



HAL
open science

Evaluation et homologation de variétés issues des vergers à graines de l'Etat - programme 2012

Gwenaël Philippe, Patrick Baldet, Stéphane Matz, Aurélien Brochet, Eric Collin, Frédérique Santi, Jean-Charles Bastien, Luc Pâques, Brigitte Demesure-Musch, Yves Rousselle, et al.

► To cite this version:

Gwenaël Philippe, Patrick Baldet, Stéphane Matz, Aurélien Brochet, Eric Collin, et al.. Evaluation et homologation de variétés issues des vergers à graines de l'Etat - programme 2012. [Contrat] Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (IRSTEA); Office National des Forêts (ONF); Centre National de la Propriété Forestière (CNPF). 2013. hal-02809337

HAL Id: hal-02809337

<https://hal.inrae.fr/hal-02809337>

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.

Evaluation et homologation de variétés issues des vergers à graines de l'Etat Programme 2012

RAPPORT FINAL

Convention DGPAAT/Irstea/INRA/ONF/
CNPFP suf IDF n° E03/2012

FEVRIER 2013

Coordination : G. Philippe
Irstea : G. Philippe, P. Baldet, S. Matz,
A. Brochet, E. Collin
INRA : F. Santi (coord.)
ONF : B. Musch, Y. Rousselle (coord.)
CNPFP : 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 2012 à mars 2013 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

Constitution et valorisation d'un réseau d'évaluation des vergers français

Irstea, l'ONF, l'INRA et le CNPF se sont mobilisés pour mettre en place un réseau de plantations comparatives destiné à évaluer les performances des huit vergers de Douglas français. Le programme d'installation, décidé en 2008 lors de la réunion de lancement du projet, a été respecté. 27 dispositifs d'évaluation et 10 tests de démonstration ont été plantés dans une large gamme de conditions pédo-climatiques : cœur de l'aire, altitude et marges climatiques. Irstea, l'ONF, le CNPF et l'INRA contribuent respectivement pour 8, 7, 10 et 2 essais.

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, à St Georges-en-Couzan (42) et Sylvanes (12).

Dans l'ensemble, l'état des dispositifs est satisfaisant, bien que l'on déplore 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 et ii) Colle du Rouet, planté dans une station particulièrement stressante et qui présente un très fort taux de mortalité. Une nouvelle installation sur un site moins défavorable au Douglas est à l'étude. Enfin, deux dispositifs ont subi des dégâts importants mais continuent néanmoins à être suivis : Les Barres et Anglès.

21 tests ont été mesurés à l'intersaison 2012/13. Les résultats confirment ceux obtenus lors des précédentes campagnes de mesures, tant pour la phénologie que la croissance. La variété Californie se caractérise par une grande précocité de débournement, ce qui la rend sensible aux gels de printemps et aux défauts de forme, et par une faible croissance juvénile. Ces premiers résultats ont été exposés dans un article paru début 2013 dans Forêt-Entreprise. Dans de nombreux sites, les produits des vergers, à l'exception de Darrington, se révèlent ou tendent à être plus vigoureux que le témoin de l'aire naturelle (seed zone Washington 403). L'analyse multi-site qui sera réalisée après cinq saisons de végétation sur le terrain nous fournira des indications plus précises et plus fiables sur le comportement de chacune de ces variétés. En particulier, il sera intéressant d'étudier l'interaction variété x milieu qui renseignera sur la capacité d'adaptation des variétés aux types de milieu explorés (moyenne montagne, altitude, zones sèches).

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'aoûtement des pousses est difficile à déterminer au champ et l'étude de l'endurcissement au froid se heurte à des problèmes méthodologiques. Pour tenter de lever ce verrou, une collaboration a été initiée en 2012 entre l'INRA de Clermont-Ferrand, d'Orléans et Irstea et des tests préliminaires ont été engagés sur de jeunes individus de La Luzette et Californie. Ces tests de faisabilité ont produit des résultats encourageants dans le sens où le test de conductivité utilisé en routine par l'INRA pour déterminer la LT50 (température provoquant 50% de lyse cellulaire) chez les feuillus semble bien adaptée aux jeunes pousses de Douglas. La microcalorimétrie nous semble par contre plus difficilement interprétable et donc peu adaptée à l'objectif poursuivi. De nouveaux tests sont prévus en 2013 mais l'obtention de résultats définitifs sur les huit variétés nécessitera des travaux de plus grande envergure et la recherche d'un financement spécifique.

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. Une étude menée par l'ONF montre en effet que le réseau existant n'échantillonne qu'imparfaitement les gradients pédologiques et climatiques de la ressource et que de larges parties du territoire où le Douglas est déjà cultivé avec succès ou susceptible de se développer restent non couvertes. C'est en particulier le cas de situations pédo-climatiques des domaines atlantiques et continentaux, qui constituent un potentiel indéniable d'expansion de l'essence. Les partenaires du groupe "évaluation Douglas" ont donc décidé de combler ces lacunes et d'étendre le réseau dans ces zones "orphelines": montagnes de Franche Comté et plateaux calcaires de l'Est, massifs continentaux des Ardennes et des Vosges, zone Nord-ouest sous climat océanique. De tels dispositifs constitueront en outre des points de référence intéressants pour des utilisateurs de graines anglais et allemands.

Des lots de graines représentatifs des vergers ont été mobilisés pour produire les plants nécessaires à l'installation des 8 essais en projet. Une première vague de semis a été réalisée début 2013 à la pépinière ONF de Peyrat-le-Château, où les plants seront élevés durant deux ans. Les nouveaux dispositifs seront plantés aux printemps 2015 et 2016.

Etude de la résistance au stress hydrique en conditions contrôlées

Certains dispositifs du réseau ont été volontairement implantés dans des sites secs, afin de pouvoir mettre en évidence des différences entre variétés pour la résistance à la sécheresse. Cependant, malgré des visites annuelles, il est souvent difficile de déterminer de façon certaine l'agent causal des dépérissements ou de la mortalité constatés. L'étude *in situ* de l'impact de stress hydriques nécessite un suivi régulier du matériel testé et un contrôle fin des facteurs du milieu, et par conséquent des essais spécifiques. Irstea s'est orienté dans cette voie : en 2012, un essai probatoire a permis de se familiariser avec de nouveaux équipements et matériels de mesure, d'acquérir de l'expérience dans le pilotage de telles expérimentations, et aussi de recueillir de premières données sur la phénologie, la dynamique de croissance et la résistance au stress hydrique de jeunes plants de deux origines génétiques (La Luzette et Californie). Un essai du même type mais de plus grande envergure débutera en 2013.

Performances des vergers Darrington et La Luzette 14 ans après plantation

L'analyse des notations d'état sanitaire et des mesures de circonférence effectuées en 2011/12 dans trois dispositifs d'Irstea permet de conforter, à un âge plus avancé, les recommandations faites aux reboiseurs. En moyenne, les produits des vergers de Bout 24 et La Luzette présentent la plus forte croissance radiale à l'âge de 14 ans. Ces vergers sont significativement supérieurs aux peuplements naturels représentés dans l'essai (+11% en moyenne), qu'ils soient français (ancienne région de provenance RP04) ou américains (seed zone 403 de l'Etat du Washington). Si l'on restreint l'analyse à l'accroissement de circonférence au cours des trois dernières années, Bout et La Luzette demeurent significativement supérieurs à RP04 mais WA 403 et Darrington occupent une position plus avantageuse. Pour ces deux variables cependant, le classement des variétés est sujet à des variations inter-sites. Par ailleurs, nos jeux de données montrent une étroite relation entre l'état sanitaire (rétention des aiguilles) et la croissance. D'un point de vue méthodologique, il serait certainement utile de définir des indicateurs d'état plus fiables et plus discriminants que ceux utilisés jusqu'à présent.

Ces données seront agrégées à celles obtenues dans les dispositifs homologues gérés par l'ONF et une synthèse des résultats est prévue pour 2013/14.

Performances juvéniles des descendances des clones du verger Californie

L'INRA a réalisé une première campagne de mesures dans les deux tests de descendances du verger Californie, installés au printemps 2011 dans l'Aude (Fourtou) et en Haute-Vienne (St Junien-la-Bregère). Dans les deux sites, la survie est très satisfaisante et la mesure de hauteur totale à 2 ans confirme la faible vigueur juvénile des produits de ce verger. A cet âge, très rares sont les familles californiennes qui font jeu égal avec les matériels français et de l'Etat du Washington utilisés comme témoins. Ces résultats très juvéniles nécessiteront confirmation mais, en l'état, une éclaircie génétique ne permettrait pas d'obtenir un niveau de vigueur équivalent à celui des vergers "classiques" (La Luzette, Washington 2, France 1).

Mélèze

Comparaison de variétés hybrides

Les résultats obtenus après la première éclaircie, 16 et 17 ans après plantation, ne montrent guère de changement de hiérarchie dans les deux dispositifs étudiés par Irstea. Les variétés hybrides confirment leur supériorité en vigueur, et souvent en rectitude, par rapport aux témoins de mélèze d'Europe et du Japon. Au sein de ces hybrides, la variété FH 201 produite en France constitue le meilleur compromis vigueur x forme.

Impact de la pureté spécifique des MFR de mélèze hybrides sur leurs performances en plantation

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 variétés "hybrides" implantées dans deux plantations comparatives (La Courtine et Brenod). La synthèse effectuée à

l'occasion d'un colloque du groupe IUFRO "Larch Breeding and Genetic Resources" (S2.02.07) fait apparaître quatre points clés :

- Les variétés étudiées présentent des niveaux de pureté spécifique extrêmement variables. Le bien-fondé de la commercialisation, en tant que "mélèze hybride", des MFR de Halle, Maglehem et FP 237 est très discutable. Cette variabilité doit questionner les gestionnaires de vergers et les législateurs. Il serait raisonnable i) de s'abstenir de récolter les cônes dans les années à risque et ii) de fixer un taux d'hybrides minimal pour la commercialisation en Europe. La pureté spécifique devra être déterminée selon une ou des méthode(s) reconnue(s).
- Les hybrides sont toujours plus vigoureux que les espèces pures mais leur supériorité dépend de la variété. Elle semble être liée au nombre de clones de l'espèce maternelle du verger et à l'adaptation de l'espèce mère au site de plantation.
- Le pourcentage d'hybrides augmente au fil des éclaircies mais il n'atteindra pas (ou très lentement) 100% si la pureté spécifique des MFR est faible et cela pourra se traduire par de sérieuses pertes de revenus pour certaines variétés. Le risque semble maximal dans le cas de vergers ne comportant qu'un seul clone d'une espèce mal adaptée à la station. Dans une telle situation, le propriétaire devra s'approvisionner en MFR ayant au moins 60-70% de pureté spécifique. Dans ce cas, la plupart des arbres d'espèces pures seront éliminés à la première éclaircie qui n'a pas ou peu de valeur commerciale. Néanmoins, le propriétaire doit être conscient du fait qu'un faible taux d'hybrides signifie moins de possibilités de compensation en cas de mortalité ou de dégâts (insectes, gibier, gel, ...) et aussi moins de latitude pour le choix des arbres au moment des éclaircies.
- Pour qu'ils puissent contribuer efficacement à la production de conseils d'utilisation, les tests d'évaluation de vergers/variétés devront réunir des populations représentatives des MFR disponibles dans le commerce, notamment en termes de pureté spécifique. Cela implique de connaître, pour chaque verger, l'étendue des variations annuelles du taux d'hybrides. Il est donc recommandé i) de créer une base de données européenne indiquant la pureté spécifique de chaque récolte de verger ou ii) de représenter les variétés par des lots de graines ou plants issus de plusieurs récoltes afin de tamponner l'effet année.

Discrimination des espèces de mélèze par spectrométrie infrarouge

Dans l'étude précédente, la détermination taxonomique a été réalisée à l'aide de marqueurs de l'ADN cytoplasmique mais cette méthode ne peut être mise en œuvre à grande échelle du fait de son coût. L'INRA a cherché à lever ce verrou en testant une technique alternative : la spectrométrie infrarouge. En raison de la très grande facilité et vitesse d'acquisition des spectres et de son faible coût, la spectrométrie infra-rouge est en effet 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 résultats obtenus en 2012, sur aiguilles, sont très encourageants puisque les meilleurs modèles permettent de prédire l'appartenance des échantillons de feuilles aux trois espèces (Europe, Japon, hybride) avec une précision voisine de 95%.

Hybrides F2 : évaluation du verger d'hybridation F1/F2 de Carnoët

Malgré les progrès réalisés en supplémentation pollinique, la production de graines de mélèze hybride de 1^{ère} génération reste coûteuse et aléatoire. Une solution séduisante consisterait à produire des variétés hybrides F2 par pollinisation naturelle, dans des vergers 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 entrepris d'installer des tests de descendance de deux vergers brouillons constitués de clones hybrides F1. En 2012 et début 2013, 35 descendance du verger de Carnoët ont été élevées à la pépinière de Peyrat-le-Château, mesurées puis arrachées avant d'être installées sur le terrain. Deux tests de descendance seront installés au printemps 2013, dans les Ardennes et en Normandie.

Pin Laricio

Les échantillons de sol prélevés dans trois tests d'évaluation d'Irstea présentent, après analyse, un déficit très marqué en bore. De telles carences sont susceptibles de causer des déformations ou anomalies de croissance et donc de masquer (ou d'interférer avec) les effets génétiques. De ce fait, elles limitent sérieusement la validité des résultats produits par ces essais comparatifs en termes de croissance, de forme, et même de survie. Il est donc recommandé de réaliser des analyses de sol systématiques avant installation des dispositifs et de corriger les éventuelles carences, notamment en bore, afin de tester les unités génétiques dans des conditions telles qu'elles puissent réellement exprimer leur potentiel.

Merisier

L'objectif est de comparer dans des conditions pédo-climatiques variées les MFR de merisier présents sur le marché ou disponibles à court terme : vergers à graines français ou étranger, cultivars homologués et peuplements classés français. En 2012/13, les trois cultivars habituels ont été multipliés mais avec peu de succès et peu de plantations participatives ont été réalisées. La première série des descendance des vergers à graines Avessac et Cabrerets a été plantée (ou engagée), et une 4^{ème} série a été initiée. L'INRA a propagé l'idée de la démarche participative (publications, réunions, enquêtes, nouveau site internet) et l'a étendue à un nouveau public (pépiniéristes).

Le réseau de plantations est encore modeste mais de très nombreuses plantations sont attendues dans les années à venir, dans le réseau agroforestier comme forestier grâce à une meilleure visibilité du réseau participatif. Cette démarche permettra d'évaluer les variétés (françaises comme certaines étrangères) et d'en préparer une bonne acceptation. Son élargissement à d'autres espèces se fera prioritairement en direction du public des pépiniéristes forestiers, en attendant que des témoins soient développés.

Frêne

L'INRA a quantifié les attaques de *Chalara* dans trois dispositifs comparant des provenances françaises, structurées ou non en descendance demi-frères. Les résultats démontrent clairement l'existence d'une variabilité génétique, à la fois au niveau provenance et famille. La présence de familles totalement indemnes ou très peu sensibles, à Esnes et surtout à Devecey où la maladie se développe depuis plusieurs années, laisse entrevoir la possibilité d'une sélection efficace pour une faible sensibilité à la chalarose.

Tests indirects : télédétection

Les index de végétation NDVI et GI, calculés d'après les photographies aériennes prises durant l'été 2009, ne permettent pas de différencier les mélèzes d'Europe et du Japon constituant le verger d'hybridation des Barres. Toutefois, les données se prêtaient mal à cet exercice : faible résolution des clichés du fait de la hauteur de prise de vues, générant des difficultés pour la segmentation des zones de feuillage.

D'autre part, un premier essai de proxy-détection (télédétection à très faible hauteur permettant une très haute résolution) a été réalisé sur Douglas (expérimentation sous serre), dans la perspective de caractériser, via des index de végétation, l'état physiologique de jeunes plants soumis à deux modalités de stress hydrique. Les clichés, pris en octobre 2012, sont en cours de traitement.

PARTICIPANTS

Irstea

- Gwenaël Philippe, Stéphane Matz, Patrick Baldet, Aurélien Brochet, Vincent Bourlon, Eric Collin, Cécile Joyeau, Pascal Croizet, Vincent Seigner, Florian Hulin (GeeDAAF, Nogent-sur-Vernisson)

INRA

- Frédérique Santi, Jean-Charles Bastien, Catherine Bastien, Luc Pâques, Arnaud Dowkiw, Jean Dufour, Vincent Ségura, Kévin Ader, Jean-Paul Charpentier, Dominique Veisse, Jonathan Migeot (Orléans)
- Denis Vauthier (Avignon)

ONF

- Brigitte Musch et Yves Rousselle (DTCB, CGAF Orléans)
- 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)
- François Montagnon et Sébastien Guérinet (pépinière de Peyrat-le-Château)
- Patrice Brahic (pépinière d'Aix-en-Provence)
- Céline Puech (ONF Rochefort-Montagne)

Pôle des vergers à graines de l'Etat : Christian Blazy et Josette Courtiol.

CNPPF

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

SOMMAIRE

	Pages
<u>DOUGLAS</u>	14
I- RESEAU D'EVALUATION DES VERGERS FRANÇAIS	14
1- Installation de dispositifs (printemps 2012)	14
Les Battées	14
2- Performances des variétés	19
2.1- Survie, état sanitaire, croissance	19
2.1.1- Cœur de l'aire	19
2.1.1.1- <i>St Junien-la-Brégère</i>	19
2.1.1.2- <i>Peyrat-le-Château</i>	23
2.1.1.3- <i>Sémelay</i>	27
2.1.1.4- <i>Saulieu</i>	27
2.1.1.5- <i>St Agnant-près-Crocq</i>	34
2.1.1.6- <i>Meaux-la-Montagne</i>	35
2.1.2- Altitude	36
2.1.2.1- <i>Murat</i>	36
2.1.2.2- <i>Soussat</i>	39
2.1.2.3- <i>Guéry</i>	40
2.1.2.4- <i>La Versanne</i>	45
2.1.2.5- <i>Montregard</i>	46
2.1.3- Marge 1	47
2.1.3.1- <i>Les Barres</i>	47
2.1.3.2- <i>Le Faou Petit</i>	47
2.1.3.3- <i>Valsonne</i>	52
2.1.3.4- <i>Avant-Monts</i>	52
2.1.3.5- <i>Gardons</i>	54
2.1.3.6- <i>Fraysse-sur-Agout</i>	57
2.1.4- Marge 2	58
2.1.4.1- <i>Haute-Serre</i>	58
2.1.4.2- <i>Fourtou</i>	58
2.1.4.3- <i>Colle du Rouet</i>	61
2.1.4.4- <i>Fourtou</i>	69
2.1.5- Tests en marge du réseau principal	69
2.1.5.1- <i>Les Barres</i>	69
2.1.5.2- <i>Les Battées</i>	69
2.1.5.3- <i>St Georges-en-Couzan et Sylvanes</i>	74
2.2- Résistance au froid	74
2.2.1- Contexte	74
2.2.2- Matériels et méthodes	75

2.2.3- Résultats	77
2.2.3.1- Détermination de LT50	77
2.2.3.2- Microcalorimétrie	78
3- Référencement des essais du réseau dans la base de données Treebreedex	79
4- Elargissement du réseau	79
4.1- Contexte	79
4.2- Contextes bioclimatiques couverts et recherchés	79
4.3- Répartition des tâches	82
4.4- Mobilisation de graines	83
4.5- Production de plants	84
5- Communication	84
Conclusion	85
II- ETUDE DE LA RESISTANCE AU STRESS HYDRIQUE EN CONDITIONS CONTROLEES	87
1- Matériel végétal avant mise en place de l'essai	87
1.1- Origine - historique	87
1.2- Dimensions	88
2- Caractérisation des conditions expérimentales	89
2.1- Substrat	89
2.2- Teneur en eau - arrosages	90
2.2.1.- Etude globale des 3 modalités	90
2.2.2- Variabilité entre variétés et caisses pour la modalité 1	91
2.2.3- Variabilité entre variétés et caisses pour la modalité 2	91
2.2.4- Variabilité entre variétés et caisses pour la modalité 3	92
2.2.5- Index de stress hydrique	93
2.2.6- Variabilité intra- caisse	94
2.2.7- Bilan des arrosages	94
2.3- Température	95
2.3.1.- Température de l'air sous abri	95
2.3.2- Température "ressenti" par les plants	96
2.3.3- Température du substrat	96
2.4- Lumière	97
3- Réponse des deux variétés au stress hydrique	98
3.1- Phénologie	98
3.1.1- Débourrement du bourgeon terminal	98
3.1.2- Apparition du bourgeon terminal de la pousse primaire	100
3.1.3- Formation de la pousse secondaire	101
3.1.4- Apparition du bourgeon terminal de la pousse secondaire	101

