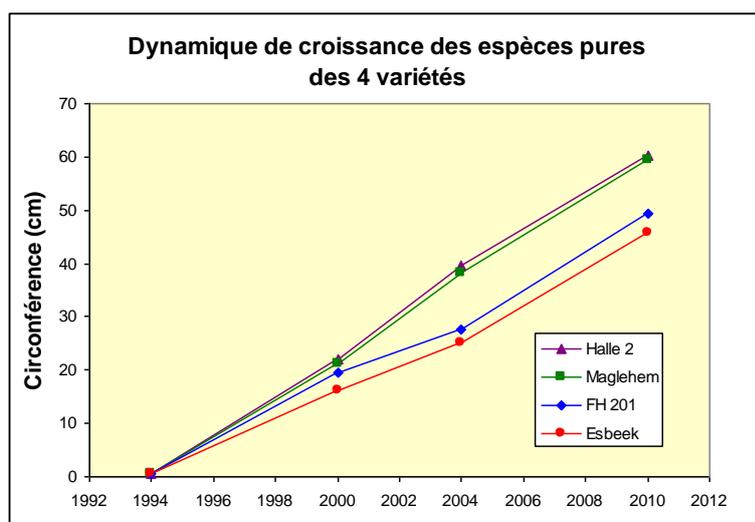
1- arbres très flexueux

5- arbres droits

Conclusion

- Le taux d'hybrides des lots de plants varie énormément, de 12% à 90%. Le bien-fondé de la commercialisation, en tant que "mélèze hybride", des MFR de Halle et Maglehem est très discutable.

- Dans les 4 variétés étudiées, les hybrides sont plus vigoureux que les espèces pures. Cependant, le différentiel de croissance est beaucoup plus important pour le couple FH 201 – Esbeek que pour Halle et Maglehem. Cette différence de comportement est essentiellement due au fait que les Européens de ces deux variétés présentent une très faible croissance. Ce dernier point est sans doute à relier au design de ces deux vergers : ne contenant qu'un seul clone maternel, les graines non hybrides ne peuvent que provenir que d'autofécondations si les vergers bénéficient d'un bon isolement pollinique. Or, on sait que les individus autofécondés sont peu vigoureux (et de moins bonne viabilité normalement, ce qui explique probablement l'augmentation du pourcentage d'hybrides entre le stade « graine » et la plantation pour FH 201).



Cependant, le verger Maglehem est lui aussi composé d'un unique clone maternel (MJ) et on ne constate pas cette perte de vigueur consécutive à l'autofécondation. L'explication tient

peut-être au fait que le mélèze du Japon est plus à son avantage que le mélèze d'Europe sous le climat océanique du Limousin.

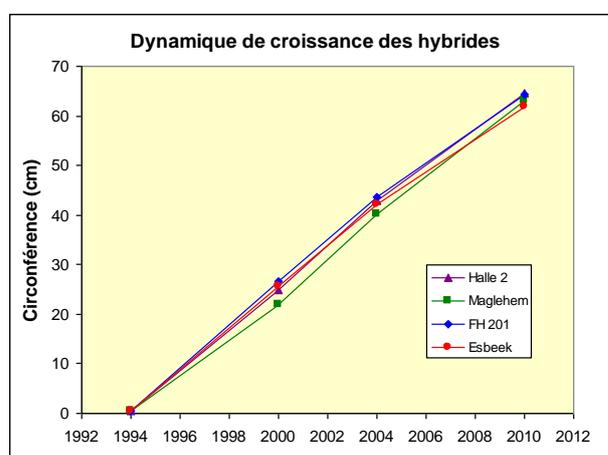
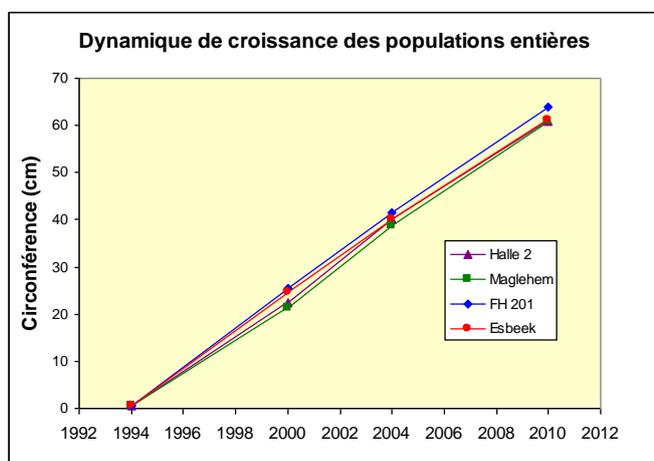
Pour FH 201 et Esbeek, il est possible que la concurrence ait joué pour les dernières mesures (E dominés par H) et que l'écart observé pour la circonférence soit supérieur à celui que l'on aurait obtenu dans deux plantations distinctes de ME et MH. Néanmoins, des différences importantes et hautement significatives apparaissent dès 6 ans, à un âge où la concurrence ne devait pas être très forte.

- Globalement, les espèces pures ont une forme très légèrement supérieure aux hybrides mais les différences ne sont pas significatives.

1.2.3.- Comparaison des performances des hybrides des quatre variétés

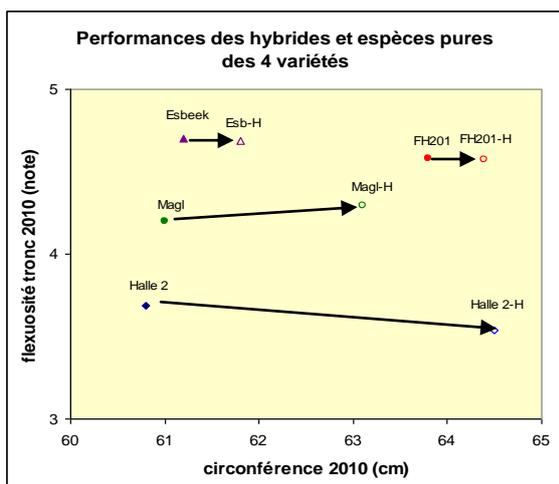
Puisque i) le taux d'hybrides d'une variété est susceptible de varier d'une année à l'autre, en fonction de l'abondance de la floraison des clones parents, et que ii) les performances des hybrides et des espèces pures diffèrent parfois de façon importante, il est légitime de s'interroger sur la fiabilité du classement obtenu dans les tests d'évaluation. Nous avons donc comparé le comportement des populations entières et restreintes aux seuls hybrides (valeur intrinsèque) des quatre variétés.

Pour la vigueur, appréciée via les mesures de circonférence, la prise en compte des individus non hybrides pénalise particulièrement Halle 2 et, à un degré moindre, Maglehem qui sont constitués d'une faible proportion d'hybrides. A l'inverse, les performances de FH 201 et Esbeek évoluent peu lorsque l'on ne s'intéresse qu'aux hybrides car les espèces pures sont très minoritaires.



Dans le cas présent, les changements de classement sont de faible ampleur car les variétés caractérisées par un faible pourcentage d'hybrides ont des hybrides peu supérieurs aux espèces pures. Il en irait tout autrement si une variété était dotée à la fois d'un faible pourcentage d'hybrides et d'hybrides beaucoup plus vigoureux que les espèces pures. Ce cas n'est pas hypothétique car cette définition s'applique à la récolte 1992 du verger FP 237 (analysée à Brenod mais malheureusement pas à La Courtine).

En ce qui concerne la forme, en revanche, on n'observe pas de différences significatives entre hybrides et espèces pures. La hiérarchie reste donc inchangée, que l'on s'adresse aux populations entières ou aux seuls hybrides : FH 201 et Esbeek sont significativement plus droites que Maglehem, elle-même supérieure à Halle.



Symboles pleins : pop. entières
 Symboles vides : hybrides seuls

1.2.4.- Evolution du taux d'hybrides au fil des éclaircies

L'éclaircie de 2005 a été réalisée selon les modalités suivantes pour chaque parcelle unitaire (8 x 8 arbres) : i) élimination systématique d'une ligne sur 8 (cloisonnement) et ii) élimination d'un arbre sur trois dans les lignes restantes (en travaillant au profit des individus les mieux conformés et les plus vigoureux). En définitive, l'éclaircie a enlevé 37% à 43% des arbres vivants selon les variétés ; après éclaircie, il subsistait 52% à 56% des arbres plantés.

Dans ces conditions, le pourcentage d'hybrides s'est accru très modérément pour Halle et Maglehem et de façon plus nette pour FH 201 et Esbeek.

En l'absence de nouvelles éclaircies sur le terrain, nous avons cherché à définir la composition des placettes en simulant deux nouvelles éclaircies amenant successivement la densité à 600 tiges/ha (46 individus/parcelle unitaire) puis 400 tiges/ha (31 individus/p.u.). Ces calculs, basés sur la circonférence et la note de flexuosité du tronc 2010, sont fondés sur deux hypothèses :

- au sein de chaque variété, le classement des individus reste stable au cours du temps pour les deux caractères étudiés
- il n'existe pas de contrainte de répartition des arbres sur le terrain.

Variété	Taux d'hybrides					
	avant éclaircie 1 (1612/ha)	après éclaircie 1 (944/ha) (1)	après éclaircie 2 (600/ha)		après éclaircie 3 (400/ha)	
			objectif vigueur	objectif forme	objectif vigueur	objectif forme
Halle 2	12.1	15.3	19.6	13.0	22.6	12.9
Maglehem	38.0	40.6	43.5	41.3	58.1	45.2
FH 201	84.3	94.1	100	92.9	100	93.1
Esbeek	89.6	95.8	97.7	93.3	100	93.3

(1) Objectif vigueur + forme

Compte tenu des caractéristiques des hybrides et espèces pures des quatre variétés, la simulation d'éclaircies aboutit à des résultats attendus. Le peuplement s'enrichit en hybrides si on met l'accent sur la production de bois. En revanche, le taux d'hybrides évolue peu si l'on privilégie la forme, et ceci quelle que soit la variété. Les corrélations forme x vigueur étant faibles et non significatives dans toutes les variétés, une sélection intégrant ces deux

caractères se traduira par une augmentation de niveau intermédiaire, plus ou moins proche de l'un ou l'autre selon la pondération choisie.

On note cependant que le taux d'hybrides reste faible pour Halle et Maglehem, même en cas de sélection sur la vigueur (23% et 58% respectivement à l'issue de la 3^{ème} éclaircie), alors que les placettes FH 201 et Esbeek ne sont constituées que d'hybrides.

En définitive, l'impact du taux d'hybrides dans les MFR dépend de deux facteurs : la stratégie du propriétaire et la variété considérée.

- Un objectif "forme" s'accommodera en théorie de n'importe quel taux d'hybrides. Cependant, l'utilisation de MFR à faible pourcentage d'hybrides de FH 201 et Esbeek se traduirait par un gros sacrifice de production compte tenu de la médiocrité de la croissance des individus d'espèces pures. Mieux vaut dans ces conditions opter pour une provenance classique de mélèze d'Europe ou du Japon.

- Un objectif « production de bois » sera plus facilement atteint avec des MFR à forte proportion d'hybrides (sous réserve que leur supériorité se maintienne au cours du temps). Pour FH 201 et Esbeek, des MFR relativement "pauvres en hybrides" seraient toutefois acceptables dans la mesure où le différentiel de croissance entre hybrides et espèces pures est très fort. Les non hybrides seront quasiment tous éliminés à la 1^{ère} éclaircie, dont les produits n'ont généralement pas de valeur marchande (sauf si, à l'avenir, le développement de la filière bois-énergie permet leur valorisation). Mathématiquement, un pourcentage d'hybrides de 40-50% à la plantation serait suffisant mais il gagnerait à être supérieur pour tenir compte des contraintes de répartition sur le terrain.

2- Hybrides F2 : évaluation du verger à graines d'hybridation F1/F2 de Carnoët (INRA, L.E. Pâques)

Objectif

Evaluer les performances moyennes de la « variété » hybride F2 issue du verger de Carnoët et de ses composantes individuelles.

Réalisations 2011

35 descendances maternelles récoltées dans le verger ont été semées au printemps 2011 à la pépinière de l'INRA d'Orléans, avec deux autres témoins hybrides F2 : « variété » du verger des Barres (F1/F2) et du verger belge de Ciergnon (2 années de récolte). D'autres témoins hybrides F1 ainsi que de mélèze d'Europe et du Japon ont aussi été semés mais aucun plant n'a été obtenu (lots trop âgés).

Ce matériel (+/- 3637 plants) sera repiqué en 2012P à la pépinière administrative de Peyrat pour un an d'élevage. Il est prévu d'installer au moins un et si possible deux dispositifs en forêt printemps 2013.

IDENTIFICATION SPECIFIQUE PAR SPECTROMETRIE INFRA-ROUGE (INRA - J.P.Charpentier, K. Ader et L.E.Pâques)

L'identification des espèces dans le cadre de programmes d'amélioration par hybridation comme celui du mélèze est un aspect clé permettant de contrôler à différentes étapes la validité du processus de sélection-amélioration et la production en masse de matériel amélioré. C'est en particulier le cas lors de la production en masse de semences en verger d'hybridation à cause du décalage phénologique entre espèces.

Différentes méthodologies ont été proposées mais elles sont limitées soit par leur possibilité technique (isozymes) soit par leur coût (marqueurs ADN).