3.2- Croissance	104
3.2.1- Durée de la croissance en hauteur	104
3.2.1.1- Pousse primaire	104
3.2.1.2- Pousse secondaire	105
3.2.2- Accroissement en hauteur 2012	106
3.2.3- Longueur des pousses primaires et secondaires	107
3.2.4- Croissance en diamètre	109
3.3- Dépérissement - mortalité	110
3.3.1- Développement et chronologie des dépérissements	110
3.3.2- Comparaison des variétés et modalités	112
Principaux enseignements	113
III- MESURES DANS DES DISPOSITIFS AGES	115
1- Dispositifs Irstea	115
1.1- Test de Montsauche	115
1.2- Test d'Ingwiller	118
1.3- Test de Grandcheneau	122
1.4- Analyse des trois sites	125
2- Tests de descendance des vergers Washington 2 et France 2	128
3- Test des descendance du verger Californie	129
3.1- St Junien-la-Brégère	129
3.2- Fourtou	131
<u>MELEZE</u>	132
I- PERFORMANCES DE VARIETES HYBRIDES	132
1- Variétés hybrides F1	132
1.1- Dispositif de Brenod	132
1.1.1- Bilan de l'éclaircie	132
1.1.2- Résultats des mesures 2011	133
1.2- Dispositif d'Arleuf	137
1.2.1- Bilan de l'éclaircie	137
1.2.2- Résultats des mesures 2011	138
2- Hybrides F2 : évaluation du verger d'hybridation F1/F2 de Carnoët	142

II- IMPACT DE LA PURETE SPECIFIQUE DES MFR DE MELEZE HYBRIDE SUR LES PERFORMANCES DES VARIETES EN PLANTATION

143

1- Contexte

143

2- Objectifs - démarche

144

3- Matériels et méthodes

144

3.1- Variétés étudiées 144

3.2- Les essais 145

3.3- Détermination taxonomique 146

4- Résultats

146

4.1- Taux d'hybrides des variétés étudiées 146

4.2- Comparaison des individus hybrides et d'espèces pures 146

4.2.1- Adaptation 146

4.2.2- Croissance juvénile 147

4.2.3- Croissance ultérieure 148

4.2.4- Forme 148

4.3- Impact des éclaircies sur la pureté spécifique 148

4.3.1- Première éclaircie 148

4.3.2- Simulation d'une 2^{ème} et 3^{ème} éclaircie 149

4.4- Conséquences pour le propriétaire forestier 150

4.5- Conséquences pour l'évaluation des vergers 150

4.5.1- Jeunes tests 151

4.5.2- Impact de la concurrence dans les tests plus âgés 152

III- IDENTIFICATION SPECIFIQUE PAR SPECTROMETRIE IR

154

1- Matériels et méthodes

154

2- Résultats

155

2.1- Modèles de prédiction construits avec la méthodologie AD-CP 155

2.2- Modèles de prédiction construits avec la méthodologie PLS-DA 156

PINS LARICIO

159

I- BORE ET NOTES DE FORME

159

1- Arbres forestiers et bore 159

2- Les analyses de sol des dispositifs 161

3- Synthèse des analyses de sols par site 162

3.1- Lamotte Beuvron 162

3.2- Sainte Montaine 163

3.3- Charnizay 164

4- Niveaux de déficit en bore et occurrence des défauts de forme 164

II- MESURE DE DISPOSITIFS	166
1- Dispositifs Irstea	166
1.1- Eclaircie du test de Charnizay	166
1.2- Lamotte Beuvron	166
1.3- Sainte Montaine	166
1.4- Les Barres (déperissement)	167
2- Dispositifs ONF	169
<u>EPICEA COMMUN</u>	170
<u>MERISIER</u>	171
Objectifs et description globale du programme	171
Multiplication végétative et élevage des cultivars français	171
Elevage des plants des vergers à graines Cabrerets et Avesac	171
Récolte et semis d'une 4 ^{ème} série de graines du verger Avesac	172
Plantations d'évaluation des variétés de merisier sous forme participative	172
Evaluation de la démarche participative pour le merisier	173
Exploration du potentiel de la démarche pour d'autres espèces	174
Evaluation de la résistance à la cylindrosporiose des cultivars	175
Résultats attendus et valorisations envisagées	175
<u>FRENE</u>	176
Point sur les mesures et observations effectuées et prévues	176
Quelques résultats préliminaires concernant l'expansion de Chalara en 2012	177
Dispositif de Devecey	178
Dispositif de Fontenois les Montbozon	179
Dispositif d'Esnes	179
<u>TELEDETECTION</u>	181
1- Mélèzes	181
1.1- Analyse des données NDVI	181
1.2- Analyse des données GI	182

2- Douglas	183
2.1- Quantifier les conséquences d'un stress hydrique par la télédétection	183
2.2- La télédétection à très faible hauteur ou "proxy-détection"	184
2.3- Le traitement des images	185
3- Pins noirs	186
4- Perspectives	186

ANNEXE

**- Comportement des variétés de Douglas face aux aléas climatiques
(S. Girard, G Philippe, J-Ch. Bastien, B. Chopard – Forêt-Entreprise n°208, janvier 2013)**

DOUGLAS

RESEAU D'EVALUATION DES VERGERS FRANÇAIS

(Irstea, ONF, INRA, CNPF)

1- Installation de dispositifs (printemps 2012)

Les Battées (DE_DF_2012.01 – marge 1 – ONF)

Test de "démonstration" de 2 vergers à graines français de Douglas : Luzette et Californie, en peuplement pur et en mélange pied à pied.

DOMAINE DE PREOCCUPATION : Installation de peuplement, provenance, vergers à graines, Douglas vert

LOCALISATION :

- Région : Bourgogne - Direction Territoriale de Bourgogne Champagne Ardenne
- Département : Saône et Loire (71) - Agence de Bourgogne Est
- Forêt Domaniale des Battées - Unité Territoriale Autunois-Morvan
- Parcelle 59r (Partie Sud) - Triage de Sully
- Région IFN : n° 310 : Plateau de l'Autunois - Commune de Sully (71)
- Coordonnées : 46°57'50" N ; 4°27'03" E - Lambert II (étendu) : x = 760.877; y = 2220.386

STATION :

- Altitude : 510 m - Topographie : Pente faible < 5 % (plateau)
- Climat (données Aurelhy 1971-2000)
- Température moyenne annuelle : 9,5 °C - 85 jours de gel/an
- Pluviométrie annuelle : 930 mm (128 jours/an), dont 360 mm de Mai à Septembre

	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	août	sept	oct	nov	dec
Pluvio (mm)	89,8	76,0	66,1	75,0	93,6	72,7	60,6	57,2	75,5	84,0	84,3	95,4
Temp. moy. (°C)	1,6	2,8	5,7	8,1	12,2	15,4	18,2	18,0	14,5	10,0	5,0	2,7

- Station forestière :

- roche mère : schistes, grès, arkoses et conglomérats du Stéphanien
- type de sol : sol brun acide moyennement profond (50 à 80 cm) sur arène sablo-argileuse (LS évoluant vers LSA puis SAL) à humus de type mull oligotrophe à mull-moder.
- hydromorphie : néant
- Végétation (avant préparation du terrain) : acidiphile : canche flexueuse, Dicrane à balais, Germandrée scorodoine.
- Station forestière:
 - Hêtraie chênaie sessiliflore acidiphile sur sol d'épaisseur moyenne à forte de plateau (1420 du « catalogue des types de stations forestières des annexes du Morvan » (Université de Bourgogne, 1994).
 - Fertilité : faible à moyenne (RU moyenne mais sol pauvre en éléments minéraux)
 - Facteurs limitants : acidité assez forte - nombre de jours de gel important (85 jours/an)

PEUPELEMENT FORESTIER : (avant coupe rase)

TSF ruiné de CHS (G < 7m²/ha), à GB et BM dominants.

OBJET DE L'ESSAI – VARIABLES DE JUGEMENT :

Evaluation des performances (plasticité, croissance, forme) de plants de Douglas issus des vergers à graines **français**, et en particulier du verger à graines Californie (en comparaison du verger Luzette, déjà bien connu).

Cet essai est un réplikat de l'essai installé par Irstea au printemps 2009 aux Barres (45), référencé DE_DF_2009.08 dans le programme national multi-organisme d'évaluation et homologation des variétés issues des vergers à graines de l'Etat.

Facteur étudié = Provenance avec 3 modalités :

- La Luzette : graines récoltées en 2004 dans le verger à graines non éclairci.
- Californie : graines récoltées en 2007 (récolte commerciale)
- Mélange = mélange pied à pied de ces 2 provenances

Variables de jugement : Taux de reprise / de survie, accroissement en hauteur, branchaison (densité, grosseur), fourchaison

DISPOSITIF :

Unités expérimentales : placeaux rectangulaires de 6*7=42 plants, installés à 3m x 3m (soit une surface de 378 m²).

Répétitions : 4, organisées **en blocs** (disposés dans le sens Nord-Sud)

Surface totale du dispositif : environ 90 ares, zone tampon de 4 lignes/rangs autour des blocs comprise (zone centrale de mesure de 45 ares environ)

Calendrier des mesures et observations :

Type de test	Nombre d'années après la plantation (année)				
	1 (fin 2012)	2 (fin 2013)	3 (fin 2014)	4 (fin 2015)	5 (fin 2016)
Evaluation	- Etat sanitaire - Hauteur (H1 et H0)	- Etat sanitaire	- Etat sanitaire	- Etat sanitaire	- Etat sanitaire - Hauteur - Branchaison - Fourchaison

Protocoles (cf. Protocole du réseau multisite) :

- état sanitaire : 0 (plant sain), 2 (sec en cime), 5 (abrousti), 6 (frotté), 7 (endommagé lors d'un dégagement), 8 (problème particulier à identifier dans une colonne "remarques"), 9 (mort).
- décoloration de feuillage : 0 (vert), 1 (jaune), 2 (rouge)
- déficit foliaire : nombre d'années d'aiguilles (1, 2, 3 années)
- hauteur totale :
- branchaison / fourchaison : à préciser dans le cadre du réseau

Analyses statistiques prévues :

- Pourcentages et variables continues : analyse de variance à 2 facteurs (provenance, bloc), sans interaction, sur les moyennes par unité expérimentale.

DATE D'INSTALLATION : 10/04/2012

REALISATION :

Préparation du terrain avant plantation (hiver 2011/12):

Exploitation à blanc de l'ancien TSF. Mise en andain des rémanents (souches feuillues laissées en place)

Broyage des andains de rémanents (broyeur à axe horizontal) restant après coupe rase.

La pression de gibier est estimée assez faible par l'ONF (6 à 7 chevreuils/100 ha, sangliers, pas de cerf). Il n'a donc pas été jugé utile d'enclorre l'essai. Toutefois, des protections individuelles contre l'abrouissement de type "manchette TS" seront apposées lors des mesures de l'automne (risque d'abrouissement principalement hors saison de végétation).

Plantation :

Plants **de 2 ans** élevés en conteneurs (WM de 560 cm³) à la pépinière d'Etat des Milles à Aix-en-Provence. Les plants sont issus de la modalité d'élevage "ombrière à 30% " et les deux dates de semis sont représentées à parts égales.

Piquetage des blocs et unités expérimentales le 10/04/2012.

Plantation en fente à la pioche (3 ouvriers ONF + BC X 5 heures) le 11/04/2012 à 3x3 m (1100 plants/ha).

Conditions climatiques favorables : après un hiver et début de printemps très sec, pluie forte le 10/04 ; ainsi qu'au cours de la semaine suivante.

Visites, mesures, travaux :

Visites de surveillance (reprise, dégâts de gibier...) prévues durant le printemps et l'été 2012.

Dégagement manuel des plants sur la ligne prévu en fin d'été 2012, à confirmer selon niveau de concurrence.

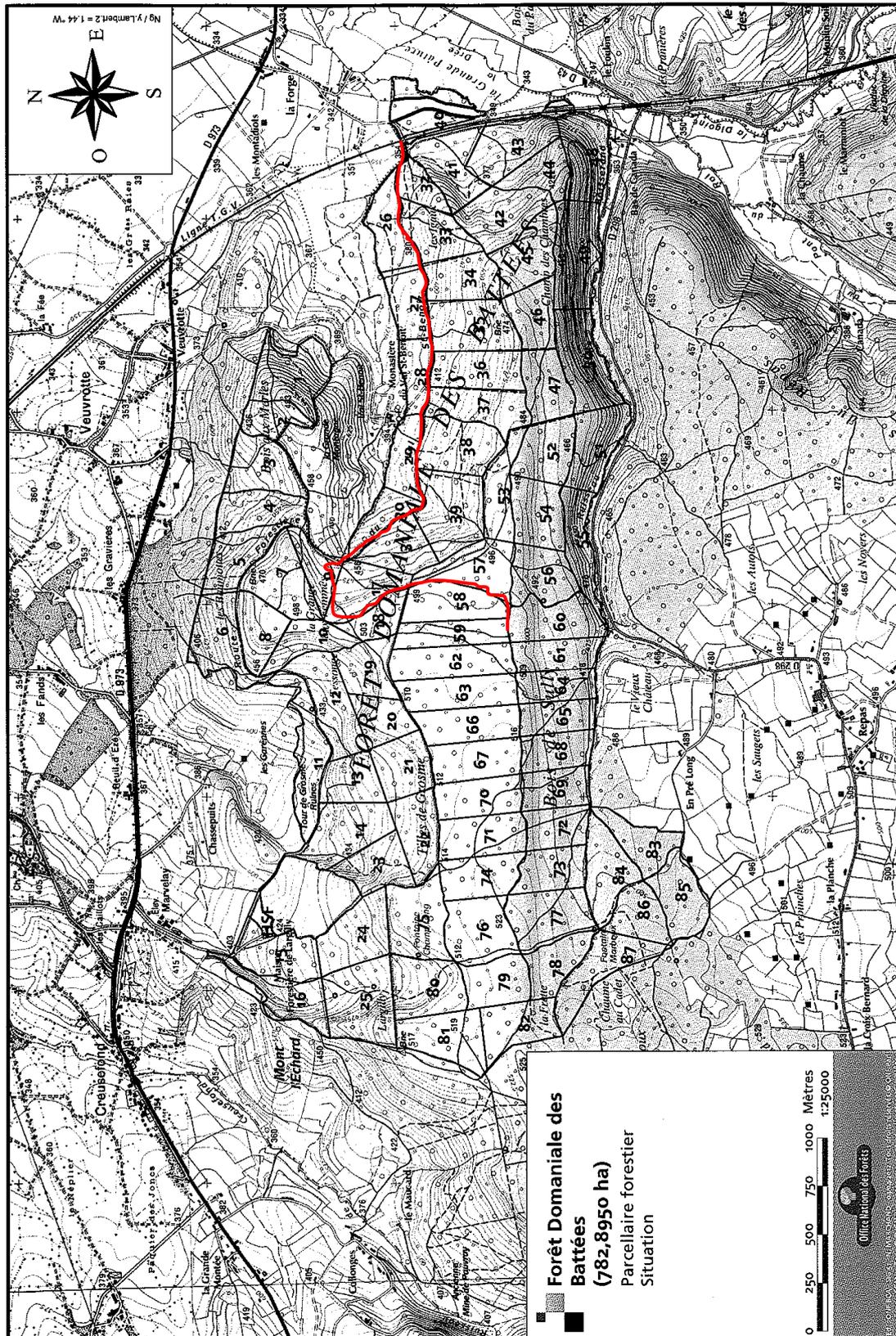
DUREE MINIMUM : 20 ans (au-delà de la première éclaircie)

PREMIERS RESULTATS SIGNIFICATIFS ATTENDUS : 5 ans (fin 2016).

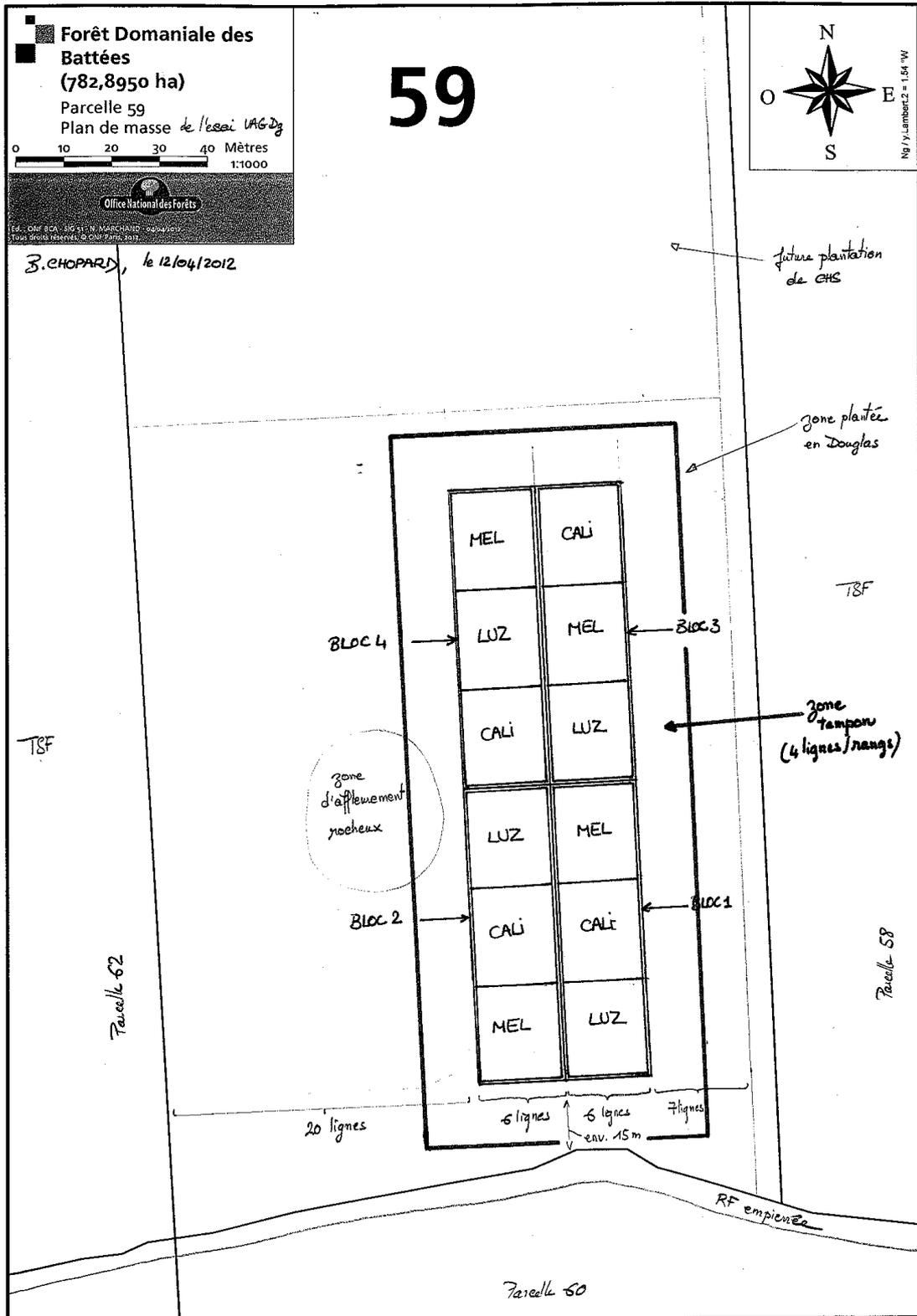
PLAN DE SITUATION et PLAN DU DISPOSITIF : voir annexes 1 et 2

L'essai a été fortement impacté par des gels printaniers, notamment la variété californienne. Cependant, le taux de survie est correct, de l'ordre de 90%, en fin de saison 2012.

Annexe 1 : Plan de situation et d'accès à la parcelle 59r



Annexe 2 : Plan du dispositif



- Dégagement des interlignes au printemps et le 30 novembre
- Mesures et notations effectuées le 29 novembre.

** 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. Les conditions de normalité et d'égalité des variances étaient généralement satisfaites sans changement de variable.

NB- Ont été éliminés des analyses les individus présentant, en 2012, une cime sèche ou des dégâts d'origine accidentelle (gibier, entretien).

- 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 2012)	(*)	NS
% cimes sèches	NS	NS
% dégâts de gibier	NS	NS
Jaunissement de feuillage	NS	NS
Déficit foliaire	***	*
Leaders doubles, triples, multiples	(*)	NS
Hauteur 2012	***	***
Accroissement hauteur 2011-2012	***	**

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

NS : non significatif

** Etat sanitaire*

Variété	% morts fin 2012 (1)	% cimes sèches (2)	% dégâts de gibier (2)	déficit foliaire		% arbres à plusieurs têtes (2)
				note moy.	% plants défoliés (3)	
WA 403	9.4	1.1	6.9	1.73 (b)	26.7 (a)	5.7
Darrington	9.4	3.4	9.2	1.77 (b)	24.7 (a)	19.5
Luzette non écl.	5.2	1.1	4.4	1.71 (b)	31.8 (a)	5.5
Luzette éclairci	8.3	3.4	6.8	1.69 (b)	31.8 (a)	7.9
France 1	6.2	2.2	4.4	1.75 (b)	25.6 (a)	11.1
France 2	4.2	2.2	14.1	1.69 (b)	31.9 (a)	10.9
France 3	9.4	5.7	9.2	1.81 (b)	21.8 (a)	13.8
Washington 2	9.4	2.3	11.5	1.80 (b)	20.9 (a)	8.0
Californie	5.2	2.2	7.7	1.44 (a)	58.2 (b)	7.7
Total	64 arbres (7,4%)	21 arbres (2,6%)	66 arbres (8,2%)	m = 1,71 années	241 arbres (30,5%)	80 arbres (10,0%)

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

(2) pourcentage calculé par rapport à l'effectif vivant fin 2012

(3) individus n'ayant conservé que les aiguilles 2012

- 8 nouveaux arbres morts en 2012 (3 France 3, 3 WA 403, 1 Darrington et 1 Luzette non éclairci) ; plusieurs d'entre eux avaient été endommagés en 2011 (chevreuil, travaux d'entretien). Le taux de survie global s'établit à 92,6% fin 2012.

- 21 individus présentent une cime sèche, soit 2,6% des arbres vivants. Dans la plupart des cas, ces descentes de cimes résultent de frottis de chevreuil.

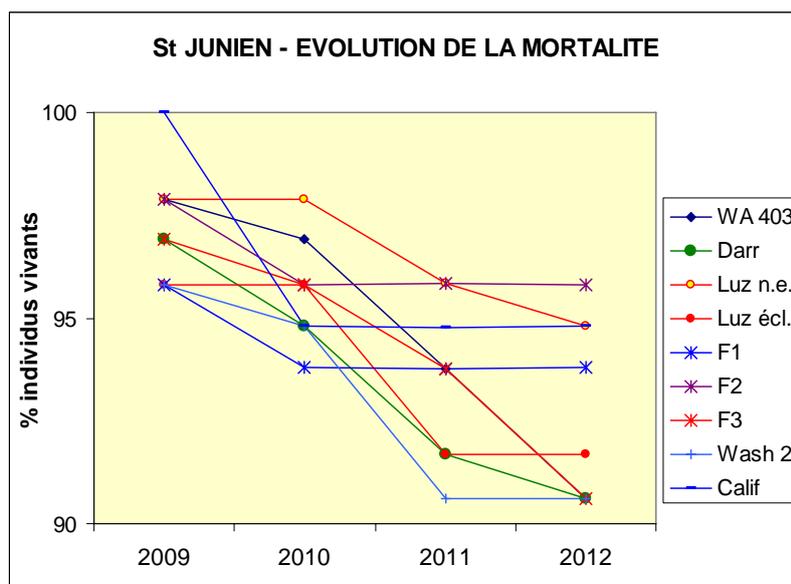
- 66 individus frottés (60) ou abroustis (6). Les dégâts de chevreuil, qui avaient explosé en 2011, sont en légère régression mais la menace est toujours présente. Les frottis, de même que la mortalité, sont répartis de manière relativement homogène sur la surface de l'essai.

- 80 individus ont plusieurs "têtes" (2, 3, voire plus). Ce défaut, qui est généralement la conséquence de frottis, d'abroustissements et, dans une moindre mesure, de dégâts d'entretien, a donc une origine accidentelle. La provenance Darrington est particulièrement touchée et elle diffère significativement de La Luzette non éclairci.

- 18 individus ont vu leur bourgeon terminal 2011 avorter, pour une raison inconnue (gel, insectes, ...). Dans ce cas, le leader 2012 s'est développé à partir d'un bourgeon subterminal, ce qui n'induit qu'une très faible perte de hauteur et un défaut de forme mineur. L'effet provenance n'est pas significatif.

- Les autres types de dégâts ou anomalies de croissance sont d'ampleur limitée (dégâts d'entretien, cimes cassées, fourches, pertes d'aiguilles en cime, ...).

- Aucun rougissement de feuillage n'est signalé et seulement 16 individus (2,0% de l'effectif vivant) présentent un jaunissement. Cependant, l'analyse du déficit foliaire montre une nette dégradation de l'état des arbres au cours des 12 derniers mois. Très peu d'individus conservent les aiguilles des trois dernières années alors qu'ils étaient majoritaires en 2011 (1,3 % versus 81%). En novembre 2012, 68,2% des arbres ont reçu la note 2 et 30,5 % la note 1 (fort déficit foliaire). Cette évolution, qui ne s'explique pas par l'occurrence de dégâts visibles, est surprenante car les conditions climatiques de 2012 étaient favorables à la croissance. Comme l'an dernier, le déficit foliaire est plus marqué chez les représentants de la variété californienne, dont 58% ne conservent qu'une année d'aiguilles, ainsi que dans la partie Nord du dispositif.

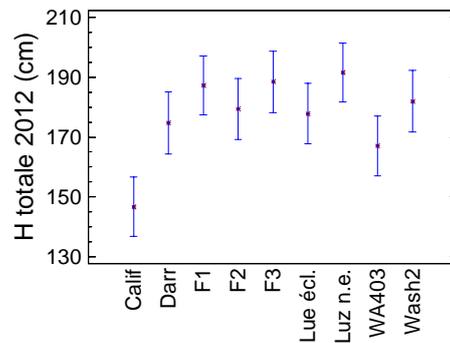
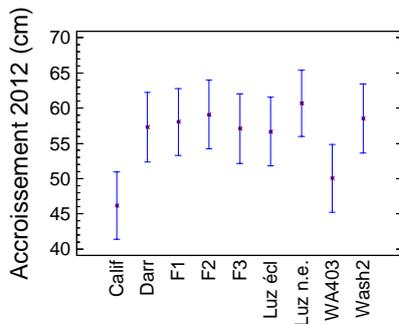


* Croissance en hauteur

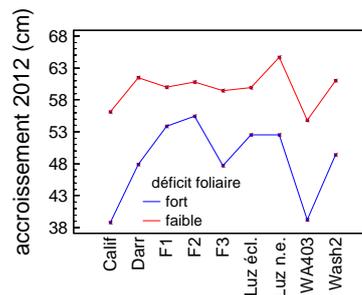
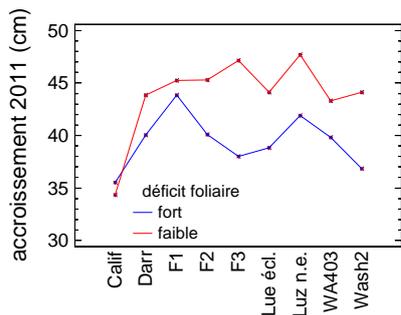
Variété	nb observations	hauteur 2012 (cm)	accroissement 2012 (cm)
WA 403	82	167.1 (b)	50.0 (ab)
Darrington	78	174.7 (bc)	57.3 (bc)
Luzette non écl.	85	191.6 (c)	60.7 (c)
Luzette écl.	81	177.8 (bc)	56.7 (bc)
France 1	85	187.3 (c)	58.0 (bc)
France 2	80	179.4 (bc)	59.1 (bc)
France 3	79	188.5 (c)	57.1 (bc)
Washington 2	79	182.0 (bc)	58.5 (bc)
Californie	83	146.7 (a)	46.1 (a)
Total/moyenne	732 arbres (91% des vivants)	m = 177 cm	m = 56 cm

- L'accroissement 2012 est supérieur à celui des précédentes années (56 cm). Les variétés issues des vergers d'origine Washington et France présentent une meilleure croissance annuelle que la variété "Californie" (+26%) et, à un degré moindre, la seed zone Washington 403 (+16%). En revanche, elles diffèrent peu les unes des autres.

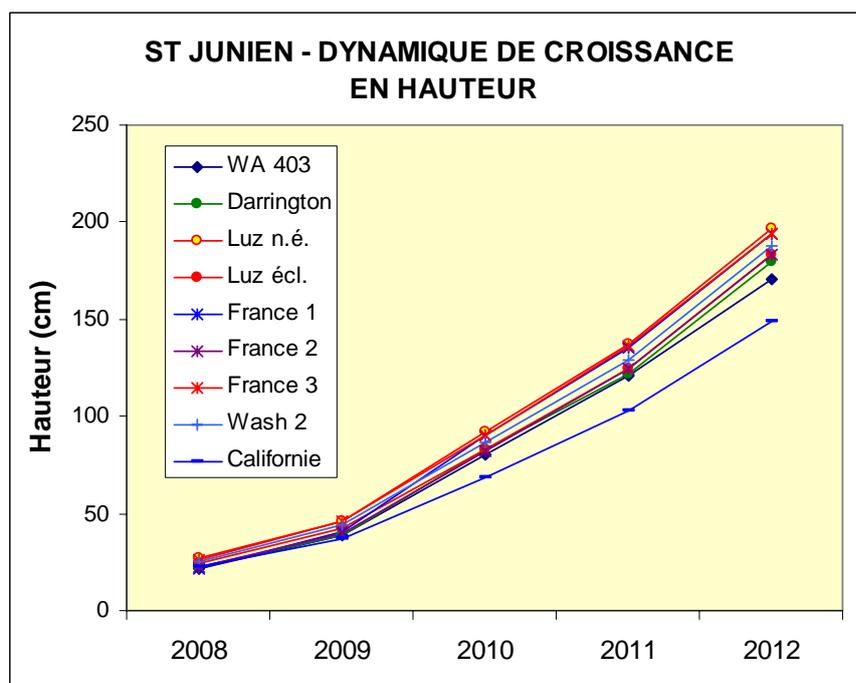
- La hauteur moyenne s'établit à 177 cm. Le classement de 2011 reste inchangé. Le "décrochement" de Californie s'accroît et WA 403 tend à se désolidariser du groupe des vergers "classiques".



- Les arbres à fort déficit foliaire ont un accroissement 2012 réduit de 20% par rapport au reste de la population (47,7 cm vs 60,0 cm). Il est intéressant de constater que ces individus étaient en quelque sorte "prédestinés" puisque déjà moins vigoureux en 2011 (hauteur totale et accroissement 2011 réduits). En revanche, la différence de croissance était peu perceptible en 2010. On peut donc poser l'hypothèse que les défoliations observées en 2012 résultent d'un stress survenu en 2011 (printemps sec p.ex.).



- Dans un deuxième temps, la hauteur totale et l'accroissement 2012 ont été analysés en sélectionnant cette fois les individus n'ayant subi aucun dégât depuis la plantation (cime sèche, gibier, travaux d'entretien). Cette population est constituée de 578 arbres, ce qui représente 72% des individus vivants. Les résultats fournis par ces analyses et la méthode classique sont quasiment identiques.



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 2012

- Notation de dégâts de gel le 30 mai 2012
- Notations d'état sanitaire et mesure de hauteur le 11 mars 2013.

** Quantification des dégâts de gel du printemps 2012*

Des dégâts de gel, se traduisant par l'avortement de bourgeons et le rougissement de pousses, ont été observés au printemps 2012. Les premiers symptômes sont attribués à un gel sévère survenu le 24 avril 2012 (-6°C à la station météo de la pépinière) et, peut-être, à la longue période de froid de février (température mini : -19°C). A cette date, les plants n'avaient pas encore débourré mais beaucoup de bourgeons étaient gonflés et donc vulnérables. Les rougissements et dessèchements de pousses ont été occasionnés par le gel du 16 mai (-3°C sous abri), date à laquelle la majorité des plants avait débourré.

Des notations ont été effectuées le 30 mai, pour caractériser le comportement des variétés évaluées :

- avortement du bourgeon terminal (note 0-1)

- intensité des rougissements de pousses estimée via une note de 0 à 3 :

0- plant indemne

1- moins de 30% des pousses touchées (essentiellement dans la partie basse du plant)

2- dessèchement de 50 à 90% des pousses mais leader indemne

3- totalité des pousses gelées.

** Résultats : bilan général*

Variable étudiée	Effet provenance	Effet répétition
% plants présentant un BT avorté	*	NS
Dessèchement de pousses	***	***

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

NS : non significatif

** Comportement des variétés*

Provenance	% plants avec BT avorté (1)	dessèchement de pousses	
		note moyenne	% plants gravement endommagés (2)
WA 403	13.5 (ab)	1.49 (c)	47.4 (b)
Darrington	13.5 (ab)	1.32 (bc)	41.7 (ab)
Luzette non écl.	6.3 (ab)	1.13 (ab)	28.7 (ab)
Luzette éclairci	9.6 (ab)	1.11 (ab)	30.1 (ab)
France 1 (2006)	7.4 (ab)	1.42 (bc)	43.6 (ab)
France 1 (2007)	3.1 (a)	1.36 (bc)	43.2 (ab)
France 2	11.5 (ab)	1.42 (bc)	45.2 (ab)
France 3	14.6 (ab)	1.15 (ab)	30.2 (ab)
Washington 2	9.4 (ab)	0.95 (a)	27.4 (a)
Californie com.	21.2 (b)	2.15 (d)	76.5 (c)
Calif expé	13.8 (ab)	2.35 (d)	82.8 (c)
Moyenne	11,1%	1,44	44,6%

(1) BT : bourgeon terminal

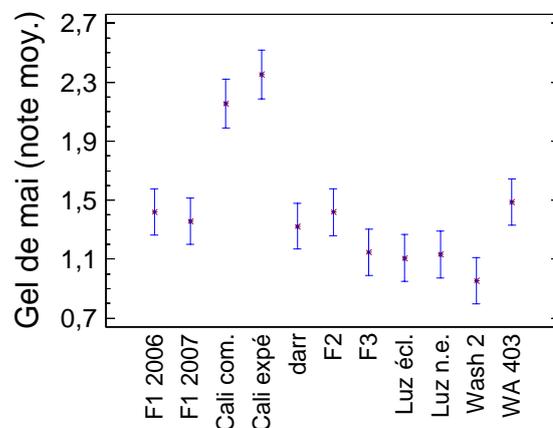
(2) notes 2+3

- Les avortements de bourgeons terminaux ne concernent que 11% des individus. Ils sont un peu plus fréquents dans la partie Est du dispositif mais l'effet "répétition" n'est pas significatif. L'effet génétique s'explique par le fait que les deux variétés extrêmes (France 1, récolte 2007 et récolte commerciale du verger Californie) diffèrent significativement. D'autre part, les avortements (intra-variété) sont indépendants de la hauteur des plants. Les sujets les plus

précoces tendent à être plus atteints mais le coefficient de corrélation est très faible ($r = -0.09^{**}$).

- Le gel du 16 mai a causé des dégâts bien plus importants puisque 82% des plants présentent des pousses rougies qui ne tardent pas à se dessécher. 45% des individus du dispositif ont plus de la moitié de leurs pousses gelées et 15% sont touchés en totalité (et ont donc perdu leur pousse terminale). Les variétés sont atteintes à des degrés divers. La plus endommagée est, de loin, Californie dont 80% des représentants se sont vus affecter une note 2 ou 3 (39% et 41% des plants respectivement). Parmi les autres variétés, on distingue un gradient de sensibilité entre Washington 2, la moins exposée (27% d'individus gravement endommagés), le couple La Luzette – France 3 (30%), et un groupe composé de Darrington, France 1, France 2 et le témoin Washington 403 (42-47% de plants très touchés).

Moyennes et intervalles à 95,0% de Tukey HSD

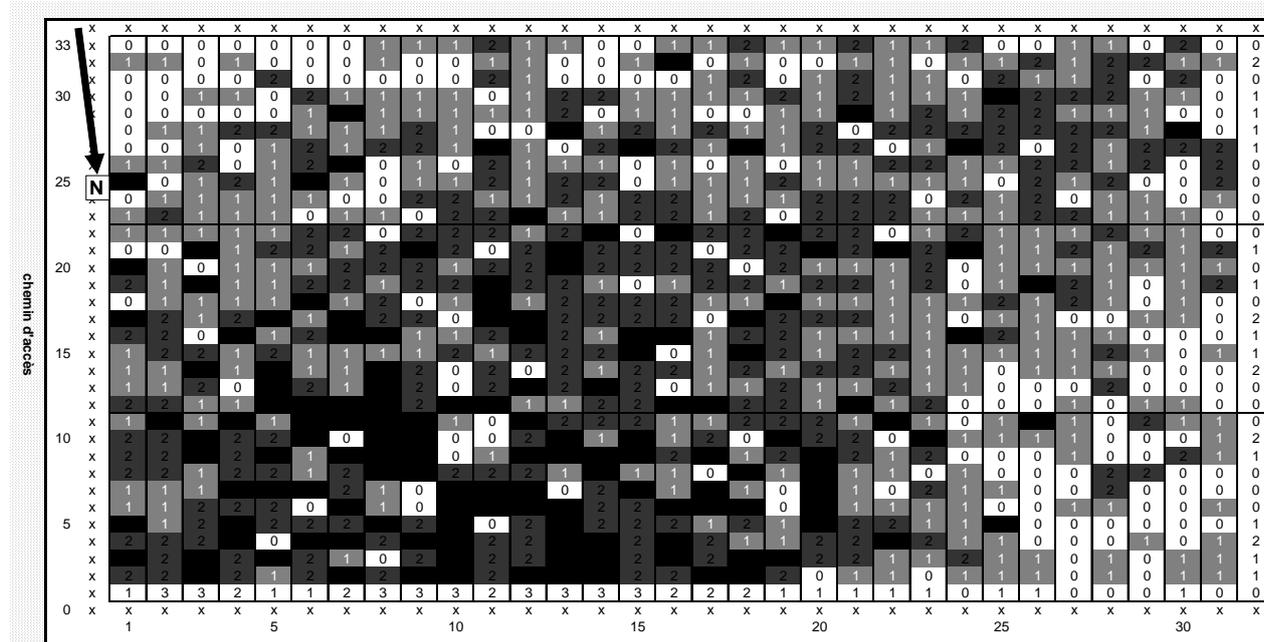


On reconnaît là le classement des variétés pour la tardiveté de débourrement et on observe en effet une très forte corrélation entre la note de dégâts et la tardiveté ($r = -0.95^{***}$ au niveau "variété"). Logiquement, les provenances les plus précoces sont les plus endommagées. D'une part, certains individus n'avaient sans doute pas complètement débourré – en 2010, année marquée par un hiver moins rude et donc par un débourrement sans doute plus hâtif qu'en 2012, 12% des bourgeons terminaux n'avaient pas encore éclaté le 16 mai – et, d'autre part, il est possible/probable que les pousses venant d'émerger soient moins sensibles au gel que les pousses en allongement car les aiguilles forment une (relative) protection contre le gel.

Il est cependant impossible de dissocier tardiveté de débourrement et hauteur car les provenances tardives s'avèrent également les plus vigoureuses dans ce test ($r = 0.83^{**}$). De ce fait, la note de dégât de gel se trouve aussi très liée à la hauteur ($r = -0.95^{***}$ au niveau "variété"). Ce résultat est tout aussi compréhensible puisque la température s'élève à mesure qu'on s'éloigne du sol.

Pour affiner le diagnostic, des analyses ont été effectuées au niveau individuel (arbre) en sélectionnant les variétés pour lesquelles tardiveté de débourrement (évaluée en 2010) et croissance sont indépendantes (toutes les provenances sauf La Luzette et Californie). Il s'avère alors que les dégâts de gel sont négativement corrélés à la hauteur 2011 ($-0.22^* < r < -0.46^{***}$ selon la variété) mais pas à la phénologie. Il est donc vraisemblable que l'impact du gel du 16 mai 2012 soit plus fonction de la hauteur des plants que de leur période de débourrement.

Ces dessèchements de pousses ne sont pas répartis aléatoirement dans le dispositif mais concentrés dans la partie Nord-est, ce qui s'explique par la topographie ("trou à gelée").



Localisation des dégâts de gel du mois de mai 2012 (les cases noires correspondent à la note 3)

* *Etat sanitaire et hauteur*

La neige a retardé les mesures et les données n'ont pu être analysées. Les résultats seront présentés dans le rapport d'activité 2013.

2.1.1.3.- 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 2012

- Dégagement sur les lignes de plantation le 14 novembre
- Notation d'état sanitaire et mesure de hauteur le 14 novembre.

Les données n'ont pas été analysées. Les résultats seront présentés dans le rapport d'activité 2013.

2.1.1.4.- Saulieu (EV_DF_2011.02 – ONF)

Ce dispositif en grandes parcelles unitaires, testant 9 provenances (dont 8 vergers à graines) et planté fin mars 2011, a été présenté dans le compte rendu d'activité 2011, pp. 10-11.

* Interventions 2012 et faits marquants

Le dispositif a fait l'objet de plusieurs visites de contrôle de l'état sanitaire au cours de la saison de végétation 2012.

- 2 mai 2012 : retassement généralisé au pied des plants suite déchaussement hivernal (alternance gel/dégel et vent)
- 11 mai 2012 : traitement en plein contre l'hylobe (FORESTER 2L/100L ; 20 L de bouillie pour environ 1000 plants) (420 euros HT)
- début mai 2012 : gelée tardive (-6°C)
- 21 août 2012 : orage de grêle
- 23 août 2012 : visite de contrôle et dégagement manuel de quelques plages de fougère aigle
- septembre 2012 : dégagement sur la ligne à la débroussailleuse (environ 1m de part et d'autre des plants ; env. 4 HJ ETF = 910 euros HT)
- 9 et 10/10/12 : Mesures de la hauteur 2012 et notations d'état sanitaire de toutes les placettes - pose de manchettes TS (protections individuelles contre l'abroustissement) sur deux blocs
- 19/11/2012 : fin de pose des protections individuelles (0,5 h/j)

* Protocole de mesure

Les observations et mesures effectuées concernent l'état physiologique des plants et leur croissance en hauteur de l'année (hauteur fin 2012).