Dans ce projet, nous testons la possibilité d'utiliser la spectrométrie proche infrarouge (SPIR) pour identifier les 3 taxa de mélèze (mélèze d'Europe, du Japon et leurs hybrides) et nous mettons en œuvre cette technique sur aiguilles. D'autres tissus comme le bois peuvent aussi potentiellement convenir : des différences notables dans les teneurs en différentes molécules phénoliques (taxifoline et dihydrokaempferol) entre taxa ont été mises en évidence et, moyennant un modèle de calibration adéquat (en développement), il semble possible d'identifier les taxa à partir de leur bois.

L'option de travailler sur aiguilles permet d'envisager de caractériser les individus quel que soit leur âge, de manière non destructive (pour récupérer le bois) et avec un échantillonnage plus simple (pas de carottage) et avec des échantillons plus facilement mis en œuvre (broyage plus facile).

1- Matériel et méthodes

Pour cette étude, nous avons échantillonné :

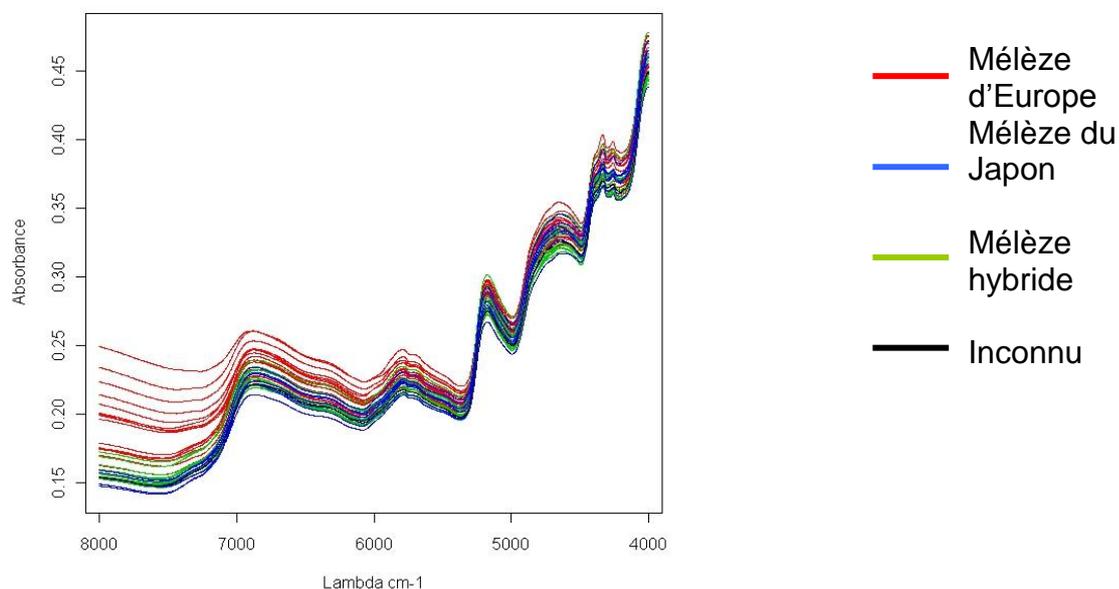
- 16 mélèzes d'Europe (nombre à 3 chiffres)
- 7 mélèzes du Japon (nombre à 4 chiffres)
- 13 mélèzes hybrides Europe/Japon (nombre à 5 chiffres)
- + 1 mélèze inconnu (perte d'identité lors du broyage)

Les feuilles de mélèzes ont été prélevées en pépinière à l'INRA d'Orléans en octobre 2010. Après prélèvement, les feuilles ont été lyophilisées puis broyées à l'aide du godet à bille. Les poudres ont ensuite été stockées dans des pots en plastique au dessiccateur en vue de l'analyse SPIR.

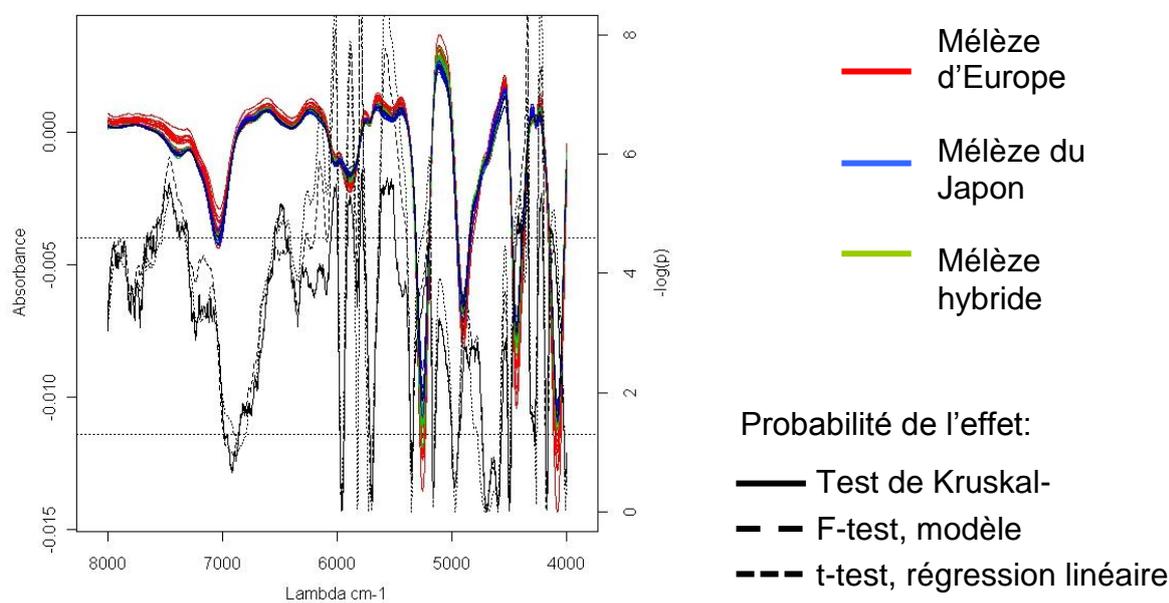
Nous avons réalisé 2 types d'analyses de la poudre :

- En vial de verre : analyse sur une petite quantité de poudre (environ 1 g). L'avantage est que la poudre peut être bien tassée ce qui permet d'avoir un spectre avec une faible ligne de base.
- En coupelle quartz : analyse sur une grande quantité de poudre (environ 15 g). La coupelle tourne sur axe rotatif ce qui permet de prendre des spectres sur l'ensemble de la coupelle. L'avantage du quartz par rapport au verre est qu'il absorbe moins le rayon IR ce qui interfère peu avec le spectre.

2- Résultats

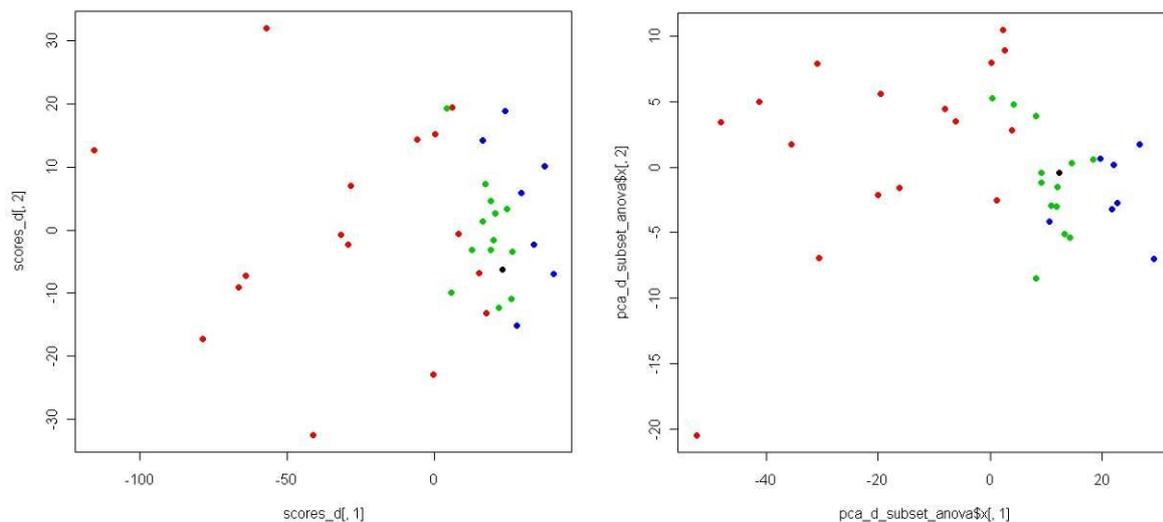


Spectres bruts découpés (8000-4000 cm-1)

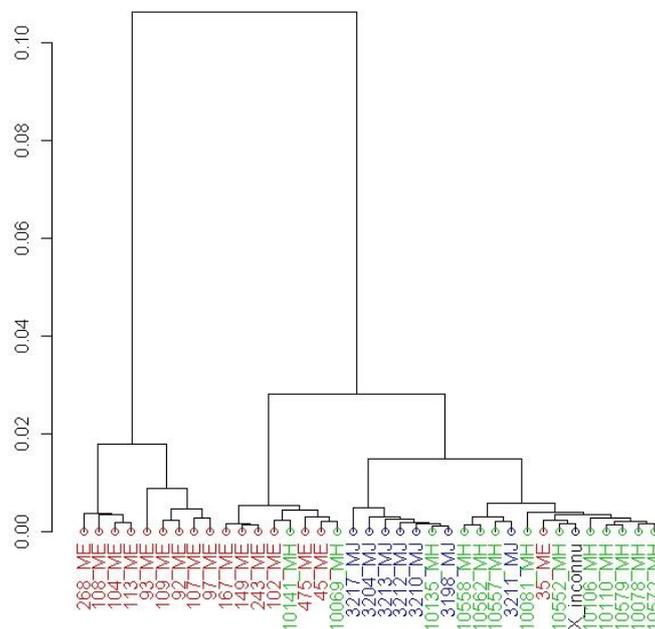


Spectres dérivés, découpés (8000-4000 cm-1) avec la représentation de la significativité de l'effet du génotype

Dans la zone 8000-4000 cm-1, des différences significatives entre génotypes sont mises en évidence.



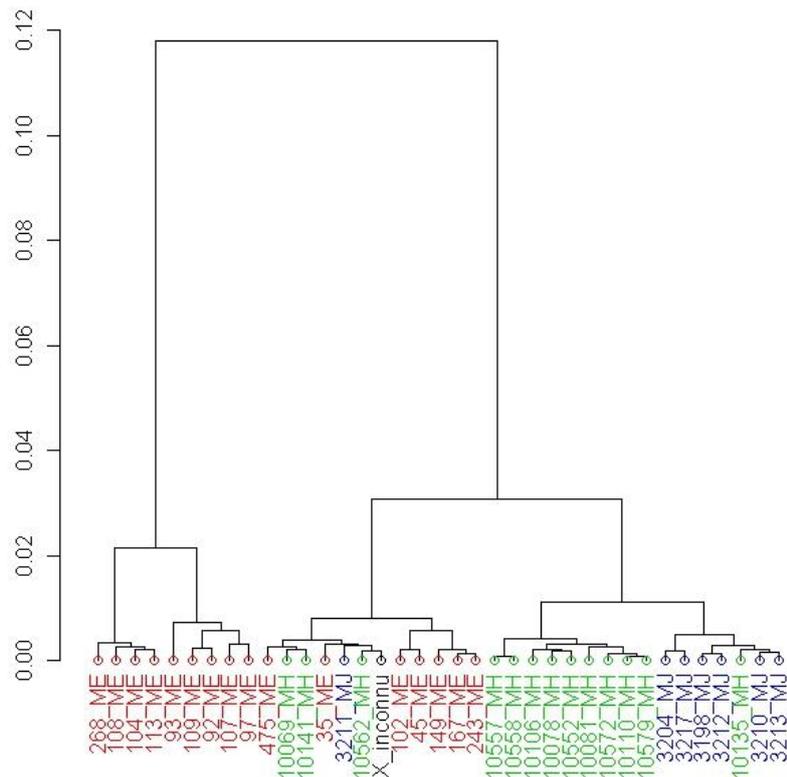
ACP (analyse par composantes principales) sur les données dérivées: projection des échantillons sur les 2 premiers axes, les échantillons sont colorés en fonction de leur origine : rouge : mélèze d'Europe / bleu : mélèze du Japon / vert : mélèze hybride/ noir : inconnu. (à gauche sur tout le spectre ; à droite, sur la gamme spectrale pour laquelle l'effet de l'origine est significatif dans le modèle ANOVA (seuil 5 % avec correction de Bonferroni)).



Matrice de distances estimée à partir d'un sous-échantillon des données spectrales dérivées correspondant à la gamme spectrale pour laquelle l'effet de l'origine est significatif dans le modèle ANOVA (seuil 5 % avec correction de Bonferroni). Classification avec la méthode de Ward.

Le dendrogramme ci-dessus montre un regroupement assez correct des individus en fonction de leur espèce d'appartenance (Europe : ME et Japon : MJ), à une exception près (ex. 35-ME). Les hybrides (MH) sont globalement plus proches des mélèzes du Japon.

Un dendrogramme similaire est fourni ci-dessous avec analyse non plus en vial de verre mais en coupelle quartz (moindre absorption du IR ce qui interfère peu avec le spectre).



Matrice de distances estimée à partir d'un sous-échantillon des données spectrales dérivées correspondant à la gamme spectrale pour laquelle l'effet de l'origine est significatif dans le modèle ANOVA (seuil 5 % avec correction de Bonferroni). Classification avec la méthode de Ward.