- Etat général

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

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

Le code 8 a été attribué à des plants présentant :

- un (ou des) dégât(s) de morsure d'hylobes (38 plants concernés)
- un dégât de gel de mai sur la pousse terminale (203 plants)
- un ou des dégâts de grêle laissant une blessure encore non refermée lors des mesures d'octobre 2012 (336 plants concernés)
- une cime double multiple (52 plants concernés)
- le bourgeon terminal ou la cime cassée ou une blessure (7 plants).

Le code 10 a été attribué à 6 plants disparus (arrachés) en 2010, déjà notés ainsi en 2011.

- Décoloration du feuillage :

0- plant vert 1- jaune 2- rouge

Sur 1728 plants installés, seuls 30 plants ont été notés "1" (jaunissant) et 3 ont été notés "2".

- Déficit foliaire apprécié via le nombre d'années d'aiguilles présentes sur les ramifications de la pousse 2010 (1, 2 ou 3 années) :

* 1 seul plant a été noté "1" c'est à dire ne présentant qu'une seule année d'aiguilles (2012)

* 26 plants ont été notés "2" c'est à dire ne présentant que 2 années d'aiguilles (2011 et 2012)

- Hauteur totale 2012.

** Analyses statistiques*

- Proportions (pourcentages) et variables continues : analyse de variance à deux facteurs (provenance + bloc, considérés respectivement comme fixe et aléatoire) sans interaction sur les valeurs moyennes par parcelle unitaire. Les groupes homogènes au seuil de 5% ont été déterminés à l'aide du test de Newman-Keuls. Aucune transformation de variable n'a été nécessaire pour satisfaire aux conditions de normalité et d'égalité des variances.

NB- Ont été retirés des analyses de hauteur les individus souffrant de cime sèche/cassée, endommagés par le gibier (frottis/abrouissement) ou endommagés lors des travaux d'entretien. En revanche les plants jaunissant/rougissant ou souffrant de déficit foliaire ont été conservés.

** Résultats : bilan général*

Variable étudiée	Effet provenance	Effet bloc
% mortalité	(*)	(*)
% nouveaux morts 2012	NS	NS
% cimes sèches	**	(*)
% dégâts de gibier	NS	NS
% dégâts débroussailleuse	NS	NS
% dégâts d'hylobes	(*)	NS
% plants avec coloration anormale	NS	NS
% de plants gelés	**	***
Déficit foliaire (nb d'années d'aiguilles)	NS **	* ***
% dégâts de grêle	NS	*
% cimes doubles/multiples	***	**
Hauteur 2012	**	***
Accroissement en hauteur 2012		

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

NS : non significatif

** Mortalité et état sanitaire*

Provenance	% morts fin 2012 (1)	% nouveaux morts en 2012 (1)	% cimes sèches (2)	% dégâts de gibier (2)	% dégâts débrou (2)	% dégâts hylobe (2)	% coloration anormale (2)
Californie	7,8	4,2	18,6 (b)	5,1	2,3	0,0	1,1
Darrington	6,3	2,6	9,4 (ab)	2,8	1,1	11,1	2,8
France 1	1,6	1,0	3,2 (a)	3,2	0,0	5,3	3,2
France 2	4,2	3,1	9,2 (ab)	7,6	0,0	15,2	1,6
France 3	4,2	3,1	7,6 (ab)	6,5	0,0	3,8	2,7
Luzette éclairci	2,1	2,1	4,8 (a)	3,7	0,5	5,3	2,7
Washington	3,6	1,0	2,2 (a)	4,9	0,0	0,5	0,5
Washington 2	2,6	1,6	2,7 (a)	3,7	0,0	2,1	2,1
Washington 403	5,9	3,2	8,0 (ab)	4,5	0,6	8,0	1,1
Moyenne	4,2	2,4	7,2	4,7	0,5	5,7	2,0

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

(2) pourcentage/moyenne calculé par rapport à l'effectif vivant fin 2012

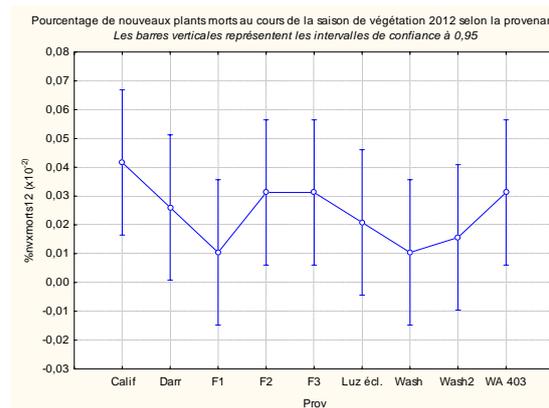
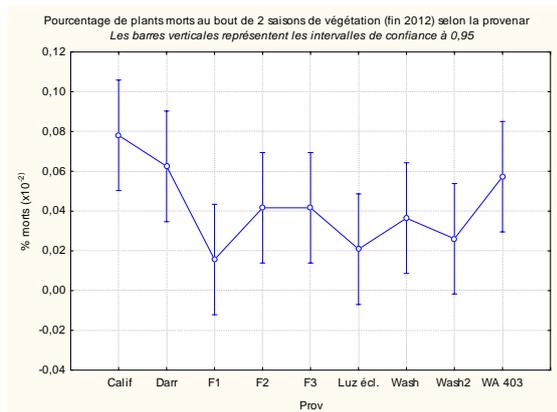
Provenance	% plants grêlés (2)	% BT gelé (2)	Nombre moyen années aiguilles	% cime double /multiple (2)
Californie	11,9 (a)	35,0 (b)	2,99	13,0
Darrington	23,9 (ab)	27,2 (ab)	2,98	13,9
France 1	26,1 (ab)	12,2 (ab)	2,99	9,0
France 2	24,5 (ab)	15,8 (ab)	3,00	10,9
France 3	35,9 (b)	20,1 (ab)	2,98	8,2
Luzette éclairci	27,7 (ab)	11,2 (ab)	2,98	6,9
Washington	14,1 (a)	3,2 (a)	2,96	4,9
Washington 2	17,6 (a)	10,7 (ab)	2,99	8,0
Washington 403	18,2 (a)	32,4 (b)	2,97	10,2
Moyenne	22,3	18,4	2,98	9,4

(2) pourcentage/moyenne calculé par rapport à l'effectif vivant fin 2012

Après 2 années de croissance sur le terrain, **le taux de mortalité s'établit en moyenne à 4,2%**. Il n'a que faiblement augmenté au cours de cette seconde année de végétation, probablement à la faveur de conditions hydriques particulièrement favorables.

Bien que certaines tendances semblent se dessiner (mortalité légèrement plus forte pour Californie), au seuil de 5%, aucune des provenances ne se distingue significativement ni pour le pourcentage de mortalité global fin 2012, ni pour la mortalité courant 2012. On n'observe pas non plus d'effet bloc significatif.

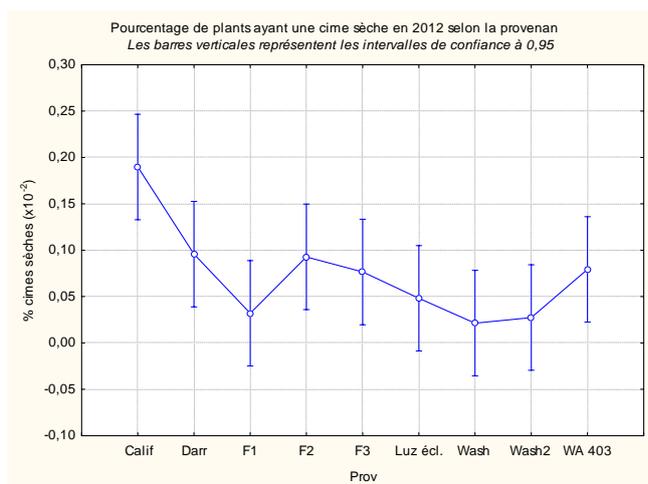
La survie au bout de 2 ans est tout à fait satisfaisante, avec plus de 95 %.



Etat sanitaire

Dans leur majorité, les plants vivants sont en bonne santé ; plus en détail toutefois, on peut relever :

- 119 individus à cime sèche (7,2% de l'effectif total de plants vivants fin 2012) avec un effet significatif de la provenance : Californie se distingue statistiquement du groupe « Wash, Wash2, Fra1 et Luz. écl. »



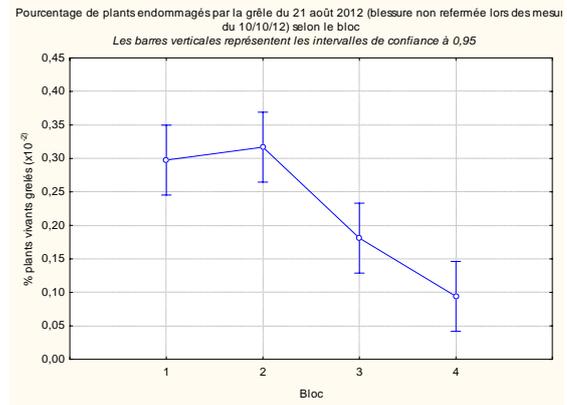
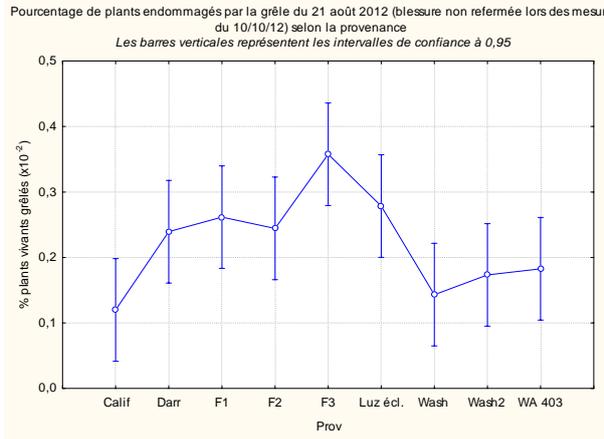
- 77 plants endommagés par le gibier (dont 49 abrutis et 28 frottés), soit 4,7 % de l'effectif de plants vivant fin 2012 (aucun effet provenance/bloc).
- 8 plants endommagés lors du dégagement des plants effectué en septembre (certains d'entre eux, simplement écorcés, devraient repartir).
- Grâce sans doute à un traitement préventif début mai, les dégâts d'hylobes ne concernent en 2012 que 94 plants vivants, sans effet significatif de la provenance ou du bloc.
- 36 individus présentent une coloration anormale dont seulement 3 sont notés « rougissant », là encore sans effet significatif de la provenance ni du bloc.
- 27 plants vivants fin 2012 présentent un déficit foliaire, dont 1 seul ne présente qu'une seule année d'aiguilles. Sur le nombre moyen d'années d'aiguilles, on n'observe pas

d'effet de la provenance mais un léger effet bloc (en moyenne 2,96 années dans le bloc 2 contre 2,99 dans les 3 autres blocs), peut-être lié à un effet observateur...

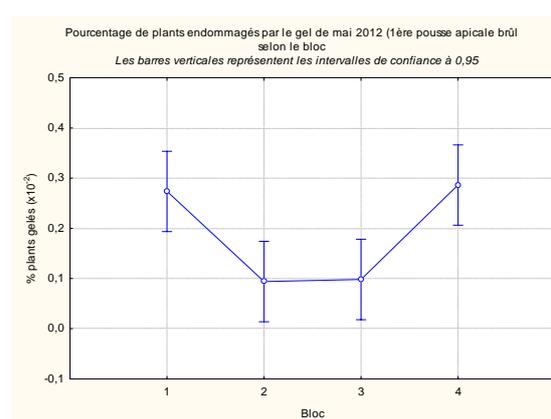
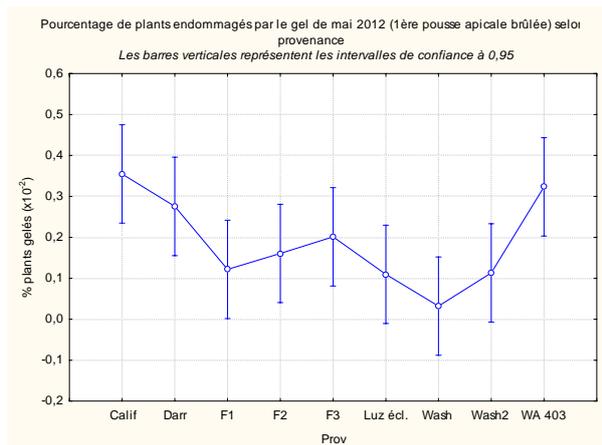
- 155 plants (soit près de 10 % de l'effectif vivant fin 2012) ont été notés « double » ou « multi-tête ». Si Californie et Darrington ont tendance à être légèrement plus sujets à la fourchaison (respectivement 13 et 14 % de plants vivants), l'effet provenance n'est pas significatif. On observe un léger effet bloc (5 % de cimes doubles/multiples dans le bloc 4 contre 10 à 12 % dans les autres blocs) qui reste difficile à interpréter en dehors d'un effet observateur...

Deux phénomènes plus répandus sont à souligner :

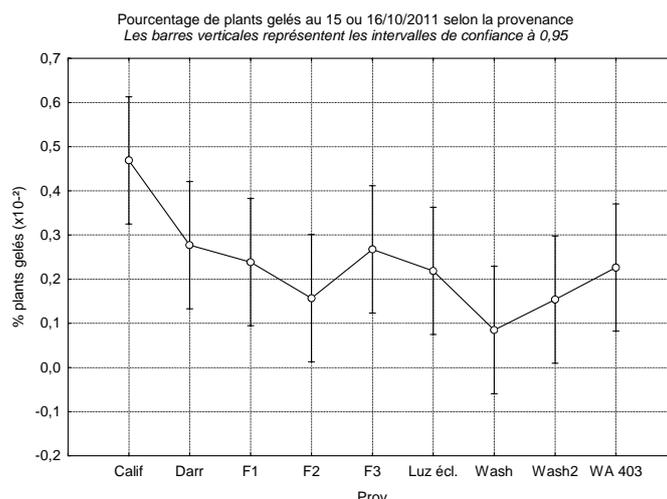
- Les **dégâts de l'orage de grêle** du 21/08 affectent 367 plants vivants fin 2012 :
 - curieusement, la provenance France 3 est statistiquement plus touchée que le groupe « Californie, Washington, Wash.2 et Wash 403 »
 - les blocs 1 et 2 –peut-être parce qu'ils sont moins protégés par les peuplements de bordure encore sur pied situés au Sud et à l'Est de l'essai (grêle venue surtout du Sud)- sont significativement plus touchés.



- Les **dégâts de gel de mai** (1^{ère} pousse apicale de printemps gelée) affectent 304 plants vivants fin 2012 :
 - les provenances Californie et Washington 403 sont significativement plus impactées que le verger Washington.
 - les blocs 1 et 4 sont plus touchés (25 à 30 % de plants gelés contre environ 10%), peut-être parce qu'ils sont les plus éloignés du peuplement adulte de bordure situé au Sud de l'essai.



Il faut rappeler qu'un gel précoce avait également été observé lors des mesures de l'automne précédent : mi-octobre 2011, alors que de nombreux plants n'étaient pas encore totalement aoûtés, 392 plants présentaient des marques de gel (dont 45 sur la pousse terminale). La proportion de plants atteints par le gel était déjà significativement différente entre les provenances Washington (8,6% de plants touchés) et Californie (47%). On remarquera la similitude des 2 graphiques !



* *Croissance en hauteur*

Provenance	Hauteur 2011 (cm) <i>Pour mémoire</i>	Hauteur 2012 (cm)	accroissement sur la saison 2012 (cm)	nb de plants considérés pour le calcul de l'accroissement 2012
Californie	39,1 (a)	64,5 (a)	26,3 (a)	131
Darrington	44,1 (ab)	77,5 (b)	34,7 (b)	158
France 1	57,6 (cd)	99,3 (c)	41,6 (b)	180
France 2	54,1 (bcd)	91,8 (bc)	36,9 (b)	157
France 3	55,9 (bcd)	92,8 (bc)	35,6 (b)	160
Luzette éclairci	53,8 (bcd)	90,5 (bc)	36,6 (b)	172
Washington	62,2 (d)	99,8 (c)	37,8 (b)	174
Washington 2	57,8 (cd)	95,2 (bc)	38,4 (b)	176
Washington 403	47,7 (abc)	81,1 (bc)	33,2 (b)	155
Moyenne	52,6	89,4	36,3	1463

Fin 2011 les hauteurs moyennes différaient déjà significativement entre provenances : les provenances Washington, France 1 et Washington2, s'établissaient loin devant Californie et Darrington.

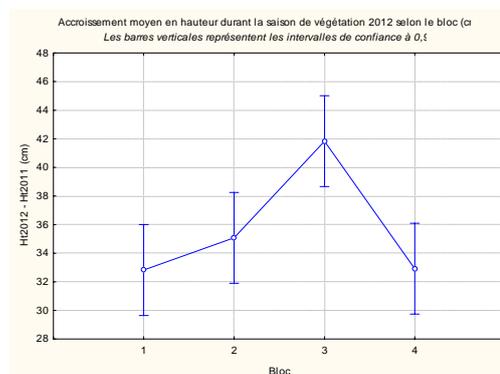
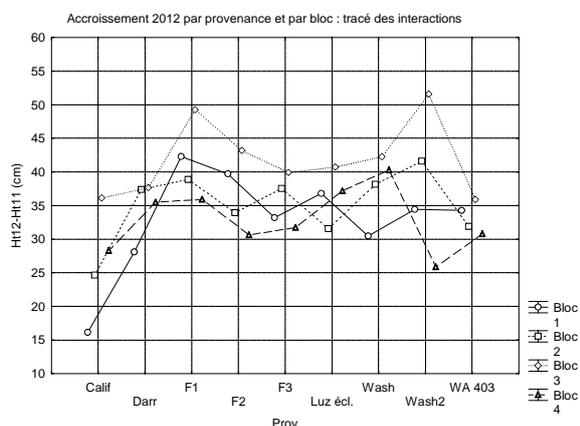
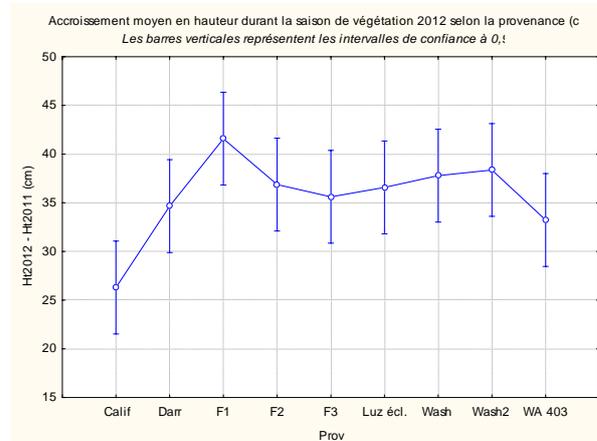
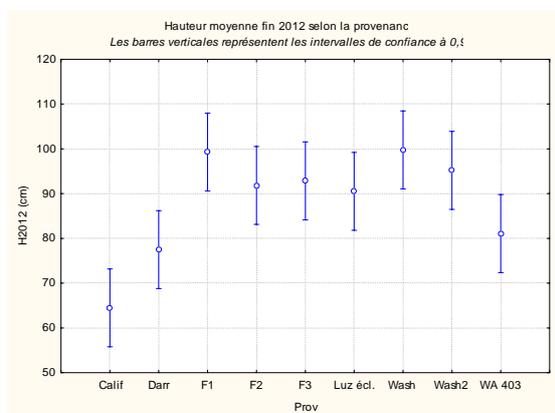
Fin 2012, après 2 saisons de végétation depuis la plantation, 3 groupes se distinguent :

- en tête, les vergers Washington et France 1, qui se détachent significativement de Californie et Darrington
- en tout dernier, le verger Californie, significativement moins vigoureux que tous les autres testés ici
- en situation médiane, un groupe constitué des vergers France2, France3, Luzette éclairci, Washington 2 et Washington 403, qui ne diffèrent statistiquement que de Californie.

En moyenne, les plants se sont allongés de 36,3 cm en 2012, ce qui porte la hauteur totale fin 2012 à 89,4 cm. Sur ce critère d'accroissement 2012, seule la provenance Californie se distingue des autres, nettement en retrait avec seulement 26,3 cm.

La croissance observée est globalement élevée ; elle s'explique probablement par l'âge des plants lors de la plantation (2 ans) et par les conditions de croissance favorables des années 2011 et 2012 (mis à part le 1^{er} printemps particulièrement sec) sur ce site en « cœur de l'aire » (forte pluviométrie y compris estivale, longue saison de végétation).

Le bloc 3 (croissance supérieure) se distingue significativement des autres, tant pour l'accroissement 2012 que pour la hauteur 2012. Ceci s'explique peut-être par l'abri constitué involontairement par le peuplement adulte situé en bordure Sud de l'essai, qui pourrait « tamponner » les effets climatiques (sécheresse / fortes chaleurs du printemps 2011, gel d'automne 2011 et de printemps 2012).



L'effet "provenance" sur la croissance au cours de cette saison 2012 est probablement en partie occulté par une interaction provenance x bloc (cf. notamment le comportement atypique de Washington 2 dans le bloc 4). L'ordre des provenances à l'issue de cette première saison de végétation semble globalement conforme aux premiers résultats sur le réseau (cf. Rapport « Evaluation VFA » de février 2012).

** Poursuite de l'essai*

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

Un entretien des interlignes au gyrobroyeur est programmé pour l'été 2013, qu'il sera peut-être nécessaire de compléter par un dégagement sur la ligne.

Des visites de contrôle de l'état sanitaire seront effectuées courant 2013, notamment vis-à-vis du risque Hylobe et Gibier.

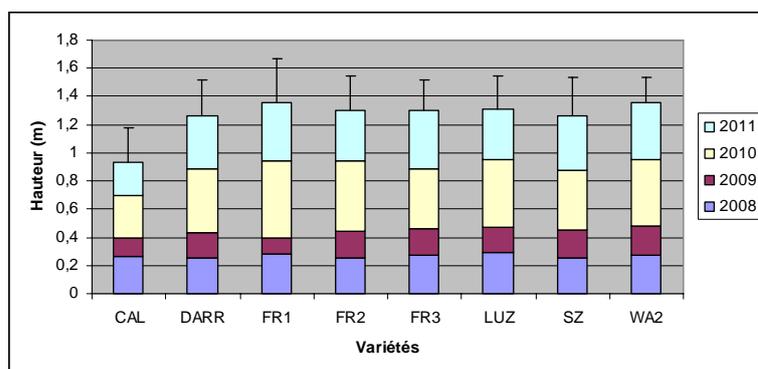
2.1.1.5.- St Agnant-près-Crocq (DE_DF_2009.01 –CNPF)

Ce test de démonstration, constitué de 8 placettes unitaires de 60 plants de chaque variété, a été planté début mai 2009 dans la Creuse (cf rapport de février 2011, pp 159-160). Sont présentés ci-dessous les résultats des observations de l'hiver 2011/2012 qui n'avaient pu être intégrés dans le précédent rapport.

	% morts 2011 (*)	% plants vivants avec cime sèche	Nbre de plants analysables	Haut. 2011 (écart type) en m
WA 403	2 (+2)	2	54	1.26 (0.28)
Darr	0	0	56	1.26 (0.26)
Luz	12 (+7)	6	50	1.31 (0.24)
FR1	5 (+2)	5	52	1.36 (0.31)
FR2	2 (+2)	0	54	1.30 (0.25)
FR3	4 (+4)	0	56	1.30 (0.22)
WA2	5 (+5)	12	47	1.36 (0.18)
Calif	22 (+20)	17	38	0.93 (0.25)
Moyenne	6 % (+5)	5 %		1.24 (0.28)

* : progression par rapport à 2010

** Croissance comparée des 8 variétés sur les 3 premières années*



** Débourrement et dégâts de gel du printemps 2012*

Par ailleurs, le 22 mai 2012, le stade de débourrement des plants du dispositif a été noté (échelle de 1 à 6 de Faucher *et al.*, 2006) et l'importance des dégâts liés au gel survenu quelques semaines auparavant (début mai 2012) a été quantifiée à l'aide de 3 notes (0 : aucun dégât, 1 : dégâts faibles (quelques pousses gelées (n<10)), 2 : dégâts forts (majorité de pousses gelées)).

Par facilité, les résultats sont présentés par des notes moyennes (*cf.* ci-dessous) calculées sur les arbres analysables (non blessés et sans descente de cime).

	Note moyenne de débourrement le 22 mai 2012	Note moyenne de dégâts de gel
WA 403	5.65 (0.62)	1.55 (0.54)
Darr	5.32 (0.69)	1.38 (0.75)
Luz	5.24 (1.19)	0.49 (0.58)
FR1	5.96 (0.19)	0.57 (0.50)
FR2	5.69 (0.54)	1.04 (0.59)
FR3	5.57 (0.66)	1.21 (0.62)
WA2	4.79 (1.16)	0.33 (0.56)
Calif	6 (0)	1.15 (0.54)
Moyenne	5.53 (0.80)	0.96 (0.76)

Quelle que soit la variété considérée, le débourrement était très avancé au moment de l'observation. Le classement qui en résulte est néanmoins cohérent avec les dynamiques précédemment observées et confirme la tardiveté de débourrement de Washington 2 par rapport aux autres variétés.

2.1.1.6.- 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.

** Etat sanitaire et hauteur 2012*

Les chutes de neige n'ont pas permis de terminer les mesures du dispositif à temps pour les intégrer à ce rapport. Les résultats des variétés Darrington, France 2 et Washington 403 ne figurent donc pas dans le tableau ci-dessous et seront intégrées dans le prochain rapport.

	% morts	% plants jaunes	% cime sèche	Haut. 2012 (écart type) en m	Effectif analysé
Luz	0	0	0	1.266 (0.268)	60
FR1	0	0	2	1.273 (0.308)	57
FR3	0	0	0	1.349 (0.348)	60
WA	2	0	0	1.280 (0.304)	58
WA2	0	2	0	1.318 (0.290)	59
Calif	2	0	7	0.988 (0.239)	55

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).

Sont présentés ci-dessous les résultats des mesures réalisées en 2012, mais aussi ceux de 2010 et 2011 qui n'avaient pu être intégrés aux rapports d'activité précédents.

** Interventions 2012*

- 16 octobre 2012 : notations d'état sanitaire, mesure de la hauteur totale, étiquetage de tous les plants.

** Protocole*

Les notations ont été effectuées en suivant le protocole général décrit dans la section 2.1. de ce document. De plus, ont été notés en observation les plants présentant des défauts de forme : doubles, fourchus, baïonnettes, cimes doubles ou multiples, cimes cassées, etc
Ce dispositif étant engrillagé, il n'y a pas de dégâts de gibier. Il n'a jamais été non plus constaté d'attaque d'hylobe.

** Analyses statistiques*

- Les proportions (pourcentages) ont été analysées à l'aide du test de Khi-deux.
- Variables continues : analyse de variance à deux facteurs (provenance et répétition, considérés respectivement comme fixe et aléatoire) sans interaction, et comparaison des moyennes à l'aide du test de Newman-Keuls. Toutefois, malgré plusieurs tentatives de transformation de variables, il n'a pas été possible de satisfaire aux conditions de normalité et d'égalité des variances pour les variables de croissance.

NB- Les individus souffrant de cime sèche/cassée ou endommagés lors des travaux d'entretien, ainsi qu'un individu présentant une croissance négative (cause grêle), ont été retirés des analyses de hauteur et d'accroissement ; en revanche, les plants jaunissants ou présentant une défoliation partielle ont été conservés.

** Résultats : bilan général*

Variable étudiée	Effet provenance	Effet répétition
% mortalité	***	NS
% cimes sèches	*	NS
Décoloration	*	**
% Défoliation	***	*
Défauts de forme	NS	NS
Hauteur 2012	***	NS
Accroissement moyen annuel en hauteur 2011-2012	***	NS

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

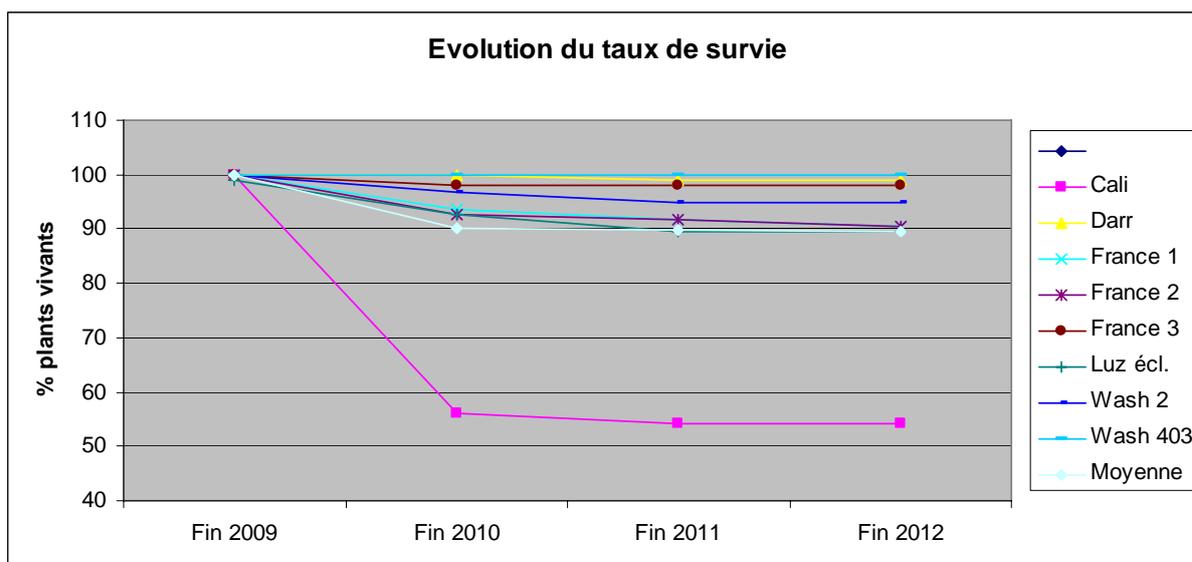
NS : non significatif

Note : l'analyse du taux de mortalité a été effectuée sur la mortalité cumulée depuis l'installation du dispositif. Il n'en est pas de même pour les autres critères d'état sanitaire, pour lesquels seuls ont été pris en compte les défauts constatés lors de la présente campagne de notation. (ex : un plant présentant une cime sèche en 2011, s'il a reconstitué une pousse en 2012, n'a pas de nouveau été noté cime sèche en 2012. L'analyse statistique ne concerne donc que les cimes ayant séché au cours de la saison 2011-2012).

** Etat sanitaire*

Provenances			Cali	Darr	France 1	France 2	France 3	Luz écl.	Wash 2	Wash 403	Total
											Moyenne
Mortalité cumulée	2010	Nombre	42	0	6	7	2	7	3	0	67
		%	43.8%	0.0%	6.3%	7.3%	2.1%	7.3%	3.1%	0.0%	8.7%
	2011	Nombre	44	1	8	8	2	10	5	0	78
		%	45.8%	1.0%	8.3%	8.3%	2.1%	10.4%	5.2%	0.0%	10.2%
	2012	Nombre	44	1	9	9	2	10	5	0	80
		%	45.8%	1.0%	9.4%	9.4%	2.1%	10.4%	5.2%	0.0%	10.4%
Cimes sèches 2012	Nombre	8	3	6	4	7	8	1	2	39	
	%	15.4%	3.2%	6.9%	4.6%	7.4%	9.3%	1.1%	2.1%	5.7%	
Coloration anormale 2012	Nombre	9	4	10	4	14	5	4	6	56	
	%	17.3%	4.2%	11.5%	4.6%	14.9%	5.8%	4.4%	6.3%	8.1%	
Défoliation 2012	Nombre	7	0	3	1	5	1	1	2	20	
	%	13.5%	0.0%	3.4%	1.1%	5.3%	1.2%	1.1%	2.1%	2.9%	
Défauts de forme 2012	Nombre	21	32	27	31	36	27	27	21	222	
	%	40.4%	33.7%	31.0%	35.6%	38.3%	31.4%	29.7%	21.9%	32.3%	

- Pour la mortalité, le pourcentage est calculé par rapport au nombre de plants installés.
- Pour les autres variables (cimes sèches, coloration anormale, défoliation, forme), les pourcentages sont calculés sur le nombre de plants vivants fin 2012.
- Dans la catégorie « défauts de forme » ont été regroupés tous les plants présentant des fourches (simples ou multiples), baïonnettes, cimes tordues. Toutefois, un certain nombre de ces défauts, difficile à apprécier, est dû à une cause extérieure : la grêle, ce qui limite la validité des analyses statistiques effectuées.



- Mortalité/taux de survie

L'effet provenance est très significatif pour ce critère, alors que l'effet répétition ne l'est pas. L'essentiel de la mortalité s'est produite au cours de la deuxième saison après la plantation (67

plants morts dont 42 pour la seule provenance Californie). Elle a été faible lors de la troisième saison (11 plants morts), et quasi inexistante lors de la quatrième (seulement 2 plants morts). On a donc aujourd'hui un taux de survie satisfaisant puisqu'il est de 89,6 % toutes provenances confondues. Toutefois ce taux de survie n'est que de 54,2 % pour Californie, alors qu'il est égal ou supérieur à 90% pour toutes les autres provenances, les meilleures étant France 3 (97,9%), Darrington (99%), et Washington 403 (100%).

La forte mortalité constatée pour la provenance Californie pouvant masquer les différences entre les autres provenances, il a paru intéressant d'effectuer un test de Khi 2 en excluant Californie. Il se trouve que, même en l'absence de cette dernière, l'effet provenance sur la mortalité est encore très significatif. A noter que le taux de survie pour la provenance Californie, qui avait chuté en 2010, s'est stabilisé lors des deux saisons suivantes au même titre que celui des autres provenances.

- Cimes sèches

Pour cette variable, seul l'effet provenance est légèrement significatif (au seuil de 5%). C'est encore Californie qui présente le plus grand nombre de cimes sèches (15,4%), devant La Luzette (9,3%). A l'opposé, on trouve Washington 403 (2,1%) et Washington 2 (1,1%). A noter une forte diminution du pourcentage de cimes sèches par rapport à 2011. En effet, il était de 38% en 2011, contre seulement 5,7% en 2012.

- Coloration anormale

Il s'agit essentiellement de plants « jaunissants ». On ne dénombre que 4 plants « rougissants ». Ici l'effet provenance est significatif au seuil de 5%, et l'effet répétition au seuil de 1%. Le plus fort pourcentage est observé pour Californie (17,3%), France 3 (14,9%), et France 1 (11,5%). Les autres provenances se situent autour de 5%.

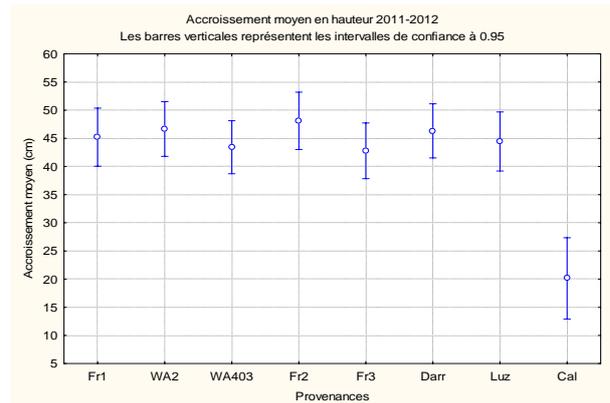
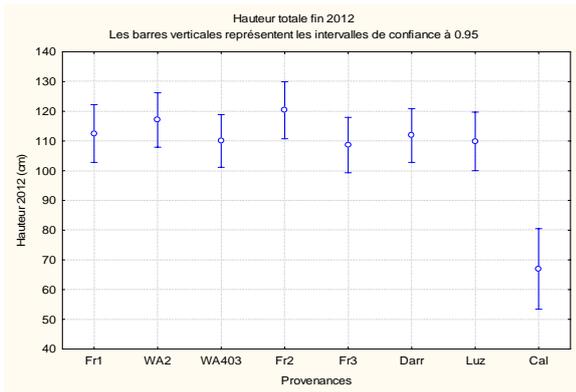
Bien que significatif, l'effet répétition est difficile à expliquer. On constate toutefois une proportion plus importante de plants décolorés dans la partie centrale du dispositif : la moitié de ces plants (28 sur 56) se trouvent sur 25 répétitions (R 46 à R 70).

- Défoliation : On a dénombré 3 plants présentant une seule année d'aiguilles, et 17 plants deux années d'aiguilles. L'effet provenance est très significatif sur ce critère : c'est encore Californie qui arrive « en tête » avec 13,5% de plants défoliés, largement devant France 3 (5,3%) et France 1 (3,4%), les autres provenances présentant des pourcentages très faibles, notamment 0% pour Darrington.

- Défauts de forme : On note un fort pourcentage de plants présentant des défauts de forme (32,3 % toutes provenances confondues). Mais ni l'effet provenance ni l'effet répétition ne sont significatifs pour ce critère.

* *Croissance en hauteur*

Provenance	Hauteur totale fin 2011	Hauteur totale fin 2012	Accroissement moyen 2011-2012	Nombre de plants considérés
Californie	48.2 (a)	68.8 (a)	20.6 (a)	44
Luzette	64.9 (b)	108.6 (b)	43.7 (b)	79
France 3	66.6 (b)	109.5 (b)	42.9 (b)	87
Wash 403	66.3 (b)	109.6 (b)	43.3 (b)	95
Darrington	65.5 (b)	111.7 (b)	46.3 (b)	92
France 1	67.5 (b)	112.3 (b)	44.8 (b)	81
Wash 2	70.9 (b)	117.9 (b)	47.1 (b)	90
France 2	71.8 (b)	119.2 (b)	47.4 (b)	83
Moyenne	66.3	109.7	43.4	651



L'effet provenance est très significatif pour les deux critères. Qu'il s'agisse de la hauteur totale ou de l'accroissement moyen 2011-2012, la provenance Californie se distingue de toutes les autres par la faiblesse de ses performances, et constitue un groupe homogène à elle seule (ce qui était déjà le cas en 2011). En particulier, l'accroissement sur la saison de croissance 2012 est à peine égal à la moitié de l'accroissement moyen des autres provenances.

Parmi les autres provenances, France 2 et Washington 2 semblent se détacher quelque peu, avec à la fois les plus fortes hauteurs totales et les plus forts accroissements. Toutefois, si l'on réalise une analyse en excluant Californie, on constate, pour les deux critères, que les différences entre les 6 autres provenances ne sont pas significatives et que ces provenances ne constituent qu'un seul groupe homogène. Enfin, il n'y a pas d'effet répétition significatif pour ces deux variables.

Conclusion provisoire

Le principal résultat significatif que l'on peut tirer de ce dispositif après 4 années de plantation est la faiblesse des résultats de la provenance Californie, et ce pour tous les critères étudiés. Il est également intéressant de signaler l'excellent taux de survie des provenances Washington 403, Darrington et France 3.

Poursuite de l'essai

Un dégagement sera nécessaire en été/automne 2013. En particulier, il faudra couper tous les semis naturels de sapin et feuillus (bouleaux, hêtres...) présents dans le dispositif. Une vérification de l'étiquetage doit aussi être programmée en fin d'été ou lors des mesures d'automne 2013.

Prochaines mesures : Le protocole initial prévoyait, à la fin de la cinquième année de plantation, une mesure de hauteur et une notation de l'état sanitaire, de la branchaison et de la fourchaison. La notation de la branchaison semble prématurée sur ce dispositif en raison d'une croissance relativement faible à cette altitude. Si elle devait malgré tout être réalisée, il sera nécessaire d'en fixer le protocole.

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 (pp. 11-12).

** Interventions 2012*

- Installation d'une clôture
- Mi-juin : dégagement sur les lignes, le 3^{ème} depuis la plantation, et autour des plants à la débroussailluse.
- Deux tentatives de mesures ont avorté à cause d'un enneigement trop important. Un nouvel essai sera tenté si possible en avril 2013.
- Récupération par l'INRA des données climatiques enregistrées en 2012 au poste météorologique de la station expérimentale d'Orcival, située à quelques centaines de mètres du dispositif.

** Données climatiques 2012*

2012	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année 2012
T°C moy (moyenne des T journalières)	0,68	5,16	5,83	3,92	10,88	14,26	14,10	17,55	12,36	9,55	5,10	1,43	7,60°C
T°C min. moy.	-1,54	8,38	2,23	0,95	6,90	10,18	10,11	13,12	8,93	6,75	2,33	-1,38	4,23°C
T°C mini minimorum	-9,3	18,4	-4,8	-4,7	-1,9	4,4	6,6	5,8	2,7	-6,5	-5,4	-9,8	-18,4°C
nb jours gel	22	25	10	14	1	0	0	0	0	5	7	17	101 jours
Dernière et première gelées sous abri : 16 mai et 15 octobre													
T°C max moy.	3,35	1,07	10,24	7,90	15,90	19,58	19,15	23,21	16,93	13,39	8,56	4,23	11,84°C
T°C max maximorum	9,1	13,6	20,2	18,7	26,1	28,7	27,4	34,1	25,2	20,0	17,0	17,0	34,1°C
Précipitations (mm)	63,5	16,0	24,5	178,5	128,5	98,5	74,0	49,5	64,0	62,0	74,5	184,5	1018 mm

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).

Sont présentés ci-dessous les résultats des mesures réalisées en 2012, mais aussi ceux de 2011 qui n'avaient pu être intégrés au rapport d'activité précédent.

** Interventions 2012*

- Hiver 2011-2012 : mise en place d'un engrillagement de 2.50 m de hauteur.
- 24 juillet 2012 : dégagement en plein.
- 23 octobre 2012 : Mesures et notations ONF.

** Protocole*

Les notations ont été effectuées en suivant le protocole général décrit dans la section 2.1. de ce document. De plus, ont été notés en observation les plants doubles ou fourchus. Ce dispositif étant maintenant engrillagé, il n'y a pas de dégâts de gibier. Le répulsif mis en place en octobre

2011 a évité les abrouissements au début de l'hiver 2011-2012, avant la mise en place du grillage.