A nouveau les échantillons des 2 espèces sont bien regroupés y compris le clone 35-ME-sauf dans ce cas, l'échantillon japonais 3211-MJ.

Pour quelques clones hybrides, nous disposons aussi des clones parentaux : Exemples :

10562_MH = 35_ME x 3212_MJ ; proche de 35_ME

10135_MH = 108_ME x 3212_MJ ; proche de 3212_MJ

10106_MH et 10110_MH et 10572_MH = 35_ME x 3217_MJ ; intermédiaire

Une différenciation entre taxa au sein d'un croisement particulier semble a priori aussi possible.

Conclusions et perspectives

Ces premiers résultats sont encourageants au moins pour distinguer les 2 espèces parentes à partir de leur spectre en infrarouge sur aiguilles. Les hybrides apparaissent essentiellement intermédiaires et sont probablement plus difficiles à classer. La récolte tardive des aiguilles à un stade de sénescence bien avancée (octobre) n'est sans doute pas une situation idéale.

Nous prévoyons

- 1) d'élargir la gamme de clones pour chacun des 3 taxa et en particulier de disposer pour chaque hybride de ses parents respectifs,
- 2) de tester l'influence de la période de récolte des aiguilles (stade de maturation) en échantillonnant au moins à deux périodes (fin de printemps – fin d'été).
- 3) de tester la possibilité d'utiliser la spectrométrie moyen infrarouge plutôt que proche infrarouge.

PINS NOIRS

Analyse de la perte d'aiguilles hiver 2011/2012 dans le test Pins noirs « Verger intensif Les Barres »

1- Les valeurs de taux de défeuillaison

Les pertes d'aiguilles, observées en fin de saison de végétation 2011 ont fait l'objet d'une évaluation exhaustive en fin d'année 2011. Un taux de défeuillaison globale a été attribué à chaque individu. Ces défeuillaisons, assez massives pour certains arbres, concernent principalement la parcelle unitaire « TREV » qui est un pin laricio de Calabre « Trentacoste » fourni par Vilmorin. Les trois autres PU de la même origine, dont deux fournies par l'ONF, ne sont que peu touchées, il s'agirait donc plus certainement d'un effet stationnel que d'un effet lié aux origines ou groupes d'origines des plants.

Modalité	Bloc	Nb arbres	Tx Defeuill
Barr	1	26	0%
Bess	1	27	0%
Guil	1	26	0%
Htsv	1	26	2%
Kust	1	26	8%
Marm	1	27	6%
Mend	1	26	1%
Mont	1	25	4%
Orlé	1	15	6%
Sive	1	26	1%
Treo	1	26	6%
Trev	1	27	1%
Vayr	1	24	2%
Vezz	1	25	3%
Vill	1	26	3%
Barr	2	26	0%
Bess	2	26	0%
Guil	2	27	7%
Htsv	2	26	2%
Kust	2	24	9%
Marm	2	26	1%
Mend	2	27	7%
Mont	2	27	1%
Orlé	2	19	23%
Sive	2	26	15%
Treo	2	27	9%
Trev	2	26	61%
Vayr	2	26	1%
Vezz	2	27	0%
Vill	2	26	1%

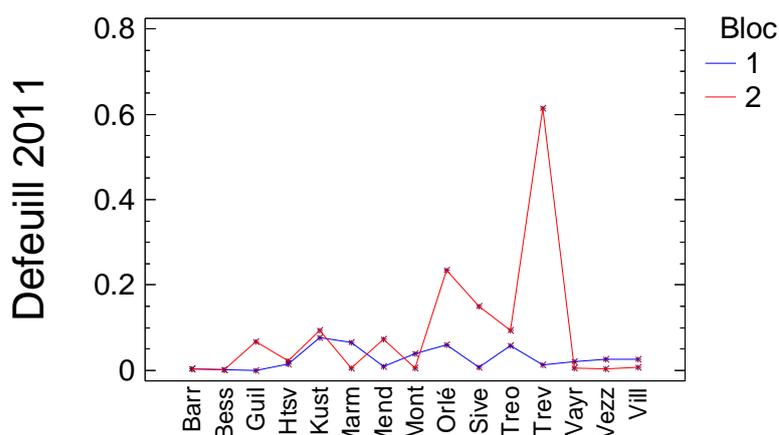
2 Analyse de variance du taux de défeuillaison avec facteurs modalité (15 origines) et bloc (2)

Analyse de variance pour Defeuill 2011 - Somme des carrés de type III

Source	Somme des carrés	Ddl	Carré moyen	F	Proba.
EFFETS PRINCIPAUX					
A:Modalité	4.61771	14	0.329837	14.00	0.0000
B:Bloc	0.770813	1	0.770813	32.71	0.0000
INTERACTIONS					
AB	4.76651	14	0.340465	14.45	0.0000
RESIDU	17.2977	734	0.0235663		
TOTAL (CORRIGE)	27.338	763			

Tous les F sont basés sur l'erreur résiduelle quadratique moyenne.

Graphiques des interactions



Les résultats présentés ci-dessus mettent en évidence un effet bloc très important, les défeuillaisons observées sont probablement la conséquence conjuguée de l'éclaircie systématique d'une ligne sur deux qui a été réalisée un an plus tôt et d'effets stationnels dans le bloc N°2. Bloc 2 au sud du dispositif dans lequel ont été observés des signes d'hydromorphie due à la présence d'un horizon argileux à 40/50 cm de profondeur. Cette hypothèse de sensibilité à l'hydromorphie est toutefois contraire au caractère rustique du pin laricio de Calabre qui est doté d'une certaine résistance à l'hydromorphie. Par ailleurs on notera la défeuillaison moyenne de 23% de la PU Orléans en bloc 2, cette PU a toujours eu un taux de mortalité, et aujourd'hui de défeuillaison, supérieurs à ceux observés en bloc 1.

3 Recherche de corrélations entre les différentes notes d'index de végétation et taux de défeuillaison observés à l'automne 2011.

Analyse de régression multiple

 Variable à expliquer: Tx_Defeuill

Paramètre	Estimation	Erreur type	T	Proba.
CONSTANTE	0.299445	10.187	0.0293948	0.9768
Classe NDVI	-0.130902	0.164076	-0.797812	0.4328
GI	5.45237	24.3363	0.224043	0.8246
GNDVI	-4.59945	10.6941	-0.430091	0.6710
NDVI	6.26713	12.7548	0.491353	0.6276
PRI	1.95966	2.1706	0.90282	0.3756

Aucun des paramètres index de végétation Greenness Index (GI), Green NDVI, NDVI ou Photosynthetic Index (PRI) observés en 2009 ne sont corrélés au taux de défeuillaison observé dans les différentes parcelles unitaires, de même aucune liaison avec la note moyenne « Classe NDVI » issue des travaux de classification par clusters sous Arc Gis. Les observations faites en 2009 par télédétection sur PU complètes ne permettaient donc pas de prévoir la défeuillaison observée deux ans après et à la suite d'une éclaircie.

PIN SYLVESTRE

Evaluation des composants des vergers Taborz et Haguenau (INRA)

Les mesures ont été effectuées comme prévu dans deux tests d'Orléans (automne 2011), deux tests d'Haguenau mais également dans le 3^{ème} et dernier test d'Orléans (janvier 2012). Elles concernent :

- Orléans et Haguenau : la hauteur totale, la circonférence, la forme (nombre de verticilles comportant une fourche ou une ramicorne)
- Orléans : accroissements en hauteur 2010 et 2011.

Les données de chaque test ont été analysées mais la synthèse multi-site n'a pu être terminée à temps pour être intégrée dans ce rapport d'activité.

Préparation de nouveaux tests d'évaluation (Irstea)

Aucune donnée n'a été recueillie sur la floraison/fructification des vergers Taborz et Haguenau (novembre – décembre 2011). Ces observations ont été ré-intégrées dans le programme de travail 2012.

Le calendrier prévisionnel de mise en place d'un réseau de tests d'évaluation, qui devait être réalisé conjointement par l'INRA et Irstea, n'a pu être défini faute de temps. Il est reporté à 2012. Néanmoins, les deux instituts ont commencé à préparer les dossiers d'homologation qui seront présentés au CTPS, section "arbres forestiers". Ils intégreront les résultats des mesures effectuées par l'INRA dans les tests de descendances implantés en Alsace, région Centre et Normandie.

MERISIER

INSTALLATION DE TESTS D'EVALUATION DES VARIETES

L'objectif de cette action est de comparer dans des conditions pédo-climatiques variées les MFR présents sur le marché ou disponibles à court terme : vergers à graines français ou étranger, cultivars homologués et des peuplements classés français.

Prétraitement d'une partie des graines des vergers, semis et élevage des plants.

Un tiers des lots de graines des vergers à graines Avessac et Cabrerets récoltés en 2010 a été placé en prétraitement de levée de dormance à l'INRA d'Orléans, pour une mise en culture courant 2011. Pour chaque composant, les trois descendances (correspondant à trois ramets) ont été choisies de façon à ce que les trois ramets sur lesquels elles ont été récoltées soient bien répartis à l'intérieur du verger à graines, afin que le nuage pollinique global par année soit homogène. Le prétraitement a été effectué de décembre 2010 à juin 2011, le semis a été effectué aux pépinières Lemonnier en juillet 2011 par les personnels de l'INRA et de la pépinière, et les plants ont été étiquetés en janvier 2012 par le personnel INRA (tableau 1). Pour certains composants, peu de plants ont été obtenus : les deux triploïdes d'Avessac, mais aussi les composants 294, 140 et 267. Les plants n'étaient pas très grands, aussi a-t-il été décidé que l'essentiel des plantations seraient faites plutôt fin 2012 avec ce matériel.

Verger à Graines d'Avessac - diploïdes				Verger à Graines d'Avessac - diploïdes				Verger à Graines de Cabrerets				
Composant	Nb pots semés	Nb plants étiquetés	Total par composant	Composant	Nb pots semés	Nb plants étiquetés	Total par composant	Composant	Nb pots semés	Nb plants étiquetés	Total par composant	
119	45	38	122	311	75	41	67	140	105	2	3	
	45	28			75	9			105	1		
	60	56			75	17			105	0		
125	60	54	153	326	75	47	122	157	60	44	142	
	60	45			75	37			60	51		
	75	54			75	38			75	47		
153	60	38	56	327	105	78	166	182	105	19	63	
	60	8			90	33			105	11		
	90	10			90	55			105	33		
184	90	25	106	333	90	47	140	205	105	8	66	
	90	35			105	61			105	2		
	90	46			75	32			105	56		
196	60	22	41	334	90	36	111	230	135	24	51	
	75	13			60	26			105	19		
	75	6			60	49			120	8		
212	45	36	73	351	60	50	139	247	90	5	31	
	45	7			60	43			45	9		
	45	30			60	46			90	17		
246	90	8	38	383	90	55	112	253	60	44	143	
	60	18			90	52			90	54		
	60	12			90	5			75	45		
249	60	23	55	406	60	54	132	267	105	2	5	
	45	17			60	34			105	1		
	45	15			60	44			90	2		
288	75	45	169	438	75	49	134	Verger à Graines d'Avessac - triploïdes				
	75	53			60	45			120	2		
	90	71			60	40			195	1		
294	30	6	14						300	8		
	45	7					15	0		195	0	
	30	1					195	0		135	1	12
296	45	18	44						15	0		
	45	18					60	3		105	4	
	60	8					15	0		285	2	
308	75	27	89						75	2		
	60	39					150	3		75	4	
	60	23					45	2		45	2	20

Tableau 1 : Nombre de plants obtenus début 2012 à partir des semis individualisés de lots de graines de ramets de composants des vergers à graines de merisier de Cabrerets et Avessac.

Elevage des cultivars

Les pépinières Lemonnier n'ont pu multiplier les cultivars de merisier cette année, car les différents changements effectués dans la pépinière (chef de culture, direction, nouveaux matériels) ont amené un retard tel que la campagne de multiplication a été annulée. Cette tâche est donc reportée d'une année (la mise en forçage des pieds-mères est faite).

Conséquence : seulement 200 plants de merisier témoin Gardeline ont pu être étiquetés avant l'hiver, pour servir dans les dispositifs de sélection participative, ce qui a réduit les possibilités de plantation pour l'hiver 2011-2012.

Etablissement des protocoles de plantation en système participatif

Les protocoles qui avaient été mis au point pour les premières plantations exploratoires de 2010-2011 ont été mis en ligne dans un site spécifique : <https://www.inra.fr/selection-participative-arbres>. Au cours de la saison 2011-2012, ils se sont révélés insuffisants, aussi d'autres modèles ont été proposés, après discussion avec les planteurs : des lignes systématiques de témoins, une dispersion au hasard des témoins, l'utilisation de témoins potentiellement pour d'autres espèces (figure 1). Des fiches de traçabilité ont été mises au point.

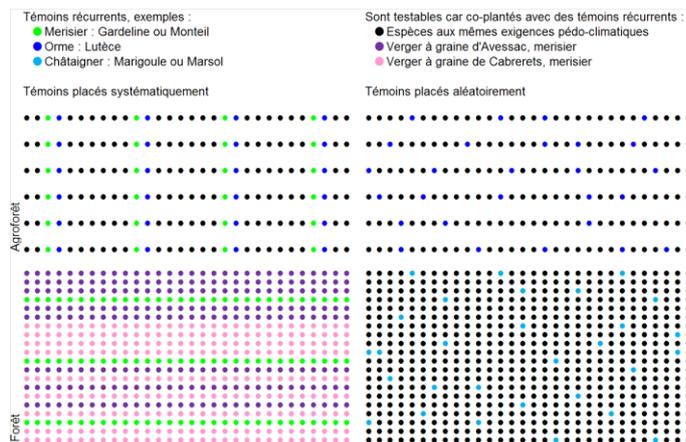


Figure 1 : quelques exemples de protocoles de plantation sous système participatif.