** Analyse statistique*

- Les proportions (pourcentages) ont été analysées à l'aide du test de Khi-deux.
- Variables continues : analyse de variance à deux facteurs (provenance + répétition, considérés respectivement comme fixe et aléatoire) sans interaction, et comparaison des moyennes à l'aide du test de Newman-Keuls. L'égalité des variances a été vérifiée à l'aide du test de Cochran. Il n'a pas été nécessaire d'effectuer de transformation de variable pour cette vérification.

NB- Les individus souffrant de cime sèche/cassée ou endommagés lors des travaux d'entretien, ainsi que les individus présentant une croissance négative (souvent due à la présence d'une cime sèche l'année précédente), ont été retirés des analyses de hauteur ; en revanche, les plants jaunissants ou présentant une défoliation partielle ont été conservés.

** Résultats : bilan général*

Variable étudiée	Effet provenance	Effet répétition
% mortalité	NS	**
% cimes sèches	NS	***
Décoloration	NS	NS
Défauts de forme (fourches....)	NS	NS
Hauteur 2012	***	**
Accroissement moyen annuel en hauteur 2010-2012	***	**

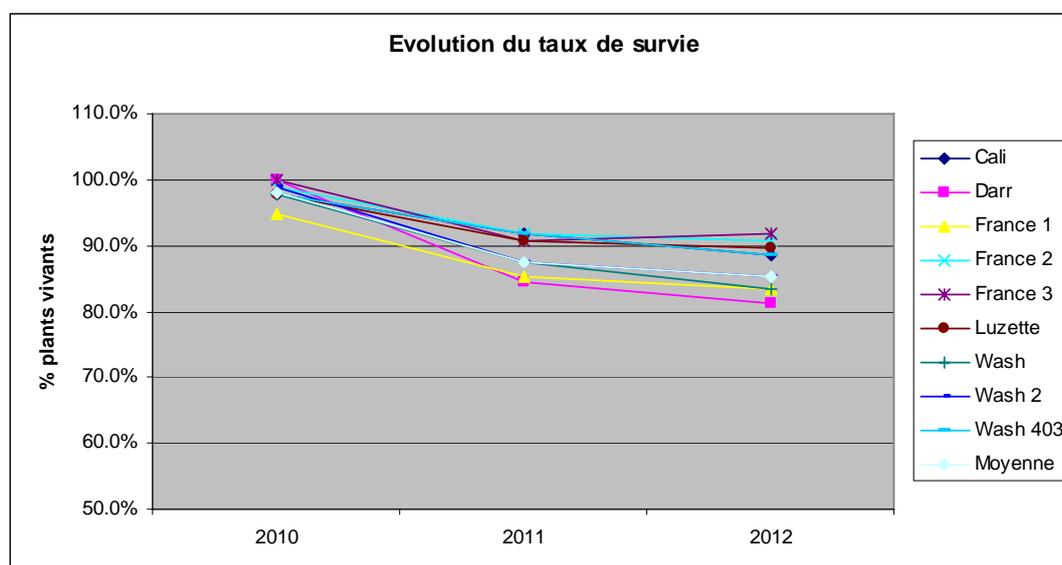
(*), *, **, *** effet significatif au seuil de 10%, 5%, 1%, 1% NS : non significatif

Note : l'analyse du taux de mortalité a été effectuée sur la mortalité cumulée depuis l'installation du dispositif. Il n'en est pas de même pour les autres critères d'état sanitaire, pour lesquels seuls ont été pris en compte les défauts constatés lors de la présente campagne de notation. (ex : un plant présentant une cime sèche en 2011, s'il a reconstitué une pousse en 2012, n'a pas de nouveau été noté cime sèche en 2012. L'analyse statistique ne concerne donc que les cimes ayant séché au cours de la saison 2011-2012.

** Mortalité et état sanitaire*

Provenances		Cali	Darr	France 1	France 2	France 3	Luzette	Wash	Wash 2	Wash 403	Total	
		Moyenne										
Mortalité cumulée	2010	Nombre	2	0	5	1	0	2	2	1	2	15
		%	2.1%	0.0%	5.2%	1.0%	0.0%	2.1%	2.1%	1.0%	2.1%	1.7%
	2011	Nombre	8	15	14	8	9	9	12	12	8	95
		%	8.3%	15.6%	14.6%	8.3%	9.4%	9.4%	12.5%	12.5%	8.3%	11.0%
2012	Nombre	11	18	16	9	8	10	16	14	11	113	
	%	11.5%	18.8%	16.7%	9.4%	8.3%	10.4%	16.7%	14.6%	11.5%	13.1%	
Cimes sèches	2011	Nombre	5	6	8	12	6	8	6	10	5	66
		%	5.7%	7.4%	9.8%	13.6%	6.9%	9.2%	7.1%	11.9%	5.7%	8.6%
	2012	Nombre	1	1	3	1	1	1	1	3	4	16
		%	1.2%	1.3%	3.8%	1.1%	1.1%	1.2%	1.3%	3.7%	4.7%	2.1%
Coloration anormale	2011	Nombre	8	1	1	1	2	1	1	3	4	22
		%	9.1%	1.2%	1.2%	1.1%	2.3%	1.1%	1.2%	3.6%	4.5%	2.9%
	2012	Nombre	2	3	4	1	3	3	4	2	1	23
		%	2.4%	3.8%	5.0%	1.1%	3.4%	3.5%	5.0%	2.4%	1.2%	3.1%
Défauts de forme	2012	Nombre	22	32	28	38	34	32	29	29	27	271
		%	25.9%	41.0%	35.0%	43.7%	38.6%	37.2%	36.3%	35.4%	31.8%	36.1%

- Pour la mortalité, le pourcentage est calculé sur le nombre de plants installés.
- Pour les autres variables (cimes sèches, coloration anormale, forme), les pourcentages sont calculés sur le nombre de plants vivants.
- Dans la catégorie « défauts de forme ont été regroupés tous les plants présentant des fourches (simples ou multiples), et des baïonnettes.



- Mortalité

Après trois années, on constate un taux de survie satisfaisant, avec 87 % toutes provenances confondues. Le plus mauvais résultat est pour Darrington avec 81 % de survie, mais l'effet provenance n'est pas significatif pour ce critère. Par contre l'effet répétition est significatif au seuil de 1%. Les plus fortes mortalités se trouvent sur les répétitions 2, 31 et 45, avec 5 plants morts, puis les répétitions 3, 30 et 42 avec 4 plants morts. La présence d'une zone légèrement mouilleuse et une forte densité de graminées peuvent expliquer la mortalité sur les répétitions 2 et 3, mais rien apparemment ne justifie celle des autres répétitions. Globalement, on constate toutefois une mortalité un peu supérieure sur le bas du dispositif.

D'autre part, on constate que la mortalité, assez forte en 2011, s'est stabilisée pour toutes les provenances en 2012. La légère hausse du taux de survie pour la provenance France 3 correspond à un plant noté mort par erreur en 2011.

- Cimes sèches

16 cimes sèches seulement notées en 2012. Pour ce critère, l'effet provenance n'est pas significatif. L'effet répétition est par contre très significatif (au seuil de 1%), mais ne peut être expliqué, les quatre répétitions présentant le plus grand nombre de cimes sèches étant situées loin les unes des autres (R1, R4, R28, R56).

- Coloration anormale (il s'agit de plants notés jaunissants)

23 plants présentent ce défaut sur l'ensemble du dispositif. Ce critère n'est significatif ni pour l'effet provenance, ni pour l'effet répétition.

- Défauts de forme

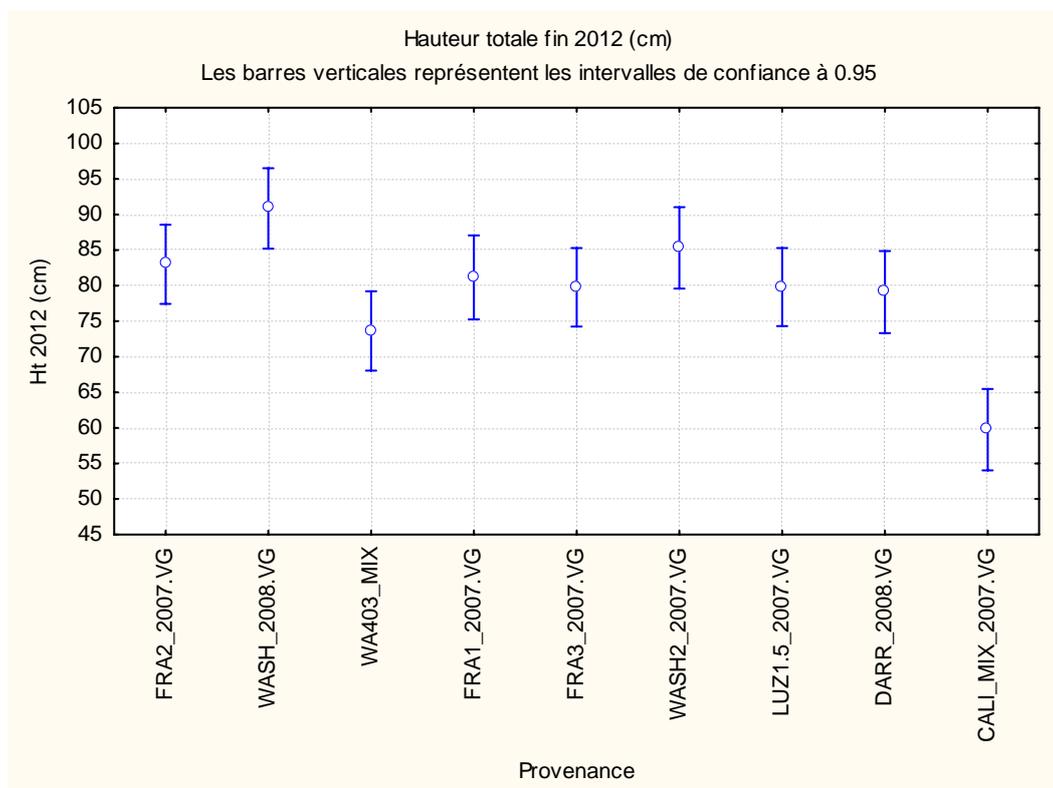
Toutes provenances confondues, 36% des plants vivants présentent des défauts de forme : fourches ou baïonnettes, soit 271 plants au total. Le test du Khi 2 n'a pas fait apparaître de différences significatives pour ce critère, ni entre provenances, ni entre répétitions.

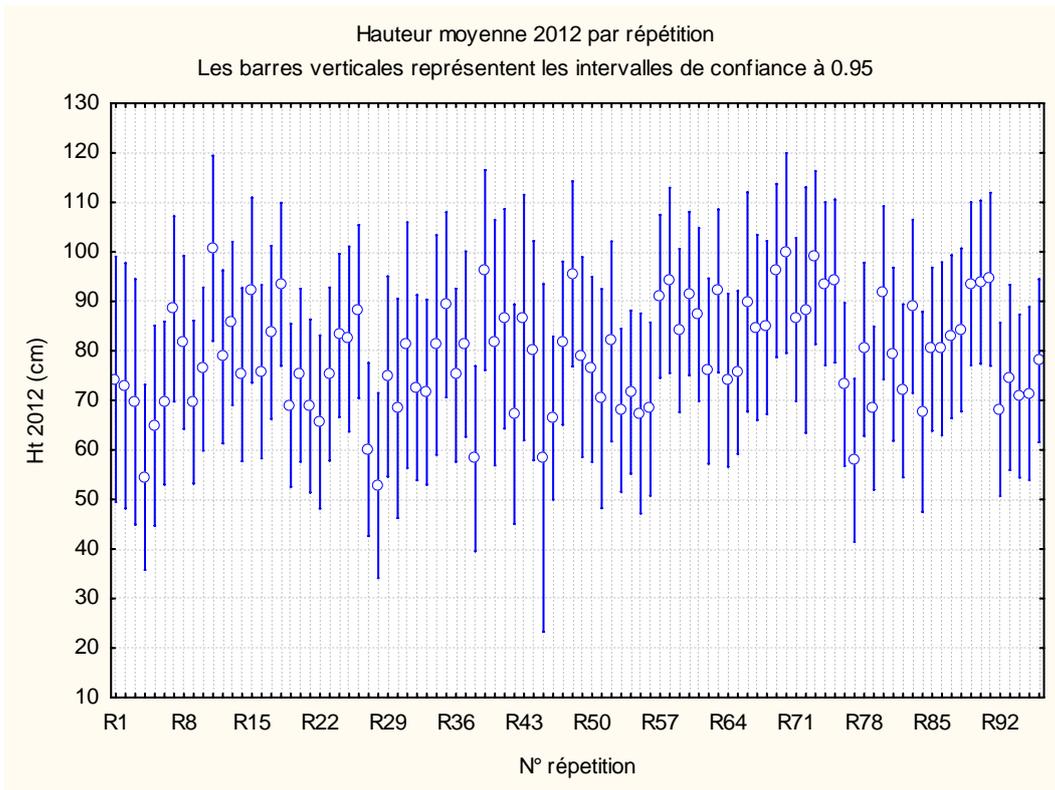
Il semble intéressant de rapprocher ce critère du fort taux d'abrouissement constaté à la sortie de l'hiver 2010-2011 (avant clôture). Or, sur les 215 plants notés abrouitis en mai 2011, seulement 67 présentent aujourd'hui des fourches ou baïonnettes, soit seulement 31%.

* *Croissance en hauteur*

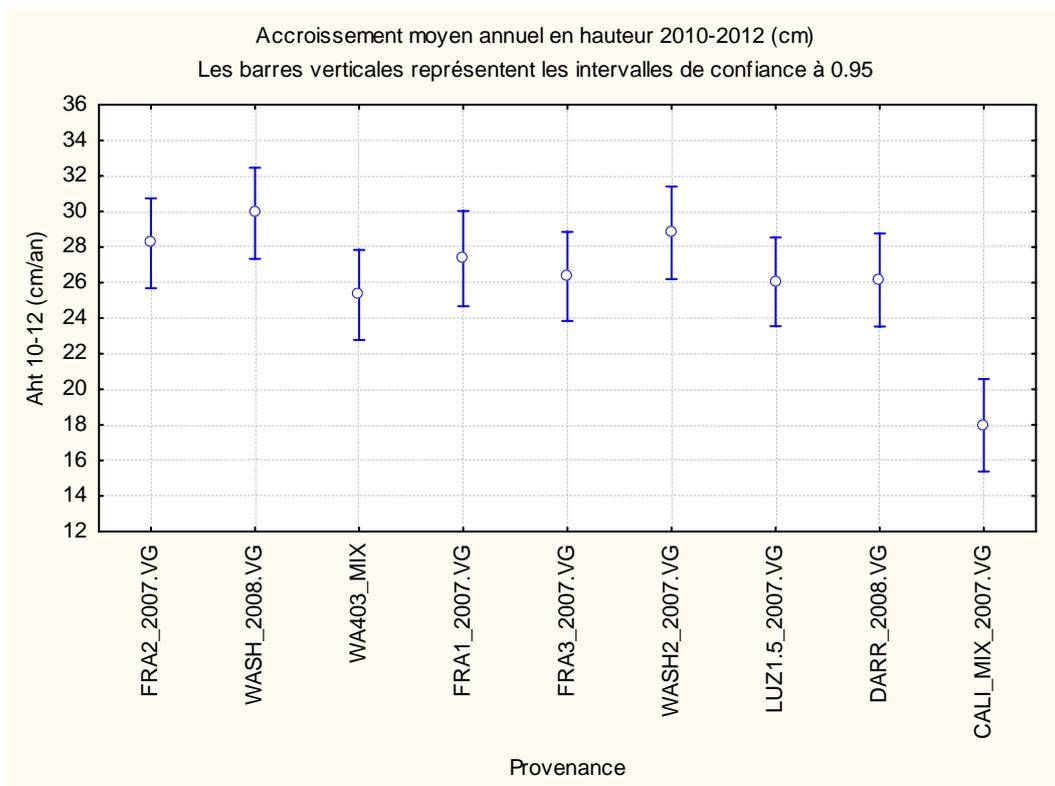
Provenance	Hauteur totale fin 2010	Hauteur totale fin 2012	Accroissement annuel moyen 2010-2012	Nombre de plants considérés
Californie	24.3 (ab)	60.4 (a)	18.2 (a)	77
Wash 403	23.3 (a)	73.8 (b)	25.3 (b)	81
Darrington	27.2 (bc)	78.6 (b)	25.9 (b)	76
France 3	27.0 (bc)	80.1 (bc)	26.6 (b)	82
Luzette	27.5 (c)	80.3 (bc)	26.4 (b)	83
France 1	26.4 (bc)	82.0 (bc)	27.8 (b)	73
France 2	26.4 (bc)	83.1 (bc)	28.3 (b)	81
Wash 2	28.2 (c)	85.1 (bc)	28.6 (b)	77
Wash	31.2 (d)	91.3 (c)	30.0 (b)	79
Moyenne	26.8	79.4	26.4	709

Graphes des hauteurs





Graphes des accroissements



Commentaires

Premier constat : l'effet provenance est significatif au seuil de 1% aussi bien pour la hauteur totale fin 2012 que pour l'accroissement annuel 2010-2012. L'effet répétition est également significatif pour ces deux variables, mais seulement au seuil de 1%.

En ce qui concerne l'effet répétition, le graphe ci-dessus fait effectivement apparaître des différences importantes : de 49 cm pour la valeur la plus faible (R45) à 100,4 cm pour la plus forte (R11), sans que ces différences puissent être expliquées. En particulier, ce graphe ne permet pas d'identifier de zone géographique où la hauteur serait soit plus forte, soit plus faible sur plusieurs répétitions successives.

Effet provenance : Que ce soit pour la variable « hauteur totale fin 2012 » ou pour la variable « accroissement annuel 2010-2012 », on retrouve le même classement, avec au bas de l'échelle la provenance Californie, qui forme même un groupe homogène à elle seule pour les deux variables. En haut de l'échelle, on trouve la provenance Washington VG, qui, elle, se distingue de toutes les autres pour la hauteur totale fin 2012. Pour l'accroissement annuel moyen, à l'exception de Californie, toutes les provenances se trouvent dans le même groupe homogène. A noter les bonnes performances du VG Washington 2.

Conclusion générale provisoire

Pour l'instant, sur ce dispositif, le seul élément vraiment significatif qui puisse être retenu est la faiblesse de la croissance au cours des trois premières années de plantation pour la provenance Californie. A l'exception de la provenance Californie, tous les vergers à graines présentent des performances supérieures au témoin Washington 403. La provenance Washington VG présente la meilleure croissance, mais aussi l'un des plus faibles taux de survie après trois ans (83,3%). Pour ce qui concerne les critères d'état sanitaire autres que la mortalité, les différences entre provenances ne sont pas significatives.

Poursuite de l'essai

Un nouveau dégagement en plein sera vraisemblablement nécessaire en 2013. D'après le protocole initial, une notation de l'état sanitaire est prévue en 2013 (4^{ème} année). A cette occasion, un étiquetage individuel sera mis en place sur les plus grands plants.

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 rapport d'activité 2011, pp 12-13). Il a été mesuré les 12-13 novembre 2012 (état sanitaire, hauteur) mais les données n'ont pas encore été analysées. Les résultats seront présentés dans le compte rendu d'activité 2013.

2.1.2.5.- Montregard (DE_DF_2010.02 –CNPF)

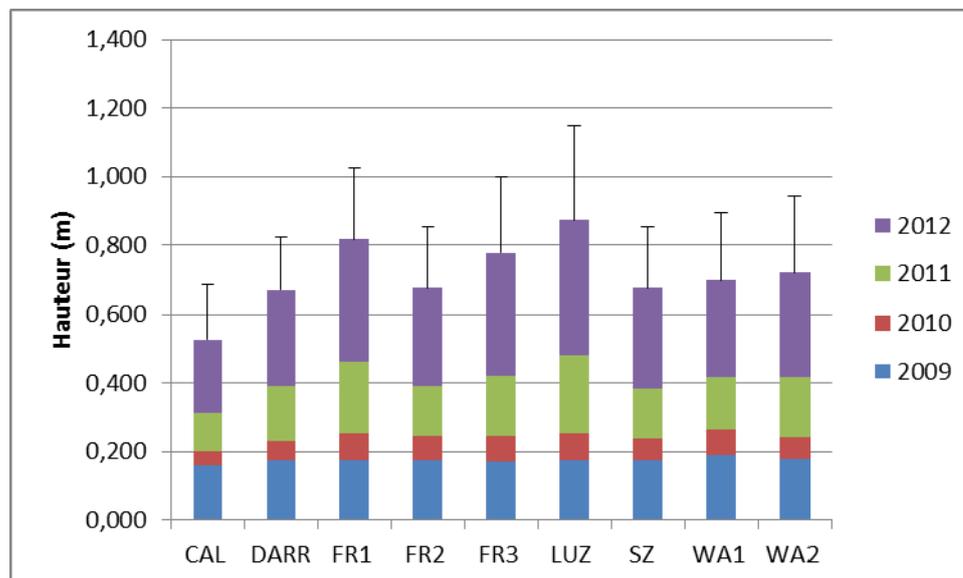
Ce test de démonstration a été planté fin avril 2010, à 1010 m d'altitude (Haute-Loire). Il est constitué de 8 placeaux contenant chacun 60 individus d'une même provenance.