Plantations d'évaluation de variétés

Les plantations 2011-2012 ont été réalisées à partir du matériel végétal en culture aux pépinières Lemonnier : avec des descendance individualisées du verger à graines d'Avessac (une plantation agroforestière, figure 2) et les descendance globales du verger à graines de Cabrerets ou de provenance (une plantation agroforestière et une plantation forestière). D'autre part, des plantations permettant un test systématique des espèces plantées grâce aux témoins dispersés ont été réalisées (une plantation forestière, une plantation agroforestière). Ces plantations ainsi que celles établies l'hiver précédent seront systématiquement visitées au cours de l'année 2012, à fin d'évaluation et de prospective (contrats EFPA « projet innovant », Fondation de France « Agroforesterie »).

Les plantations sont limitées cet hiver (peu de témoins), mais des contacts ont déjà été établis pour des plantations l'hiver suivant. En particulier, un partenariat est en cours d'établissement avec l'ONF pour les plantations en forêts soumises.



Figure 2 : plantation agroforestière comportant deux descendances du verger à graines d'Avessac, et des témoins récurrents Gardeline (merisier) et Lutèce (orme).

FRENE

Mesure du dispositif INRA de comparaison de provenances de Paulhiac

Comme prévu dans la convention, le dispositif INRA frêne de Paulhiac (Tarn et Garonne, 24 provenances) a été mesuré en hauteur entre le 6 et le 8 Février 2012 (2529 plants mesurés). Les résultats bruts de ces mesures sont les suivants:

- Le taux de reprise est proche de 100% (4 plants morts sur l'ensemble de la plantation).
- La hauteur moyenne à 4 ans depuis la plantation est de 172 cm. La croissance initiale est donc lente. Cependant l'examen des moyennes par bloc (21 blocs) montre que la parcelle présente une forte hétérogénéité. En effet, les hauteurs moyennes par bloc varient de 126 cm pour le bloc le moins "poussant" à 232 cm pour le bloc qui a la meilleure croissance. Les différences entre hauteurs moyennes par provenances sont notables mais nettement moins fortes puisque elles varient de 143 cm pour la provenance la Romagne à 198 cm pour la provenance Huttenheim.

Compte tenu du démarrage lent de la plantation il paraît très hasardeux d'interpréter dès maintenant ces différences entre provenances qui peuvent être en partie un "héritage" des différences de croissance en pépinière. Des résultats beaucoup plus fiables seront disponibles dans quelques années (en 2014 par exemple lorsque la plantation aura 7 ans). En effet, on pourra à ce moment là, raisonner sur les accroissements en hauteur et non sur la hauteur totale. La mesure effectuée en février 2012 est donc essentiellement une mesure de "calage".

Il est à noter qu'aucun dégât dû à *Chalara* n'a pu être observé, ce qui est logique compte tenu de la situation méridionale de cette plantation par rapport à la progression de la maladie observée en France par le DSF. Cependant, les symptômes de la maladie sont difficiles à voir en conditions hivernales.

Des mesures avaient été prévues au cours de la même semaine sur le dispositif de Saint Salvi de Carcaves (Tarn). Malheureusement les conditions hivernales marquées par un enneigement assez fort et des conditions de circulation difficiles, nous ont contraints à reporter ces mesures à l'automne 2012.

TELEDETECTION (Irstea, P. Baldet)

LE PROCESSUS DE CLASSIFICATION D'IMAGES

1- Principe et objectifs

La classification ou segmentation d'image est une opération de traitement d'images, elle a pour but d'agréger des pixels en fonction de critères pré-définis afin de définir des régions homogènes pouvant être identifiées et traitées individuellement, chaque région définie est ainsi nommée objet.

Des pixels sont ainsi regroupés en régions logiques et constituent in fine une partition de l'image. Il peut s'agir par exemple de séparer des objets par rapport à un fond, cela sera en particulier le cas dans la tentative de séparation des houppiers d'arbres par rapport au sol de la parcelle qui les contient. Dans le cas particulier de seulement deux classes de pixels résultant de la segmentation cette opération est appelée binarisation.

2- Les grands modèles de classification ou « segmentation »

La segmentation fait appel à des algorithmes complexes qui demeurent encore en permanente évolution ; il s'agit d'une étape importante du traitement d'images. Globalement on peut regrouper les très nombreuses méthodes de segmentation en trois groupes majeurs :

- la segmentation reposant sur la notion de région, nommée en anglais « region based segmentation » qui permet de regrouper des pixels semblables ou de vraisemblance maximale en une région homogène

Ci-dessous un exemple de segmentation « idéale » en reconnaissance de deux régions homogènes :

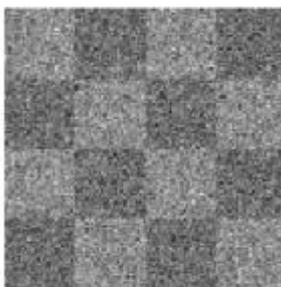


Image bruitée

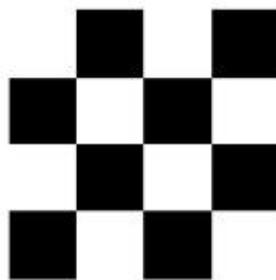
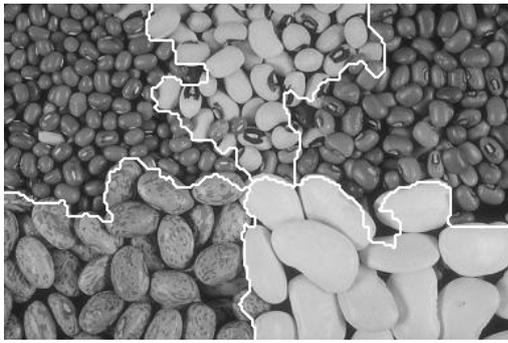
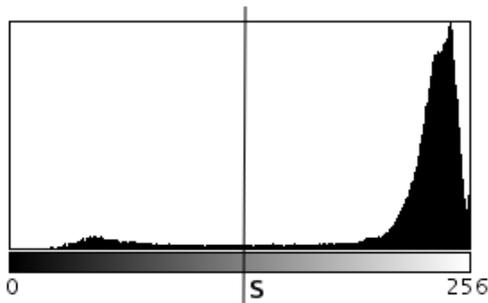


Image segmentée idéale

- la segmentation basée sur l'analyse et la recherche des contours, « edge based segmentation » en anglais qui recherche au contraire les pixels dissemblables et définit alors des contours entre des régions définies comme homogènes



- la segmentation fondée sur la classification des pixels en fonction de leur intensité également appelé seuillage (en anglais : classification ou thresholding). Le principe consiste à déterminer des seuils à partir de l'histogramme de distribution des différents pixels d'une image ou d'une région. Cela permet ensuite d'affecter chaque pixel présenté par exemple en niveaux de gris à une classe déterminée. Chaque classe correspond à un intervalle de niveaux de gris, ci-dessous exemple avec un seul seuil « S » utilisé dans le cas particulier de la séparation de l'écriture noire et du fond papier.



La segmentation ou classification est d'autant plus efficace que l'histogramme de répartition présente des seuils naturels comme présenté dans le document ci-dessous.

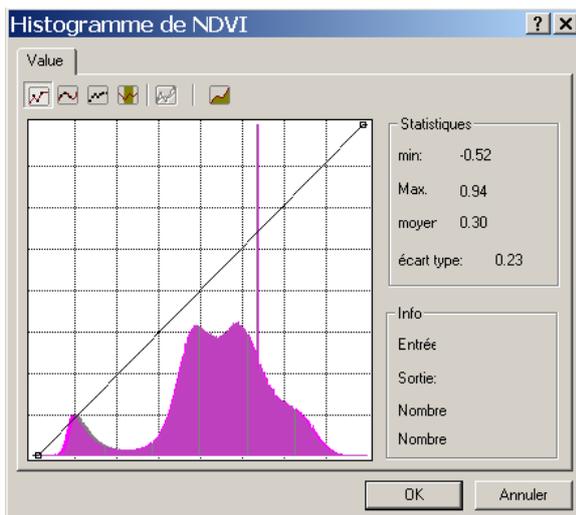


Figure 1 : Exemple d'histogramme de répartition des valeurs de raster index NDVI (pins noirs)

LES ESSAIS DE CLASSIFICATION

1- Préambule

Les différents essais de classification réalisés dans le cadre de cette étude reposent tous sur la classification par vraisemblance maximale. Ce sont les fonctionnalités d'analyses spatiales multi variées de la suite logicielle Arc Gis, version 9.3 qui ont été utilisées pour ces tâches d'étude du potentiel de la segmentation d'images des dispositifs forestiers d'évaluation de variétés ou de provenances.

Les clichés utilisés sont les produits de la campagne de prises de vues d'août 2009. Ce sont les spectres rouge, vert, bleu PIR et Red Edge qui ont été utilisés seuls, combinés ou recalculés sous forme d'index de végétation. L'infrarouge thermique n'a pas été évalué pour les tentatives de segmentation en raison de sa moindre définition (1 pixel = 50 à 60 cm) contre 5 cm par pixel pour l'ensemble des autres canaux. Les transformations de données telles que la conversion en luminance, le gain appliqué au spectre rouge, le découpage des rasters sur aires d'intérêt, la création de fichiers d'attribution d'identités modalités ou blocs relèvent des mêmes procédures que celles présentées et décrites dans le compte rendu « Evaluation et homologation des variétés issues des vergers à graines de l'Etat 2011 », pages 6 à 12 de la partie télédétection.

2- Essais de classification par vraisemblance maximale (region based classification)

La classification de vraisemblance maximale requiert la création préalable d'un fichier de signatures qui donne en quelque sorte le « patron » selon lequel la classification sera réalisée. La nature même de ce patron ou fichier de signature définit le type de classification qui peut être assistée ou non supervisée.

- Dans le cas d'une classification assistée, on procède à un échantillonnage préalable des entités. Techniquement le fichier de signature est alors établi par l'analyse conjointe d'un fichier de formes « shape » et d'un raster. Cette procédure est possible et intéressante si il est possible d'identifier à vue une nature particulière de couvert telle que conifères, huppriers de merisier au sein de la zone d'étude alors celles-ci sont identifiées en les délimitant manuellement sur un raster. Ce travail préparatoire est construit à l'aide de plusieurs polygones de délimitation de zones homogènes identifiées afin d'intégrer la variabilité supposée d'une même entité sur l'aire d'étude. En plus du couvert que l'on souhaite qualifier en particulier, d'autres polygones seront aussi créés pour représenter le sol nu ou des parties de prairie. Ce processus sera poursuivi sur autant de classes supposées et que l'on souhaite classifier et ce jusqu'à disposer de suffisamment de répétitions pour bien représenter une classe. Les classes de données seront ensuite identifiées dans la table attributaire du fichier de formes « shape file » afférent. Toutes les entités (pixels) appartenant à un même polygone sont dans cette procédure identifiés comme une classe, le (ou les) polygone(s) qui englobe(nt) la classe comme un échantillon d'apprentissage. Une fois tous les échantillons d'apprentissage identifiés dans la table attributaire du fichier formes, les statistiques multi variées sont appliquées pour établir les relations au sein des classes et entre elles. Les statistiques qui en résultent sont ensuite stockées dans un fichier de signatures qui définit alors le « patron » de traitement assisté des rasters qui seront analysés par la suite.

- Dans le cas d'une classification non supervisée (non assistée), elle est choisie lorsque l'on ne peut ou ne souhaite pas à priori identifier quelles entités appartiennent ou pas à une

classe, on souhaite toutefois que l'ensemble des données soit agrégé en un nombre limité de classes ou agrégats afin de permettre une interprétation aisée du résultat. Ce sont alors les statistiques multi variées issues de l'analyse de l'ensemble des valeurs de la couche d'analyse (raster) qui vont déterminer la classe ou l'agrégat auquel chaque pixel sera attribué. Chaque agrégat est statistiquement séparé des autres agrégats en fonction des valeurs de chaque canal de chaque cellule contenue dans les agrégats. Les statistiques qui définissent ainsi la notion de classe ou agrégat sont stockées dans un fichier de signatures. Dans la présente étude nous avons testé deux types de fichiers de signatures de classification non supervisée :

- Les fichiers de signatures produits par l'outil « Cluster Iso Data » dont le préfixe **iso** de l'algorithme d'agrégation iso data signifie "Iterative Self Organizing" (auto-organisation itérative). Cet outil utilise une optimisation itérative modifiée, également appelée migration de moyennes. L'algorithme attribue tous les échantillons à des centres d'agrégation existants et recalcule les moyennes de chaque classe en fonction du nombre de classes spécifié par l'utilisateur, plusieurs canaux en entrée peuvent être traités simultanément. Le nombre optimal de classes ne peut être défini que par des essais successifs d'agrégation, il convient donc de choisir en phase initiale un nombre élevé de classes et de relancer si nécessaire la fonction avec un nombre décroissant de classes.
- Les fichiers de signatures créés par l'outil « Créer des fichiers de signatures » qui préside également à une classification non assistée des données des rasters. Ce processus n'est pas itératif, il repose essentiellement sur des données statistiques telles que le nombre de pixels dans chaque classe, les moyennes et les matrices de covariance. Ce type de fichier de signatures peut, comme dans le cas de la procédure Cluster Iso Data, être établi sur plusieurs couches de données.