** Résultats 2012*

	% morts	% plants vivants avec cime sèche	Effectif analysé	Haut. 2012 (écart type) en m
WA 403	3	0	57	0.675 (0.177)
Darr	2	2	58	0.669 (0.156)
Luz	0	2	59	0.872 (0.277)
FR1	3	2	57	0.818 (0.207)
FR2	3	2	56	0.674 (0.177)
FR3	0	0	60	0.778 (0.223)
WA	3	7	54	0.697 (0.197)
WA2	5	7	53	0.719 (0.224)
Calif	0	2	59	0.527 (0.158)
Moyenne	< 3 %	< 3 %	513	0.714 (0.200)

Aucune nouvelle mortalité n'a été déplorée au cours de la saison 2012. Elle reste inférieure à 3 % des plants installés.

** Croissance comparée des 9 variétés sur les 3 premières années*



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). Après une très mauvaise reprise, un regarni peu efficace (forte mortalité due au printemps 2011 très sec), et des attaques répétées de chevreuils, son avenir est fortement compromis.

** Interventions 2012*

- Gyrobroyage d'une interligne sur deux le 25 juillet
- Vérification et consolidation régulières des piquets de protection malmenés par le gibier
- Notations d'état sanitaire et mesure de hauteur les 16-17 janvier 2013.

Les données n'ont pas été analysées. Les résultats seront présentés dans le compte rendu d'activité 2013.

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 (pp.159-160).

** Interventions 2012*

- Septembre : dégagement d'une interligne sur deux, au broyeur forestier
- 27-28 novembre : mesures et notations annuelles.

** Protocole de mesure*

Les notations et mesures ont été réalisées conformément au protocole décrit dans la section 2.1.

Sur ce site enclos, seules les notes d'état général 0 (plant sans dégât), 2 (cime sèche), 8 (problème particulier) et 9 (plant mort) ont été utilisées en 2012. Le code 8 a été attribué à un très petit nombre d'arbres présentant une cime cassée de manière accidentelle ou un bourgeon terminal évidé, vraisemblablement par un insecte. De plus, diverses informations ont été consignées dans une colonne "observations" (avortement du bourgeon terminal de la pousse principale 2011, dessèchement de l'extrémité de cette pousse, perte d'aiguilles sur la pousse principale 2012, présence de fourche(s) ou de plusieurs leaders).

D'autre part, la hauteur 2011 a été remesurée en cas de changement de dominance.

** Analyse statistique*

- Proportions (pourcentages) : analyse de variance à deux facteurs (provenance, bloc) sans interaction sur les moyennes par parcelle unitaire
- 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- L'analyse de la hauteur totale et de l'accroissement en hauteur 2012 ne porte que sur les arbres exempts de défauts de croissance en 2012 et 2011 (cime sèche ou cassée, dégâts causés par les travaux d'entretien).

** Résultats : bilan général*

Variable étudiée	Effet provenance	Effet bloc	Interaction provenance x bloc
% mortalité total	(*)	NS	n.a.
% mortalité entre 2011 et 2012	NS	NS	n.a.
% arbres à cime sèche	(*)	NS	n.a.
% avortement de bourgeon terminal	*	*	n.a.
% arbres possédant plusieurs cimes	*	NS	n.a.
% arbres défoliés en cime	NS	NS	n.a.
Déficit foliaire	*	NS	n.a.
% arbres défoliés (1 année d'aiguilles)	**	NS	n.a.
% arbres conservant 3 années d'aiguilles	NS	NS	n.a.
Hauteur 2012	**	***	***
Accroissement hauteur 2012	***	***	***

(*), *, **, *** effet significatif au seuil de 10%, 5%, 1%, 1%
n.a. : non applicable (ANOVA sur les moyennes par p.u.)

NS : non significatif

** Mortalité et état sanitaire*

Variété	% morts en 2012 (1)	% morts fin 2012 (2)	déficit foliaire (3)		% BT avortés (3,5)	% arbres à plusieurs cimes (3,6)
			nb années d'aiguilles	% arbres défoliés (4)		
WA 403	3.2	8.7 (a)	2.03 (ab)	3.4 (ab)	11.0 (ab)	16.6 (ab)
Darrington	2.7	6.6 (a)	2.11 (b)	0.6 (a)	5.3 (ab)	13.7 (ab)
Luzette	6.7	14.8 (a)	2.05 (b)	1.9 (a)	4.9 (ab)	13.3 (ab)
France 1	3.2	6.1 (a)	2.09 (b)	3.3 (a)	4.3 (ab)	10.4 (ab)
France 2	2.7	6.6 (a)	2.05 (b)	4.3 (a)	8.9 (ab)	24.0 (b)
France 3	3.4	12.8 (a)	1.97 (ab)	5.4 (ab)	4.3 (ab)	10.3 (ab)
Washington 2	1.6	7.1 (a)	2.06 (b)	1.7 (a)	1.7 (a)	10.9 (ab)
Californie	6.7	14.4 (a)	1.77 (a)	23.9 (b)	12.9 (b)	8.0 (a)
Total	3,7% 55 morts	9,6% 151 morts	m = 2,02	m = 5,5%	6,5% 92 arbres	13,4% 190 arbres

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

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

(3) pourcentage calculé par rapport à l'effectif vivant fin 2012

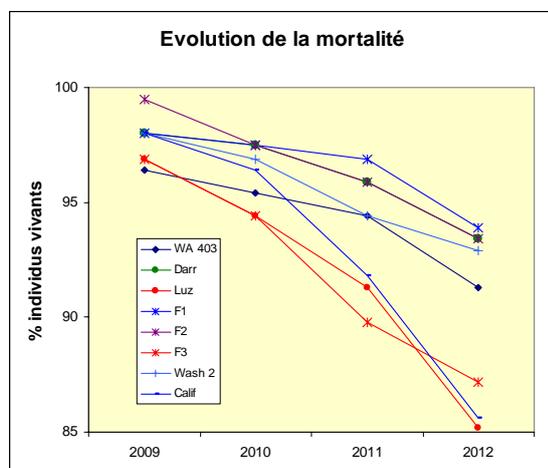
(4) rameaux ne conservant en moyenne que les aiguilles de l'année

(5) BT : bourgeon terminal de la pousse principale

(6) arbres possédant une ou plusieurs fourches, un ou plusieurs leaders

55 individus sont morts entre les relevés de fin 2011 et fin 2012. La mortalité touche plus particulièrement Californie et La Luzette et se retrouve majoritairement dans les blocs 2 et 3, mais les effets "variété" et "bloc" ne sont pas significatifs. Une partie des nouveaux morts présentait des dégâts en 2011 (8 plants à cime sèche ou endommagés lors du dégagement) mais, pour l'essentiel, cette population était constituée d'individus jugés "sains" en 2011. D'autre part, les pertes ne concernent pas des individus de très petite taille : le différentiel de hauteur entre ces nouveaux morts et ceux qui ont survécu était faible en 2011 (13 cm en moyenne), et même

négligeable pour beaucoup de variétés. En l'absence de visites régulières, il est impossible de déterminer la période à laquelle la mortalité s'est manifestée, et *a fortiori* les facteurs impliqués. Un examen des données météo (températures mini de l'hiver rigoureux 2011/12, températures maxi et pluviométrie de l'été 2012) permettrait sans doute de mieux cerner les causes du dépérissement.



Après quatre années de croissance sur le terrain, le taux de survie global s'établit à 90,4%. L'effet "variété" est proche du seuil de signification ($P = 0.06$) ; La Luzette, Californie et France 3 présentent les taux de mortalité les plus élevés. La mortalité augmente graduellement du haut de la pente (bloc 1) au fond du vallon (bloc 4) mais, contrairement à ce que l'on observait les années précédentes, l'effet bloc n'est plus significatif. La partie basse du dispositif, où les graminées concurrençaient fortement les plants, a probablement bénéficié du traitement chimique effectué en 2011.

Dans leur grande majorité, les plants vivants apparaissent en bonne santé. On ne recense que 17 individus à cime sèche (1,2% de l'effectif vivant), dont 7 de la variété Californie, et 10 arbres jaunes ou rouges (0,7%). Par contre, l'indicateur de rétention des aiguilles a fortement chuté entre 2011 et 2012 (respectivement 2,95 et 2,02 années d'aiguilles). Cependant, les observations 2012 ont été effectuées à faible hauteur, et donc sur des rameaux peu éclairés du fait de la végétation environnante (genêt), alors qu'un dégagement avait été réalisé préalablement aux notations de 2011. La rétention des aiguilles variant en fonction de l'éclairement, et du rythme des dégagements, la comparaison des données recueillies lors d'années différentes peut s'avérer hasardeuse. L'évolution du déficit foliaire entre 2011 et 2012 n'implique donc pas nécessairement une dégradation de l'état de santé des arbres. En revanche, même si la nature, la hauteur et la densité de la végétation varie à l'intérieur du dispositif, il semble possible de comparer les variétés sur la base des notations 2012. Les analyses montrent une différence significative entre Californie, à fort déficit foliaire, et la majorité des autres provenances pour deux variables : le nombre d'années d'aiguilles moyen et le pourcentage d'arbres ne conservant que les aiguilles de 2012. Par exemple, près du quart des individus californiens ne disposent plus que des aiguilles de l'année, contre 1% à 5% des représentants des autres variétés.

D'autre part, un effet génétique est observé pour l'avortement du bourgeon terminal – la pousse repart alors d'un bourgeon subterminal ou proche de l'apex - et la production de fourches ou de leaders doubles, parfois multiples. Ce défaut peut résulter d'accidents (dessèchement de cime, dégât d'entretien) ou d'un changement de dominance dû au polycyclisme. Cependant, ces caractères sont peu discriminants ; seules les variétés extrêmes diffèrent significativement.

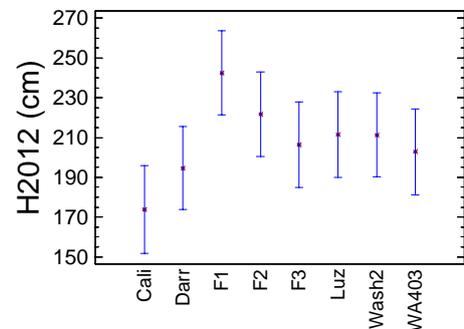
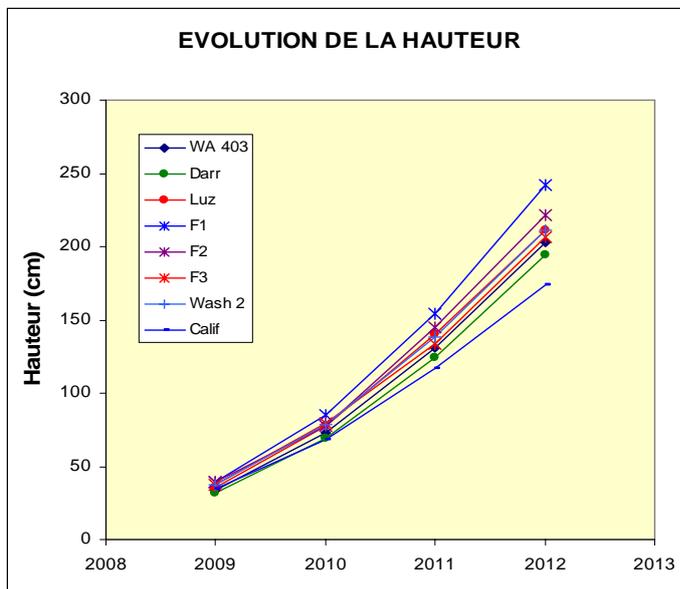
* Croissance en hauteur

Variété	nb observations	hauteur 2012 (cm)	accroissement 2012 (cm)
WA 403	166	202.8 (ab)	70.3 (ab)
Darrington	176	194.6 (ab)	70.0 (ab)
Luzette	162	211.5 (abc)	72.3 (ab)
France 1	172	242.5 (c)	87.4 (c)
France 2	168	221.6 (bc)	76.8 (bc)
France 3	165	206.4 (abc)	73.5 (bc)
Wash 2	171	211.3 (abc)	72.8 (ab)
Californie	155	173.8 (a)	57.5 (a)
Moyenne		m = 209 cm	m = 73 cm

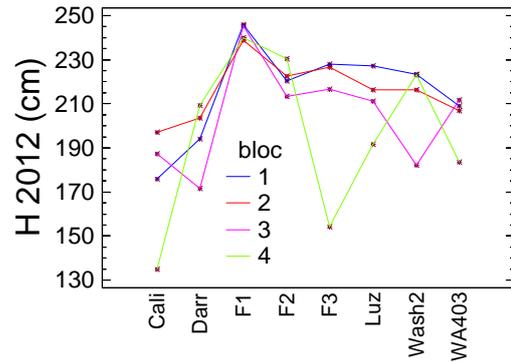
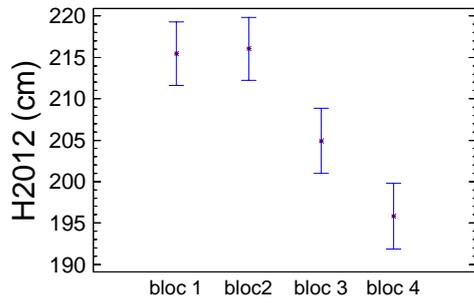
Quatre ans après la plantation, la hauteur totale s'établit à 209 cm. L'effet "variété" s'accroît par rapport à 2011 et les écarts de croissance se creusent, notamment entre les deux provenances extrêmes que sont France 1 et Californie. Comme les années précédentes, l'effet bloc est hautement significatif. Il s'explique par un gradient de croissance entre le haut (bloc 1) et le bas du dispositif (bloc 4). Les plants situés dans le thalweg sont moins vigoureux car ils ont dû 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, Washington 403 et La Luzette

Bloc 3 : Washington 2 et Darrington.

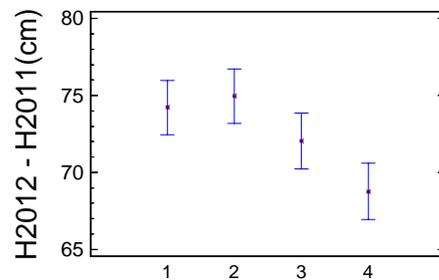
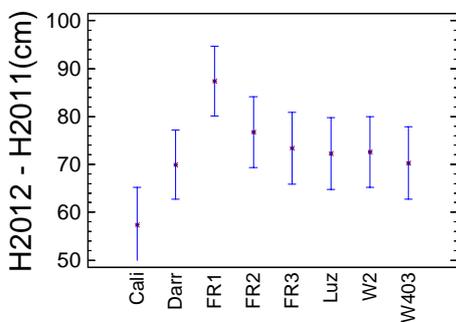


Graphiques des interactions

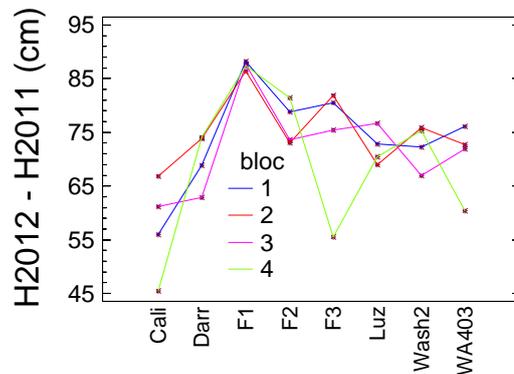


Les plants se sont allongés de 73 cm en 2012. Cet accroissement est nettement supérieur à ceux de 2010 et 2011 (respectivement 40 cm et 60 cm). Deux raisons peuvent être invoquées : les arbres sont à présent "sortis" de la végétation et, mais cela reste à vérifier pour ce site, les précipitations étaient abondantes durant la saison de végétation.

La hiérarchie des variétés est similaire à celle obtenue pour la hauteur totale : France 1 devance nettement un groupe intermédiaire constitué de France 2, France 3, La Luzette, Washington 2, Washington 403 et Darrington, lui-même détaché de Californie qui confirme sa faible vigueur juvénile. L'effet bloc subsiste, avec toujours un gradient altitudinal, mais il tend à résorber, sans doute grâce au dégagement mécanique et chimique réalisé au printemps 2011. Malheureusement, certaines variétés demeurent pénalisées dans les blocs 3 et 4.



Graphiques des interactions



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 2012*

Seuls les blocs 1 & 2 ont pu être mesurés au moment de la rédaction de ce rapport (enneigement fort et durable du site de janvier à mars 2013). Pour cette raison, aucune analyse statistique du dispositif n'a pu être réalisée ; elle sera présentée dans le prochain rapport.

De nombreuses blessures sur écorce et des cimes cassées ont été observées dans le dispositif en janvier 2013. Elles sont très certainement liées à un orage de grêle survenu au cours de la saison 2012 que nous essayerons de dater. L'ensemble du dispositif a été touché.

Sur les deux blocs mesurés (les moins favorables à la croissance dans la mesure où ils sont situés en crête), la mortalité n'a quasiment pas varié par rapport à l'année précédente. Concernant la coloration des plants, aucune anomalie n'a été notée.

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 (pp 14-15).

** Rappel des provenances étudiées*

- Washington 403 (WA_403_MIX) appelé wash403
- verger à graines Darrington, Récolte 2008 (DARR_2008.VG) appelé dar
- Verger à graines de la Luzette éclairci (Luz1.52007.VG) appelé luz
- Verger à graines France 1 (FRA1_2007.VG) appelé fra1
- Verger à graines France 2 (FRA2_2007.VG) appelé fra2
- Verger à graines France 3 (FRA3_2007.VG) appelé fra3
- Verger à graines Washington (WASH_2008.VG) appelé wash
- Verger à graines Washington 2 (WASH2_2007.VG) appelé wash2
- Verger à graines Californien (CALI_MIX_2007.VG) appelé cali

** Interventions depuis la plantation du dispositif*

- Mesure de la hauteur initiale et de l'état sanitaire le 5 avril 2011
- Mesure de la hauteur et de l'état sanitaire après une saison de végétation le 22 novembre 2011
- Mesure de la hauteur et de l'état sanitaire après deux saisons de végétation le 15 janvier 2013.

** Résultats : état sanitaire*

Provenances	% mortalité 2011	% mortalité 2012
Dar	4.7	12.5 a
Wash 403	3.5	8.3 ab
Cali	1.2	6.3 ab
Wash 2	2.4	6.3 ab
France 2	4.7	5.2 ab
France 3	2.4	3.1 ab
Luz	1.2	3.1 ab
Wash	1.2	3.1 ab
France 1	0	2.1 b

En 2012, le taux de mortalité moyen sur l'ensemble du dispositif est de 5,6 %, en légère augmentation par rapport à l'année dernière. Toutes les provenances accusent une augmentation du nombre de morts, parfois relativement fortement (Darrington passe de 4,7 à 12,5%). Malgré tout, les mortalités restent très faibles sur ce site. Les écarts des taux sont significativement différents, selon le test de Newman-Keuls.

En ce qui concerne les autres observations de l'état sanitaire, notons les très faibles nombres d'individus à cime sèche (4 sur le dispositif) et à coloration anormale (1 plant jaune). Quant à l'abrouissement, 25 plants en ont subi les dégâts en 2012. Californie et France 3 sont en tête des provenances les plus appréciées avec 5 tiges abrouties chacune.

** Croissance en hauteur*

Provenances	Hauteur moyenne 2012 (cm)
France 1	102 a
Wash	101.3 a
France 2	100.7 a
France 3	97.3 ab
Wash 2	96.5 ab
Luz	95.8 ab
Dar	90.2 bc
Wash 403	86.5 c
Cali	72.4 d

La hauteur moyenne de 2012 varie d'environ 72 cm pour Cali à 102 cm pour France 1, soit 30 cm d'écart entre ces deux provenances. Remarquons que deux années de végétation après la plantation, trois provenances dépassent déjà le mètre en hauteur moyenne. L'analyse statistique (test de Newman-Keuls) met en évidence de nettes différences.

Provenances	Accroissement moyen 2010-2012 (cm)	Provenances	Accroissement moyen 2011-2012 (cm)
France 2	71.8 a	France 2	51.9 a
France 1	70.8 a	France 1	50.8 ab
France 3	68.7 ab	France 3	49 ab
Wash	66.8 ab	Dar	48.3 ab
Luz	66.1 ab	Wash 2	47.9 ab
Wash 2	64.6 ab	Wash	47.6 ab
Dar	63.8 ab	Luz	47.2 abc
Wash 403	60.3 b	Wash 403	44.9 bc
Cali	49.2 c	Cali	37.5 c

Accroissements moyens calculés hors abroutis et cimes sèches.

Les accroissements moyens sont un peu plus équilibrés selon les provenances, même si le trio France garde les croissances les plus élevées ces deux dernières années tandis que Wash 403 et Cali stagnent en bas de classement. L'analyse statistique (test de Newman-Keuls) met en évidence les différences significatives des accroissements moyens. Remarquons que Cali se démarque systématiquement par ses faibles valeurs et France 1 par ses valeurs fortes.

Conclusion

- La mortalité est très peu élevée (entre 2,1 pour France 1 et 12,5% pour Darrington, 5,6% en moyenne) en 2012, mais des différences significatives sont mises en évidence avec un test de Newman-Keuls.

- Les hauteurs restent dispersées, 30 cm séparant la hauteur moyenne de Californie (72,4 cm) de celle de Washington (102 cm). La hiérarchie est sensiblement la même pour les accroissements annuels. Les différences entre provenances pour ces facteurs sont significatives.