La classification se déroule en quatre étapes :

1. Création et analyse des données en entrée.
2. Génération de signatures pour l'analyse des classes et des agrégats.
3. Évaluation et, si nécessaire, mise à jour des classes et des agrégats.
4. Réalisation de la classification.

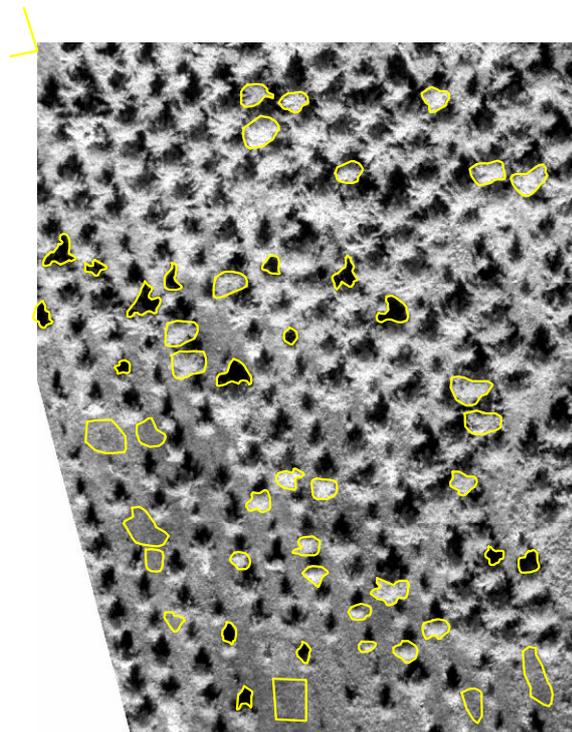


Figure 2 : Fichier de formes désignant des aires clairement identifiables à vue et codées « houppier, prairie, ombres etc... », fichier de forme utilisé dans le processus de classification assistée (verger Mélèze hybride F2, couche PIR).

LES DISPOSITIFS DE TERRAIN

Cette première étude sur la classification des images porte sur un total de quatre dispositifs de terrain situés sur le domaine des Barres:

- Un essai de comparaison de 15 origines différentes de pins noirs, enclos vergers intensifs
- Un dispositif de comparaison de variétés de pins laricios de Corse et de Calabre situé dans l'enclos des pins
- Un verger expérimental de merisier, enclos vergers intensifs
- Le verger de mélèze hybride F1 situé au lieu dit Champ de la ronce

Une description synthétique de ces différents sites est donnée ci-dessous, pour de plus amples informations se reporter au compte rendu 2011, pages 4 à 6, de la même convention d'évaluation des variétés forestières, partie télédétection.

1- Essai 15 origines de pins noirs

Il s'agit d'un essai à vocation principale de démonstration des différences phénotypiques de 15 provenances et races géographiques de pins noirs est constitué de 15 placettes répétées deux fois. A noter la présence des deux origines « Montargis » et « Orléans » réputés être des pins laricios de Corse et dont les plants se sont révélés en pépinière plutôt typés « Calabre ». Un des enjeux de cette étude consistait également à aider à déterminer à quel groupe pouvaient se rattacher ces deux origines.

ID du lot de graines	Ssp.	Origine	Code provenance	Aiguilles frisées? (semis)
45366 00	Nigricans austriaca	Bulgarie Kustendil	KUST	Non
99-0213	Nigricans austriaca	Mende	MEND	Non
INRA Pierroton	Nigricans italica	Villetta Barrea	VILL	Non
99-0174	Salzmanni	St Guilhem le désert	GUIL	Un peu
46195 00	Salzmanni	Bességes Gard	BESS	Non
91-0537 ONF	Calabrica	Trentacoste	TREO	Non
99-0209 ONF	Calabrica	Les Barres Sivens VG	SIVE	Très peu
45380 00 Vilmorin	Calabrica	Tentacoste N° 123	TREV	Non
Réc. 2002 Cemagref	Calabrica	Les Barres VG (verger radié)	BARR	Variable
ONF	Corsicana ??	Forêt de Montargis	MONT	Non
ONF	Corsicana ??	Forêt d'Orléans	ORLE	-
45391 00	Corsicana	01 Corse Haute Serre VG	HTSV	Oui
INRA Pierroton	Corsicana	Marmano 3	MARM	Oui
VG 202 et 204 associés	Corsicana	02 Corse Centre Vayrières	VAYR	Oui
INRA Pierroton	Corsicana	Vezzani	VEZZ	Oui

Figure 3 : Composition de l'essai « 15 origines de pins noirs »

2- Le dispositif agronomique « Enclos des Pins »

Cet essai est destiné à l'évaluation agronomique des variétés forestières améliorées produites dans les vergers à graines de l'État. Ce dispositif est structuré en deux parties distinctes avec une zone de démonstration constituée de deux blocs de placeaux de 32 plants pour chaque provenance et une partie d'évaluation en PU mono-arbre répétées 131 fois.

Composition	Nb. plants pour la partie évaluation	Nb. plant dans la démonstration (2 blocs)	Origines
211	131	64	Corse origine « Corse ». Verger Hte Serre 211 (récolte 2001/2002)
202	131	64	Corse origine « Centre ». Verger de Lavercantière 202
204	131	64	Corse origine « Centre ». Verger de Lavercantière 204
SIVE	131	64	Calabre. Verger 250 Les Barres Sivens
BOUT	131	64	Calabre. Verger Inra Les Barres Bout
TRENT	131	64	Calabre. Italie peuplement massif forestier de Trentacoste (témoin)
Total	786	384	

Figure 4 : Composition de l'essai agronomique pins noirs « enclos des pins »

3- Le dispositif merisiers

Cette reproduction en miniature du verger de merisiers de Cabrerets dans le Lot avait pour vocation le suivi de la phénologie florale de 20 clones issus des travaux d'amélioration de l'INRA, il est composé de 68 ramets.

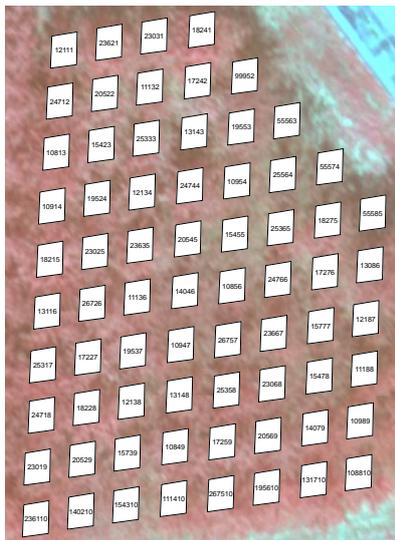


Figure 5 : Verger de merisier avec identification des ramets

4- Le verger de mélèzes hybrides

Ce verger, d'une surface de 1.6 ha est destiné à la production de graines hybrides F2 de mélèze. Il a été planté en 1993, il comptait alors 446 ramets greffés plantés à 6m X 6m et représentant 28 clones demi frères issus du clone mère européen V44DK. Les prises de vues de 2009 ont donc été réalisées sur ce verger alors âgé de 16 ans pour les ramets les plus vieux et de 9 ans pour les derniers regarnis. Ce verger est composé de 17 blocs dont 3 blocs incomplets. Les analyses réalisées dans cette étude n'ont pas intégré le facteur bloc.

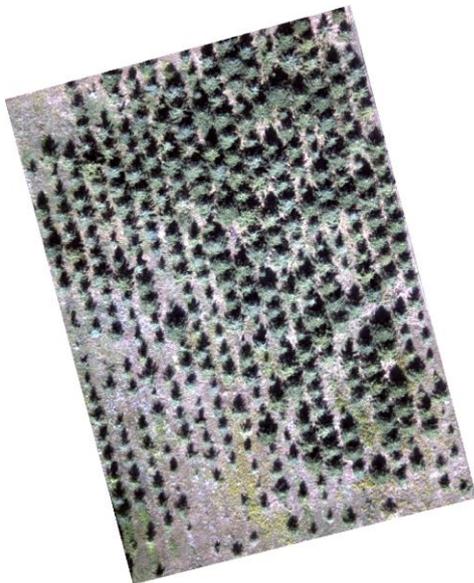


Figure 6 : Vue générale du verger, image composition Rouge/Vert/Bleu

RESULTATS

L'ensemble des résultats présentés ci-dessous ne constitue pas un travail définitif, il illustre un état d'avancement dans l'apprentissage et la mise en œuvre du processus très complexe de classification des images. Les essais de terrain ont été globalement traités successivement dans l'ordre de présentation, ils illustrent donc en plus de leur spécificité différents degrés d'amélioration progressive du processus de traitement. La maîtrise des fonctionnalités de classification nécessite une bonne capitalisation d'expériences, en effet, la classification d'une image repose sur un nombre important d'hypothèses et d'inconnues de départ :

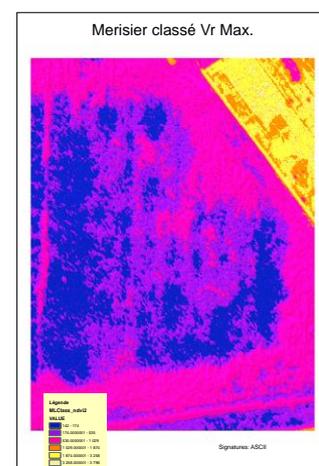
- quelle couche ou raster sera le plus pertinent pour créer un fichier de signatures ou appliquer un fichier de formes pour une classification assistée. Nous disposons en effet de cinq couches spectrales et avons calculé au moins trois index de végétation différents pour chaque site. Les couches peuvent également être traitées individuellement ou ensemble pour la création de fichiers de signatures. Il en résulte un très grand nombre de combinaisons possibles.
- sur quelle couche de données sera réalisé le travail de classification, l'examen des histogrammes de distributions des valeurs peut aider à ce choix.
- mise en œuvre d'une classification assistée ou non assistée.

Le travail rapporté ici est donc destiné à se poursuivre afin de trouver pour chaque type de site les meilleures combinaisons d'analyse, il nous a toutefois permis de mieux appréhender les différentes fonctionnalités de l'outil Arc Gis et d'affiner les techniques de préparation des images en vue de leur traitement de classification.

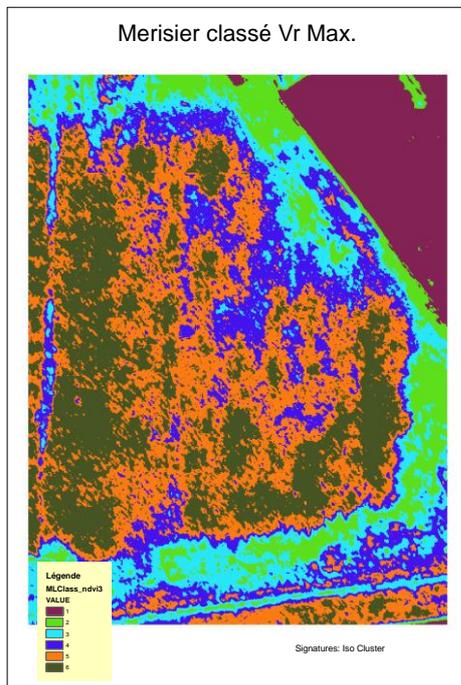
1- Verger de merisier « serre »

Dans ce verger les houppiers sont contigus et il n'a pas été possible en conséquence de les individualiser sur le plan graphique. Les différents essais de classification présentés ont été réalisés en mode non assisté et se limitent donc à une analyse globale de ce verger en définissant des aires de nature comparable comme la prairie, la couverture de la serre voisine ou les houppiers des merisiers. Une étude de classification est beaucoup plus intéressante lorsque les houppiers des arbres observés ne sont pas contigus et peuvent ainsi faire l'objet d'une classification assistée grâce à un fichier de formes qui prédéfinit les différentes catégories de couvert. Nous avons tout de même testé les fonctions de classification sur cet essai car nous ne disposons pas d'autres clichés présentant des feuillus et pouvant être assimilés à un essai d'évaluation de variétés issues des vergers à graines.

Essai 1 : Classification de vraisemblance avec fichier de signatures ASCII (class. non assistée) sur couche index NDVI, figure ci-contre. Dans ce premier essai, les classes ne sont pas très bien définies, on aperçoit en particulier le périmètre de la serre qui comporte au moins quatre classes de pixels pour définir une aire que l'on aurait souhaité appartenir à une même et seule classe. Ce premier choix de classification non assistée par fichier de signature classique n'apporte que très peu d'amélioration par rapport à un raster non classé.



Essai 2 : Classification de vraisemblance maximale avec fichier de signatures de type Iso Data Cluster, classement réalisé en mode non assisté sur 6 classes à partir du seul raster index NDVI.



Classe	Nb Pixels	Taux	Nature
1	66726	10%	Serre
2	59184	9%	Prairie sèche
3	94664	14%	Prairie inter.
4	124929	18%	Prairie verte
5	182621	26%	Merisiers
6	163064	24%	Merisiers ++

Figure 7 : Représentation graphique de la classification non assistée en 6 classes et table attributive du nombre de pixels dans chaque classe

Les différentes classes ci-dessus ont été affectées à une nature de couvert par observation des différentes couches disponibles, il s'agit donc d'une appréciation et non d'une mesure.

Le couvert total des huppiers de merisiers, ou aires assimilées, est donc estimé par cette opération de classification à 50% de l'emprise totale du cliché. On notera toutefois qu'une part de ligne de douglas située à l'ouest ainsi que la pelouse au sud sont comptabilisées comme couvert « merisier » en raison de leurs valeurs d'index NDVI comparables. Ces erreurs démontrent le grand intérêt à découper préalablement et strictement la zone d'étude afin de concentrer les calculs sur les seules données d'intérêt.

2- Dispositif pins noirs 15 origines

Essai de classification sur fichier de signature Iso data cluster à partir du raster index de végétation NDVI. Pour cet essai nous disposons de plusieurs fichiers de formes identifiant les 30 parcelles unitaires, les 15 modalités et leurs deux répétitions ainsi qu'un maillage « points » autorisant l'extraction des données numériques de n'importe quel raster ou couche de données. Nous avons pu en conséquence procéder à une extraction des valeurs numériques de classification attribuées à chaque point, chaque valeur de point résulte de l'intégration des valeurs de 9 pixels (1 point tous les trois pixels dans les 2 axes).

Classification NDVI Pins noirs 15 origines

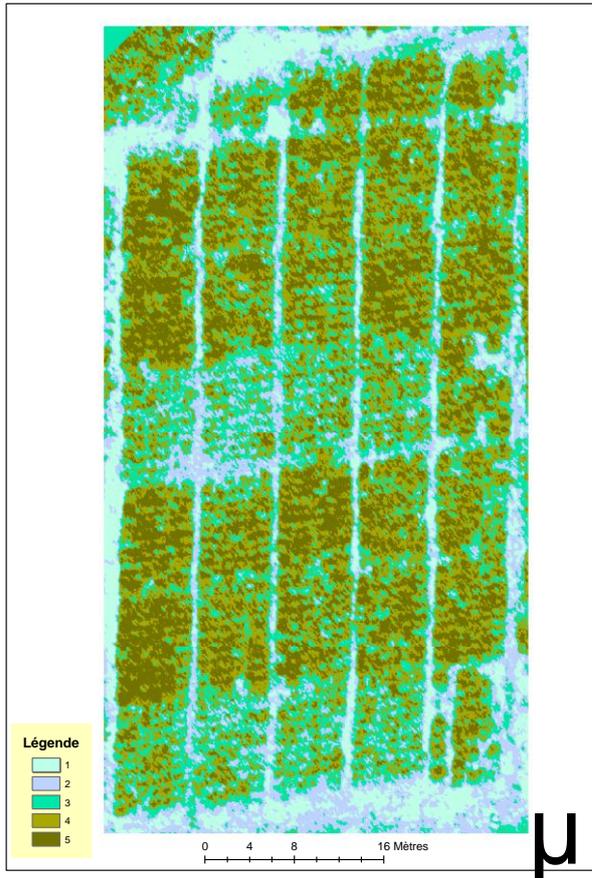


Figure 8 : Cartographie de la classification sur fichier de signature Iso data cluster à partir du raster index de végétation NDVI.

Répartition des effectifs de points de mesure par classe issus de la classification par clusters Arc Gis 9. Les classes de 1 à 5 correspondent à des classes de NDVI de plus en plus élevées témoignant d'un couvert végétal de plus en plus actif. Par comparaison aux images en vraies couleurs (rvb reconstitué) la classe 1 semble correspondre à la pelouse sèche du verger alors que la classe 2 représente la même pelouse plus active ou se trouvant à l'ombre. Cette analyse confirme la moindre densité des houppiers des origines corses qui ne parviennent pas à fermer le peuplement. Le nombre élevé de points de mesure en classe 1 (pelouse) de l'origine Orléans est tout à fait conforme à la mortalité observée dans cette provenance.

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
BARR	3	21	341	1003	868
BESS	0	22	206	801	1201
GUIL	1	27	425	974	811
HTSV	2	238	1005	764	227
KUST	16	73	435	1063	645
MARM	15	503	1064	507	147
MEND	6	45	350	1054	774
MONT	0	8	108	610	1509
ORLE	142	297	505	776	521
SIVE	1	47	466	959	765
TREO	0	10	245	927	1048
TREV	0	10	270	901	1045
VAYR	3	204	983	830	223
VEZZ	4	240	973	776	237
VILL	0	22	233	896	1078

Figure 9 : Table d'attribution des répartitions de points de mesure par classe.

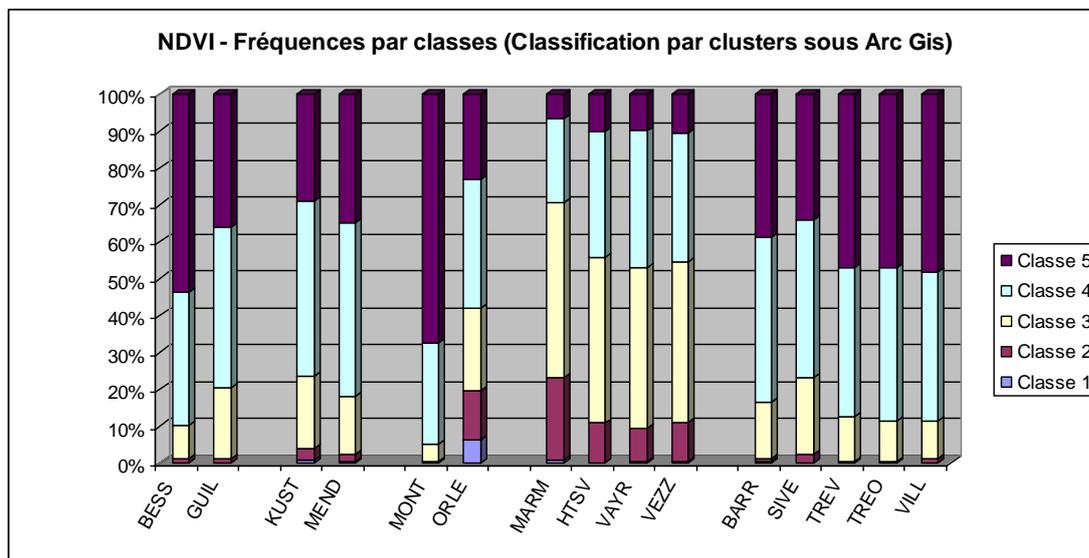


Figure 10 : Histogrammes de répartition des classes par origine.

A noter les similitudes de répartition de notes de classes suivantes :

- les origines Bessèges et Saint Guilhem qui s'apparentent aux *nigricans austriaca* (Kustendil et Mende) ainsi qu'aux *laricio calabrica* et *nigricans italica* dans le groupe de droite de l'histogramme (de Barres à Villetta Barrea)
- similitude également très marquée entre les quatre origines de *laricio corsicana* Marmano, Haute serre, Vayrières et Vezzano comportant une faible proportion de notes de classe 5 attachée aux index de végétation les plus élevés.

Enfin, nous noterons les deux origines Montargis (MONT) et Orléans (ORLE) qui présentent des profils de répartition tout à fait particuliers et qui ne permettent pas de les attacher à un autre groupe. Ces observations confirment totalement les observations réalisées précédemment sur les différents index de végétation ainsi que d'autres paramètres dendrométriques.

3- Parcelle Pins noirs, enclos des Pins, test sylvicole de comparaison de provenances

3.1.- Analyse des histogrammes de distribution des valeurs des différents spectres ou valeurs calculées

L'examen des histogrammes de distribution des valeurs de pixels des différents rasters de spectres « naturels » ou calculés comme les index de végétation ou les ACP permettent de visualiser les rasters qui pourraient le plus opportunément se prêter à un processus de classification. Une distribution monomodale normale indique en effet une distribution continue des valeurs avec peu de perspectives favorables de classification. A contrario une distribution multimodale sera a priori plus favorable à la mise en place de seuils de classification.

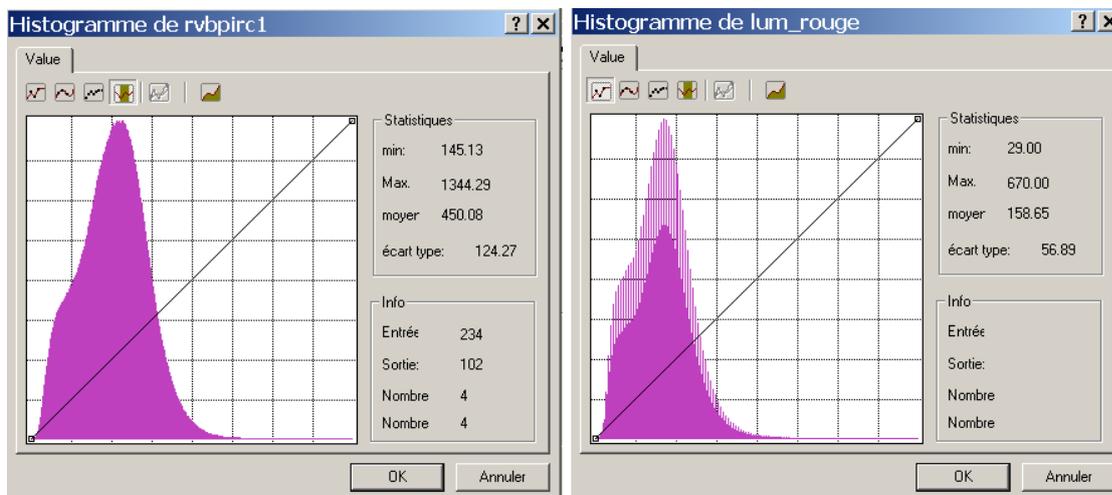


Figure 11 : Histogramme valeurs ACP, composante 1, des spectres RVB, PIR et RE à gauche et spectre rouge seul à droite.

3.2.- Essais de classification

Au vu des différents histogrammes observés nous avons choisi de travailler en premier sur le raster de la première composante de l'ACP résultant des rasters rouge, vert, bleu, PIR et Red Edge. Nous avons expérimenté une classification assistée par la mise en place d'un fichier de signature fondé sur un échantillonnage des différentes régions majeures de cet essai que nous avons codées de « feuillus » à « ombres ». Dans ce premier résultat de classification les houppiers des arbres feuillus présents dans les andains ressortent particulièrement bien ainsi que les ombres projetées par ces derniers, les pins noirs de l'essai ou encore les pins matures de la parcelle située au sud est de l'essai.

Par contre, de larges parties de pelouse présentent les mêmes caractéristiques que les houppiers de pins de l'essai et sont de ce fait assimilées à ce couvert résineux.

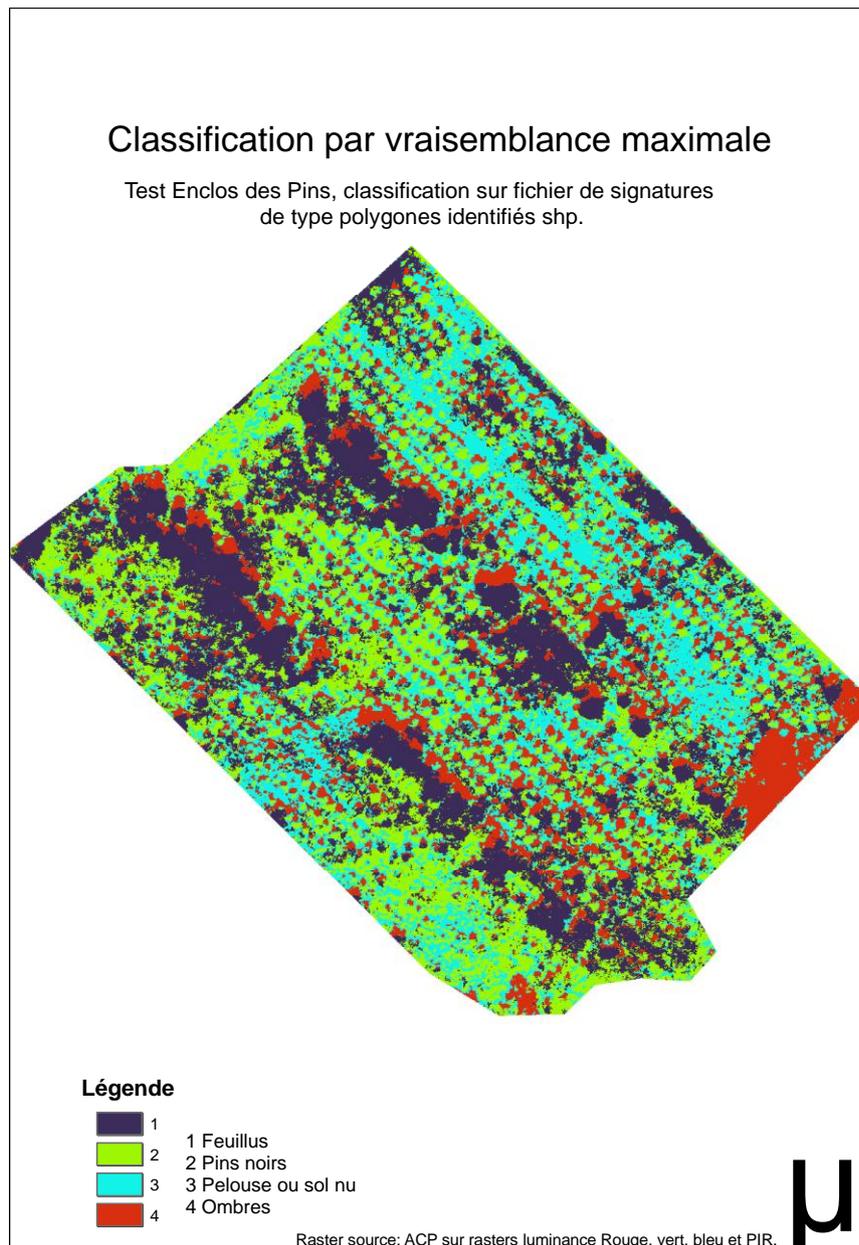


Figure 12 : Classification assistée 4 classes sous fichier de forme du raster ACP.

Un autre essai de classification a été réalisé sur le raster de l'image composite proche infrarouge couleur, en classification assistée à l'aide du fichier de formes prédéterminant 4 classes comme dans l'analyse précédente. Cette classification fonctionne assez bien sur la partie test de démonstration au nord de la parcelle mais beaucoup moins sur les parties mono arbre ouest et sud de l'essai où la végétation au sol est assimilée par la classification à des pins noirs. La codification demeure identique à celle de l'essai précédent dans laquelle les pins noirs se trouvent en code 2.

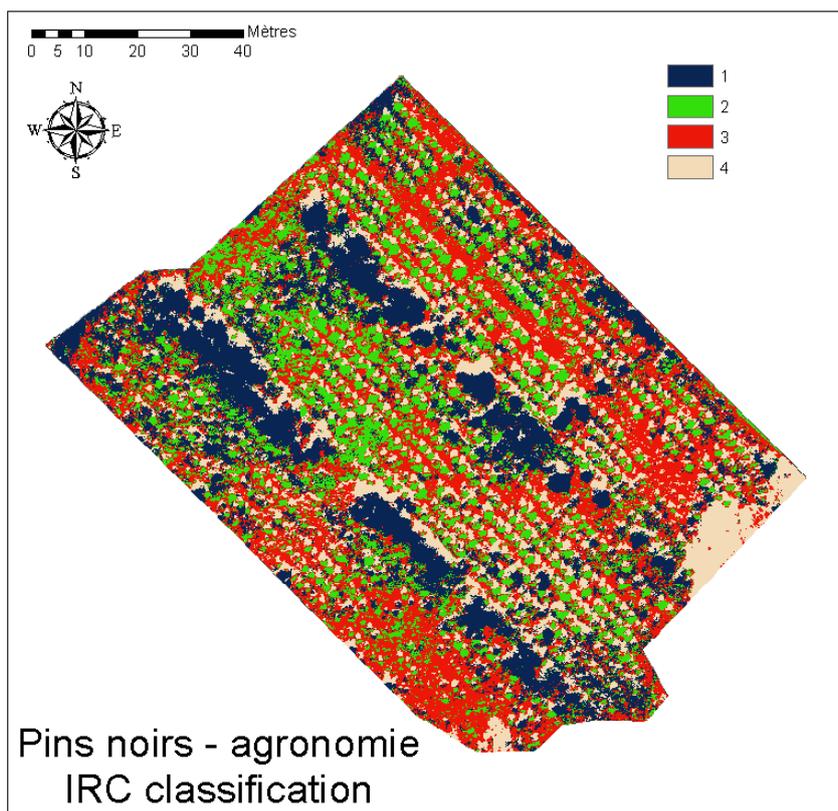


Figure 13 : Classification assistée sous fichier de formes du raster IRC en 4 classes

Origine	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Nature	Feillus	Pins noirs	Pelouse/sol	Ombres
Nb pixels	1023958	772148	1317689	689894
Taux	27%	20%	35%	18%

Figure 14 : Table attributive des 4 classes de classification assistée du raster IRC.

D'après cette classification, le couvert feuillu indésirable représente tout de même 27% de la surface totale de cet essai. Cette donnée peut en particulier servir à décider de la pertinence d'une opération d'entretien d'un essai, localiser les zones soumises à forte compétition etc... Les zones de sol nu et ou de végétation basse est estimé à 35%, cette valeur peut permettre de qualifier le degré de fermeture d'un couvert forestier ou de sa dynamique dans le cas de clichés pris à différentes périodes.

D'autres essais de classification plus avancés encore sont nécessaires pour mieux cibler les seuls pins de l'essai avec en particulier un meilleur découpage des zones d'intérêt afin d'exclure les bordures d'essai non plantées. Un découpage et une identification des blocs et des parcelles unitaires dans le cas de l'essai démonstration serait également une voie à explorer afin, par exemple, de rechercher des corrélations entre taux de couverture des pins par modalité ou bloc et performances agronomiques que nous avons acquises par mesures dendrométriques.

4.- Verger mélèze F1, champ de la Ronce

4.1.- Essais de classification sur parcelle non détournée

Cet essai compte parmi les plus grandes prises de vues réalisées lors de la campagne 2009, le verger de 1.6 ha est inclus dans une prise de vue rectangulaire de plus de deux hectares et compte des parties de sol nu agricole, des prairies cultivées ainsi que des parties de couvert feuillu. Les premiers essais ont été délibérément réalisés sur les rasters non détournés qui intègrent en conséquence un grand nombre de données étrangères au verger et susceptibles de bruyier le processus de classification. La moindre précision des classifications présentées ci-dessous démontrent l'intérêt à redécouper les rasters d'origine au plus près des aires d'intérêt.

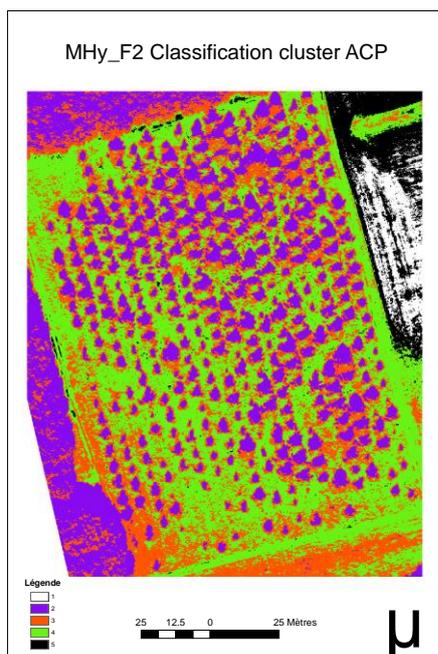


Figure 15 : Classification par fichier de signature « Iso data cluster » 5 classes sur raster ACP avec les 5 spectres, rouge, vert, bleu, PIR et Red Edge.

Les seules aires qui soient clairement distinguables dans cette essai de classification sont les ombres des mélèzes (code 2) d'ailleurs confondues avec les peuplements feuillus voisins, les houppiers des mélèzes sont eux totalement assimilés à la prairie de la parcelle ainsi qu'à une partie des feuillus bordant le verger (codes 3 et 4). Cet essai de classification n'est donc pas probant avec les rasters utilisés. Les ombres permettent toutefois de manière indirecte de comptabiliser avec une relative précision les arbres présents dans le verger ainsi que d'en estimer globalement la taille. Une analyse par blocs serait ici très pertinente pour établir une forme d'indice de fertilité de chaque bloc par le cumul des aires d'ombres.

Origine	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Nature	Detourage	Ombres	Prairie et houppiers		Sol nu
Nb pixels	193760	2615057	2910157	3519377	525163
Taux	2%	27%	30%	36%	5%

Figure 16 : Table attributive de la classification 5 classes du raster ACP 5spectres.

4.2.- Effets du nombre de classes choisi lors du processus de classification

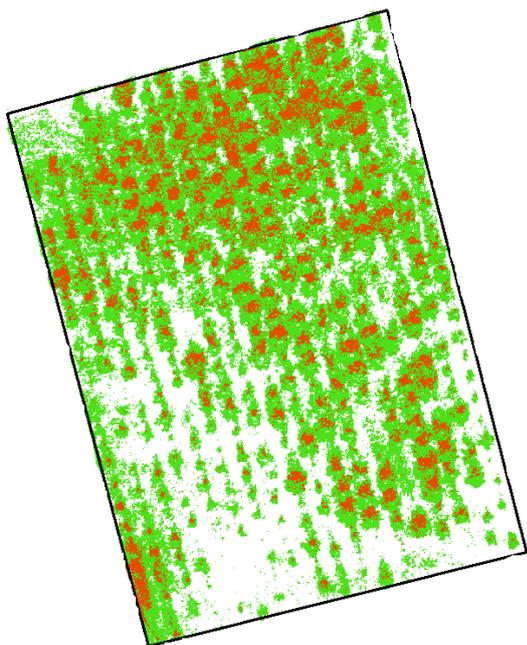


Image NDVI, classification en **quatre classes** avec fichier de signature de type cluster. Les classes sol nu et pelouse sèche ont été retirées des symboles d'affichage. Seules les deux classes des index NDVI les plus élevés ont été gardées et représentent le couvert des mélèzes du verger (le verger a été détourné graphiquement après analyse pour en améliorer la présentation). Il apparaît nettement que les ombres et une bonne partie de la pelouse dans les lignes sont assimilées au couvert des houppiers, cette classification n'est donc pas pertinente.

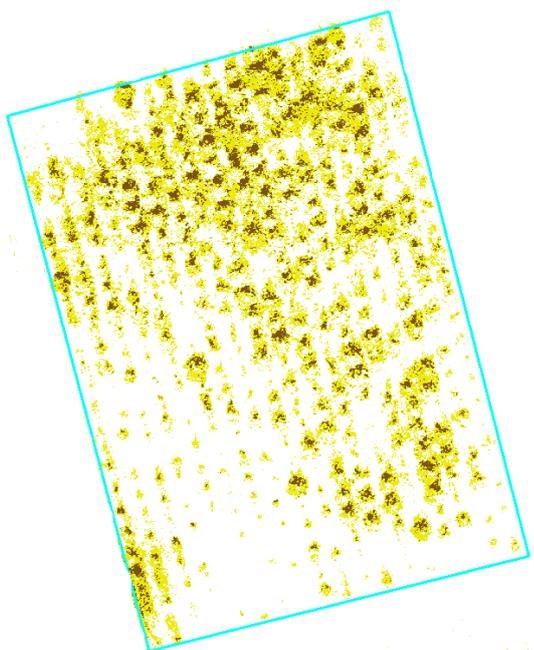


Image NDVI du verger MHy F1, même procédure que précédemment mais classification en **six classes** avec fichier de signature de type cluster. Les 4 classes sol nu, pelouse sèche et index NDVI inférieurs ont été retirées du visuel ci dessus. Seules les deux classes des index NDVI les plus élevés ont été gardées et représentent le couvert des mélèzes du verger. La classification ainsi obtenue est de meilleure qualité apparente que celle obtenue précédemment en quatre classes, les houppiers sont mieux définis et les ombres ne font plus partie de la même classe (le verger a été détourné graphiquement après analyse pour en améliorer la présentation).

Le choix du nombre optimal de classes ne peut donc être obtenu que par des essais successifs qui impliquent la création d'un fichier de signatures dédié à chaque nouvel essai. Il demeure toutefois certain qu'une classification est d'autant plus pertinente et précise qu'elle ne porte, en particulier pour l'établissement du fichier de signature, que sur la seule zone d'intérêt.

4.3.- Essais de classification sur verger découpé

Afin d'améliorer la précision de la classification tous les rasters du verger ont été délimités au seul périmètre de la parcelle plantée, excluant ainsi les aires de sol nu agricole voisines à l'est et les feuillus présents en parties nord et ouest.

Dans les essais de classification présentés ci-dessous la couche PIR est présentée en référence car celle-ci permet de bien visualiser la position réelle des houppiers de mélèzes. Les représentations à gauche représentent exactement le même segment d'image en traitement de classification.

4.3.1.- Essai de classification par cluster 5 classes du NDVI

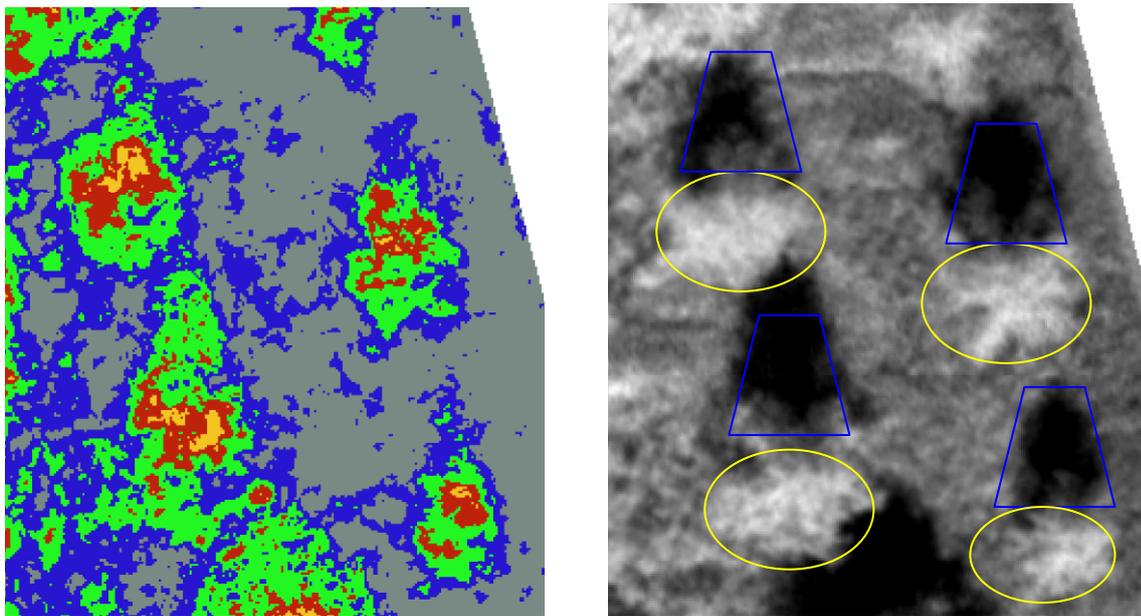


Figure 17 : A gauche classification par cluster 5 classes du NDVI et à droite image PIR du même segment de parcelle avec houppiers en ovals jaunes et ombres portées en trapèzes bleus.

Il apparaît très clairement dans les figures ci-dessus que la classification par cluster de l'index NDVI associe le périmètre du houppier avec une partie de l'ombre portée de ce dernier. La classification ainsi réalisée surestime le périmètre des seuls houppiers.

4.3.2.- Essai de classification vraisemblance maximale sur signature cluster PIR
5 classes

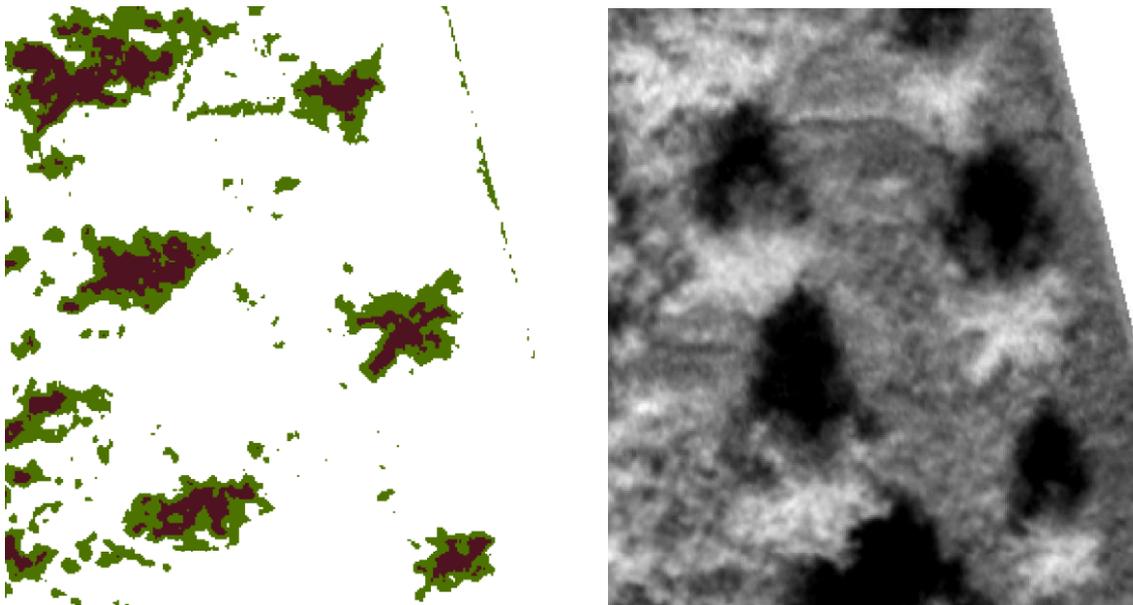


Figure 18 : A gauche classification par cluster 5 classes du PIR et à droite image PIR du même segment de parcelle.

Table d'attribution des pixels en fonction de leur appartenance :

Origine	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Nature	Ombres	Prairie		Houppiers	
Nb pixels	1035293	1205578	1725282	1509667	1159522
Taux	16%	18%	26%	23%	17%

La classification sur raster PIR à partir d'un fichier de signature « cluster » permet de mieux « découper » le houppier des mélèzes. Pour ce type de verger/plantation le spectre PIR luminance apparaît donc plus pertinent que l'index NDVI pourtant à priori plus sophistiqué. Cet essai prouve que chaque site expérimental ne pourra être traité selon une procédure type mais devra faire l'objet d'une procédure adaptée à l'essence traitée, à la saison de prise de vue et à la nature de la couverture au sol.

4.3.3.- Essai de classification avec un fichier de forme dans lequel ont été identifiés sur la table attributaire les trois types de surface suivants

Code 1 : houppiers

Code 2 : ombres des arbres

Code 3 : pelouse dans le verger

Mise en œuvre du module vraisemblance maximale sur le raster PIR :

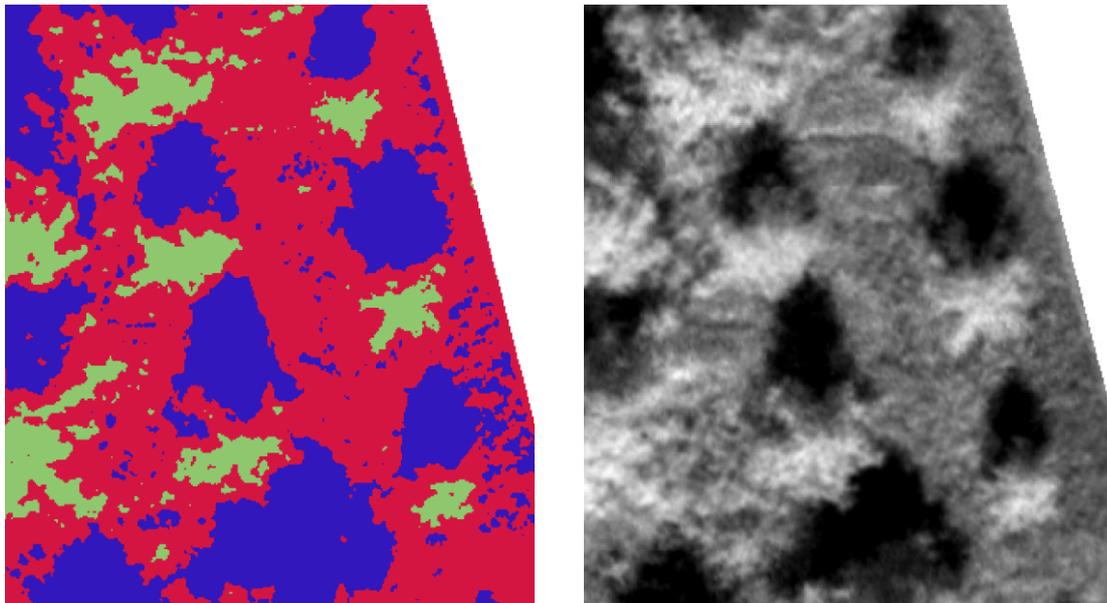


Figure 19 : A gauche classification par fichier de formes pré identifiées avec 3 classes du raster PIR et à droite image PIR du même segment de parcelle.

La classification réalisée ci-dessus semble fidèle au périmètre des houppiers en sous estimant toutefois la partie qui se trouve à l'ombre et qui est assimilée à de la pelouse (rouge). Les ombres sont par contre très bien identifiées et séparées avec ce « patron » de classification.

Origine	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Nature	Houppiers	Ombres	Pelouse
Nb pixels	1852303	1627353	3155686
Taux	28%	25%	48%

Figure 20 : Table d'attribution des pixels en fonction de leur appartenance à une classe

4.3.4.- Essai sur index NDVI avec fichier de formes identique au processus précédent

Cette analyse de type assistée sur le raster NDVI ne fonctionne absolument pas, en effet l'index de végétation des houppiers et des ombres est très souvent semblable et en conséquence la nomenclature du fichier de formes qui fait la différence entre ces deux catégories ne permet lors de l'analyse de vraisemblance maximale de déterminer qu'une seule aire sur l'ensemble de la parcelle.

4.3.5.- Essai de classification de type cluster sur l'index de végétation GI (Greenness index) sous quatre classes

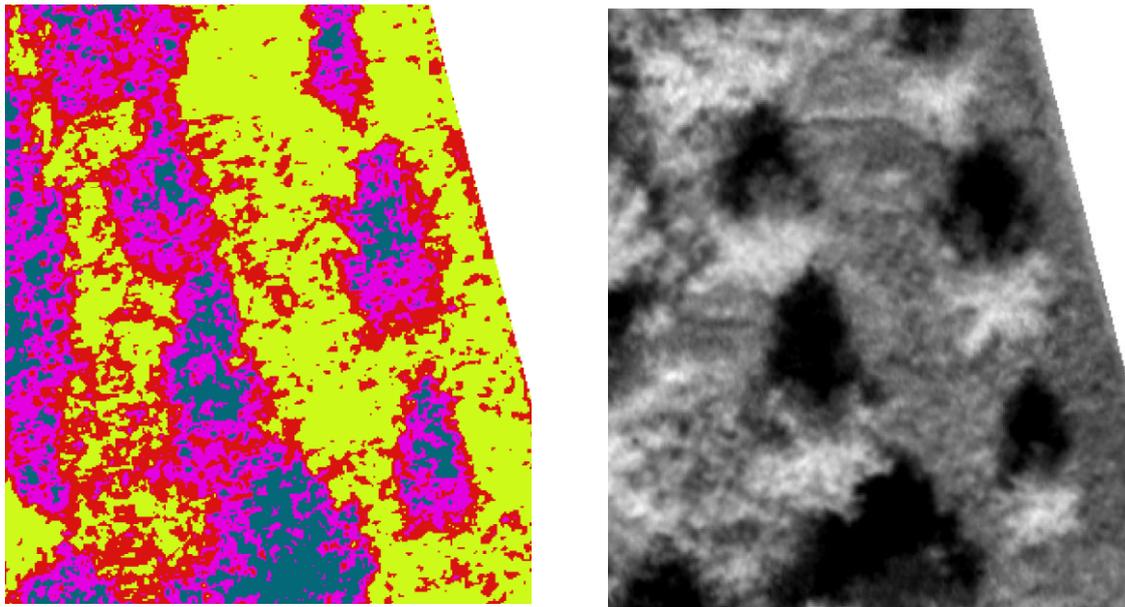


Figure 21 : A gauche classification de type cluster en 4 classes du raster GI et à droite image PIR du même segment de parcelle.

Cette classification non assistée de l'index GI assimile malheureusement les ombres portées des arbres aux houppiers, elle n'est donc pas efficace pour délimiter les seuls houppiers. Les index les plus élevés se trouvent d'ailleurs dans l'emprise des ombres ce qui confirme le moindre intérêt de cet index dans le cas particulier de la segmentation par cluster.

CONCLUSION

Des résultats intéressants, une étude à compléter

Comme nous l'avons évoqué en 2011, le potentiel d'exploitation des images très haute résolution captées en télédétection est très important et le choix des outils logiciels plus ou moins spécialisés est très large. Pour cette première démarche de classification des images nous avons choisi d'utiliser des méthodes classiques et éprouvées de la suite logicielle Arc Gis 9 afin d'optimiser le ratio entre l'investissement nécessaire à la maîtrise de l'outil logiciel et l'obtention de premiers résultats.

Les premiers produits de cette étude sont très encourageants, c'est en particulier le cas avec le dispositif des 15 origines de pins noirs dans lequel est clairement démontrée une agrégation logique des différents groupes de pins. Les pins de cet essai ont en effet un couvert très contrasté par rapport au milieu environnant ce qui facilite la classification.

La résolution dont nous disposons est toutefois inférieure à celle souhaitée, elle constitue également un handicap pour le traitement des images par classification, nous observons également sur différents dispositifs comme les mélèzes un manque de contraste entre les houppiers et la végétation au sol, aussi nous pensons que des prises de vues plus tôt en saison en pleine croissance favoriseraient l'exploitation des données, que ce soit dans le cadre classique de calculs d'index de végétation ou de travaux de classification.

Les différentes possibilités de choix et de nombre de rasters traités, les possibilités de création de fichiers de signatures ou « patrons » de classification assistée ou pas ainsi que le nombre de classes choisi offrent un champ immense de recherche pour obtenir la classification la plus juste possible pour un site donné ; une capitalisation des essais est donc nécessaire avant de procéder en routine à des traitements de dispositifs.

La classification permet, à l'échelle d'une parcelle, d'un bloc ou même d'un plateau (cas des essais pathologie peuplier) de quantifier les taux de couverture des différents éléments du couvert. Des travaux complémentaires seront entrepris en procédant au découpage des essais afin d'extraire des données issues de la classification par bloc ou par modalités, ou même par arbre dans le cas des merisiers par exemple.

La classification des images issues de la télédétection à très haute résolution contribue à la description quantitative d'un dispositif d'évaluation ou encore une meilleure compréhension des hétérogénéités stationnelles. Elle permet par exemple de quantifier en termes de surface la présence de végétation concurrente et donc de raisonner la nécessité d'une opération d'entretien d'un dispositif.

Enfin, pour terminer, il convient de rappeler que les nouvelles cartographies résultant des processus de classification doivent être systématiquement validées par un examen comparatif visuel des images en vraies couleurs. En effet, en l'absence d'aires témoins à composition spatiale connue, seule cette démarche permet d'estimer la pertinence de la classification opérée par l'outil logiciel. La procédure de validation est en conséquence longue et demande le plus souvent de nombreux essais afin d'obtenir un résultat satisfaisant.

Remerciements à Vincent Seigner pour son aide apportée à l'utilisation des fonctionnalités « classification » du logiciel SIG Arc GIS®.