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 (pp 15-16).

Les variétés étudiées sont les mêmes et sont codées de la même façon que précédemment (Avant-Monts).

** Interventions depuis la plantation du dispositif*

- Mesure de la hauteur initiale et de l'état sanitaire le 12 avril 2011
- Mesure de la hauteur et de l'état sanitaire après une saison de végétation le 6 décembre 2011
- Mesure de la hauteur et de l'état sanitaire après deux saisons de végétation le 10 janvier 2013

* Résultats : état sanitaire

Provenances	% mortalité 2011	% mortalité 2012
cali	10.7 (a)	10.7 (a)
dar	12.6 (a)	13.7 (a)
fra1	9.7 (a)	10.2 (a)
fra2	11.9 (a)	13.6 (a)
fra3	18.8 (a)	19.3 (a)
luz	11.9 (a)	13.1 (a)
wash	15.3 (a)	16.6 (a)
wash2	15.9 (a)	15.9 (a)
wash403	14.3 (a)	16 (a)

En 2012, le taux de mortalité moyen sur l'ensemble du dispositif est de 14,4 %, en légère augmentation depuis un an (13,5 % en 2011). Toutes les provenances comptent plus de morts dans leurs rangs, à part Wash 2 et la provenance californienne. A noter que cette dernière détient l'un des taux de mortalité les plus bas avec France 1 (respectivement 10,7 et 10,2 %), tandis que France 3 conserve la tête du classement en passant la barre des 19 %. Cependant, aucune différence significative ne ressort de l'analyse statistique (application du test de Newman-Keuls).

Prov.	% plants jaunes 2011 (1)	% plants jaunes 2012 (2)	Prov.	% cimes sèches 2011 (1)	% cimes sèches 2012 (2)
cali	5.1	6.3	cali	2.5	0.6
dar	2	2	dar	5.9	1.3
fra1	2.5	5.1	fra1	10.1	0.6
fra2	1.3	5.9	fra2	6.5	0.7
fra3	7.7	7.8	fra3	14.7	0
luz	3.9	5.2	luz	11.6	2.6
wash	2	5.5	wash	10.1	2.1
wash2	3.4	3.4	wash2	8.8	0.7
wash403	2	1.4	wash403	5.3	0.7

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

(2) pourcentage par rapport à l'effectif vivant fin 2012

Le taux de coloration anormale (tous les plants ayant une coloration anormale étaient jaunes) augmente en 2012 sur l'ensemble des provenances, parfois de façon inquiétante (France 2 passe de 1,3 à 5,9 % de plants jaunes). Comme l'an passé, France 3 possède la proportion de coloration anormale la plus importante (7,8 %). Rappelons que c'est également la provenance dont le taux de mortalité est le plus élevé. Son état sanitaire reste donc le moins satisfaisant.

Cependant, il s'agit de la seule provenance dont le taux de cimes sèches en 2012 est de 0. Il est tout de même notable qu'il y a très peu de nouvelles cimes sèches cette année. Aucune différence significative ne ressort de l'analyse statistique (effectifs trop faibles).

* *Croissance en hauteur*

Provenances	Hauteur moyenne 2012 (cm)
Wash	66.4 a
Wash 2	64.5 a
Luz	63 ab
France 2	61 ab
Dar	57.6 b
France 3	57.3 b
France 1	56.8 b
Wash 403	50.8 c
Cali	45.3 d

La hauteur moyenne de 2012 varie d'environ 45 cm pour Cali à plus de 65 cm pour Wash, soit plus de 20 cm d'écart entre ces deux provenances. L'analyse statistique (test de Newman-Keuls) met en évidence de très nettes différences.

Provenances	Accroissement moyen 2010-2012 (cm)
Wash	34.4 a
Wash 2	32.9 a
France 3	31.7 a
Luz	31.4 a
Dar	31 a
France 2	30.7 a
France 1	28.3 ab
Wash 403	25.5 bc
Cali	22 c

Provenances	Accroissement moyen 2011-2012 (cm)
Wash	23.9 a
Wash 2	23.2 a
Dar	22.3 ab
France2	21.4 ab
Luz	21.3 ab
France 3	20.5 ab
France 1	19.2 abc
Wash 403	17.6 bc
Cali	15.9 c

Accroissements moyens calculés hors abroustis et cimes sèches.

Les accroissements moyens sont un peu plus équilibrés selon les provenances, même si Wash et Wash 2 gardent les croissances les plus élevées ces deux dernières années tandis que le trio de bas de classement reste également le même (France 1 puis Wash 403, Cali en dernier wagon). L'analyse statistique (test de Newman-Keuls) met en évidence les différences significatives des accroissements moyens. Remarquons que Wash 403 et Cali se démarquent systématiquement par leurs faibles valeurs.

Conclusion

- La mortalité reste peu élevée (entre 10,2 pour France 1 et 19,3% pour France 3, 14,4% en moyenne) en 2012. Pas de différences significatives entre les provenances.
- Les hauteurs restent dispersées, plus de 20 cm séparant la hauteur moyenne de Californie (45,3 cm) de celle de Washington (66,4 cm). Quant aux accroissements annuels, les provenances à plus fortes croissances et celles ayant les plus faibles conservent leur statut. Les différences entre provenances pour ces facteurs sont significatives.

2.1.3.6.- 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.

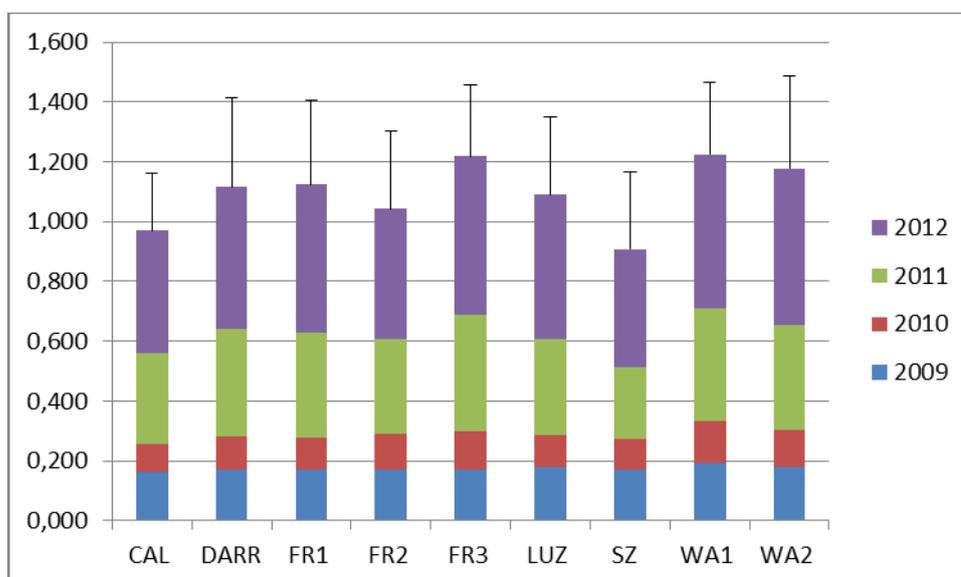
Ci-dessous sont présentés d'une part les résultats des observations de l'hiver 2011/2012 qui n'avaient pu être intégrées dans le précédent rapport et, d'autre part, ceux de la saison 2012.

Les plants ont été dégagés sur la ligne en été 2012 et un certain nombre d'entre eux ont été blessés voire coupés par la débroussailleuse, ce qui explique des effectifs parfois faibles retenus pour le calcul des hauteurs moyennes.

* Résultats 2011 et 2012

	% morts 2011	% morts 2012	Effectif analysé	Haut. 2011 (écart type) en m	Haut. 2012 (écart type) en m
WA 403	17	17	47	0.51 (0.15)	0.91 (0.26)
Darr	8	8	49	0.64 (0.18)	1.11 (0.30)
Luz	13	13	39	0.61 (0.16)	1.09 (0.26)
FR1	13	15	41	0.63 (0.15)	1.12 (0.28)
FR2	8	13	51	0.61 (0.17)	1.04 (0.26)
FR3	5	7	49	0.69 (0.14)	1.22 (0.24)
WA1	5	12	38	0.71 (0.15)	1.22 (0.24)
WA2	8	10	49	0.65 (0.17)	1.18 (0.31)
Calif	13	20	38	0.56 (0.11)	0.97 (0.19)
Moyenne	10 %	13 %	44	0.62 (0.15)	1.09 (0.26)

* Croissance comparée des 9 variétés les trois premières années



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 (pp.160-161).

** Interventions 2012*

- Installation d'un capteur de température (non recouvert de coupelles blanchies) dans le dispositif en mars
- Gyrobroyage croisé en août
- Notations d'état sanitaire et mesure de hauteur le 12 décembre 2012.

** Températures mensuelles*

2012	J	F	M (15 j)	A	M	J	J	A	S	O	N (19 j)	D	année 2012
T°C moy (moyenne des T journalières)			12.54	9.13	15.30	18.20	19.10	22.19	17.18	13.39	9.07		15.12°C
T°C moy (moy. (TN+TM)/2)			13.57	10.08	16.33	18.96	20.02	23.45	18.48	14.71	10.32		16.21°C
T°C min. moy.			5.31	4.22	8.92	11.03	10.88	13.89	10.44	8.49	4.57		8.64°C
T°C mini minimorum			0.69	-3.27	0.77	5.95	6.51	7.49	4.77	-3.87	-1.41		-3.87°C
nb jours gel			0	1	0	0	0	0	0	3	3		7 jours
T°C max moy.			21.83	15.94	23.73	26.89	29.16	33.00	26.52	20.93	16.06		23.78°C
T°C max maximorum			27.01	24.51	32.10	35.45	38.59	41.97	34.92	30.62	23.02		41.97°C

Absence de données pour les mois de janvier, février et décembre et données incomplètes pour mars et novembre.

NB- Le capteur n'étant pas placé sous abri, les données ne peuvent pas être comparées à celles d'une station météo homologuée.

Les données d'état sanitaire et de croissance n'ont pas été analysées. Les résultats seront présentés dans le compte rendu d'activité 2013.

2.1.4.2.- Fourtou (EV_DF_2009.08 – INRA)

Ce dispositif, de type mono-arbre en blocs complets, a été planté en avril 2009, dans l'Aude. Ses caractéristiques ont été présentées dans le rapport d'activité 2009 (pp.161-162). A la plantation, chacun des matériels ci-dessous était représenté par 128 plants (4 plants par population plantés aléatoirement dans chaque bloc).

** Provenances testées*

Code	Nom du lot de graines
CALIEXP	Californie.VG - récolte expérimentale 2007
DARR	Darrington.VG - récolte commerciale 2007
FRA1R2007	France-1. VG - récolte expérimentale 2007
FRA2	France-2.VG – récolte expérimentale 2007
FRA3	France-3.VG – récolte expérimentale 2007
LUZECL	Luzette.VG éclairci – récolte commerciale 2007
WASH2	Washington-2.VG – récolte commerciale 2007
WA403	Lot commercial de la seed zone 403 (USA Washington) – mélange de plusieurs années de récolte

** Interventions 2012*

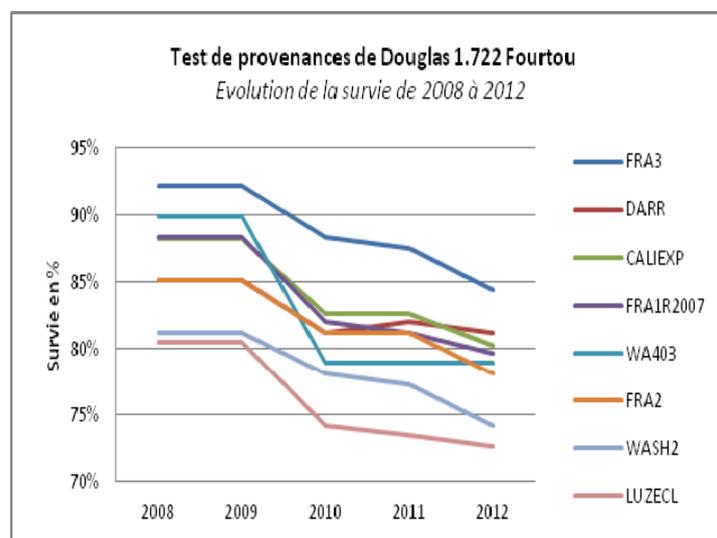
- Etiquetage individuel des arbres fin juin
- Débroussaillage des lignes de plantation
- Notations d'état sanitaire et mesure de hauteur début janvier 2013.

** Résultats : mortalité, état sanitaire*

- Le taux de survie global est satisfaisant puis qu'il s'établit fin 2012 à 79% (extrêmes 73% pour Luzette.VG et 84% pour France-3.VG)

- Comme le montre la figure 1 ci-dessous, le classement des provenances pour la survie s'est peu modifié au cours du temps, hormis pour le témoin commercial de la seed zone 403 qui a subi une assez forte mortalité en 2010.

Figure 1 : Evolution de la survie des populations dans le test de Fourtou depuis la plantation



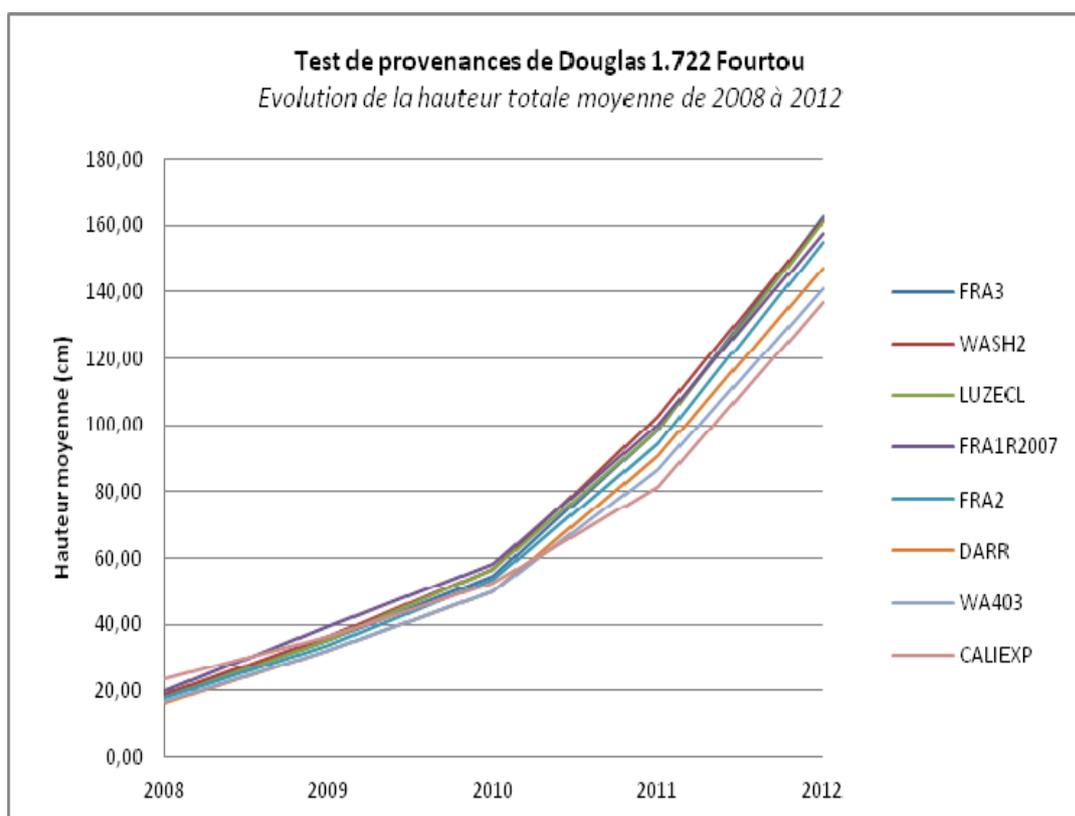
- Avec une note moyenne globale élevée de 2,79, aucune différence entre provenances ne peut être mise en évidence pour le déficit foliaire (extrêmes 2,70 pour le témoin SZ 403 et 2,83 pour France-3.VG et Washington-2.VG).

- La coloration du feuillage n'est pas non plus un caractère discriminant entre provenances à Fourtou : 11 arbres seulement sur les 800 vivants en 2012 présentent une coloration jaune.

** Croissance en hauteur*

- Les classements semblent se stabiliser, comme le montre la figure 2 ci-dessous. Tous les vergers dont les clones ont fait l'objet, en plantation comparative, d'une sélection phénotypique ou génétique sur la croissance sont en tête. Ils se distinguent notamment des vergers Darrington et Californie, dont les clones sont issus de sélections phénotypiques sur d'autres caractères que vigueur (en forêt pour Darrington.VG et en tests de provenances pour Californie.VG). La provenance témoin seed zone 403 se place en position intermédiaire entre ces deux derniers vergers.

Figure 2 : Evolution de la hauteur totale des populations dans le test de Fourtou depuis la plantation



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

Ce dispositif est intégré dans un réseau commun de test et de démonstration de verger à graines réunissant plusieurs partenaires : Irstea (pilote de ce réseau), ONF, INRA, CNPF.

L'objectif est l'évaluation comparative des performances (débourrement, survie, croissance, forme) de plants de douglas issus des vergers à graines français.

Localisation

Département du Var, commune : Le Muy

Forêt Domaniale de La Colle du rouet, Parcelle 32, Lieu-dit "Les Signes"

Coordonnées Lambert II : X = 946 751 / Y = 1 840 395

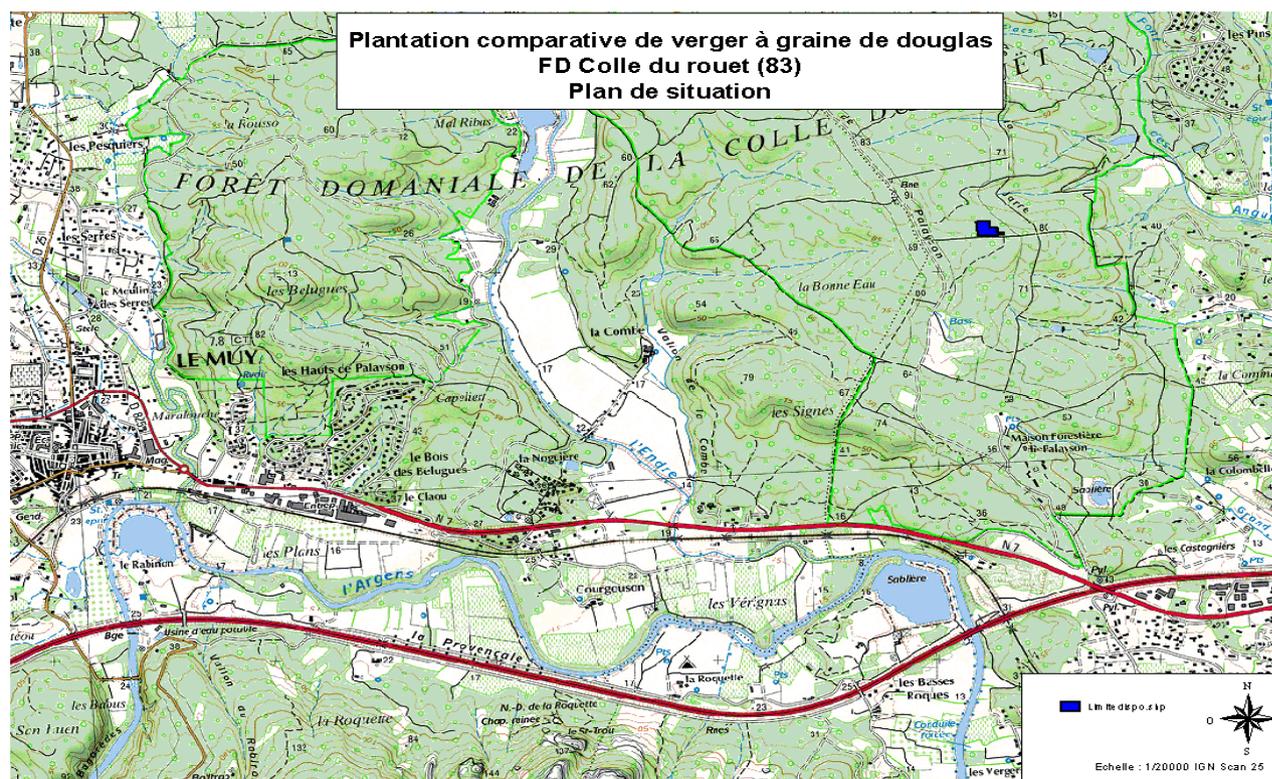


figure 1 : carte de situation

Contexte écologique

Le dispositif expérimental est situé en basse Provence siliceuse, dans la dépression permienne.

- Altitude : 85 m
- Pente très faible : 5 % (exposition Nord)

Climat

Climat moyen d'après la grille AuRelHy (Météo-France - période de référence 1971-2000)

- Précipitations annuelles : 860 mm / Précipitations estivales (juin-juillet-août) 105 mm
- Température moyenne annuelle 14.9°C / Moyenne des minima du mois le plus froid 2,7 °C / Moyenne des maxima du mois le plus chaud 30 °C

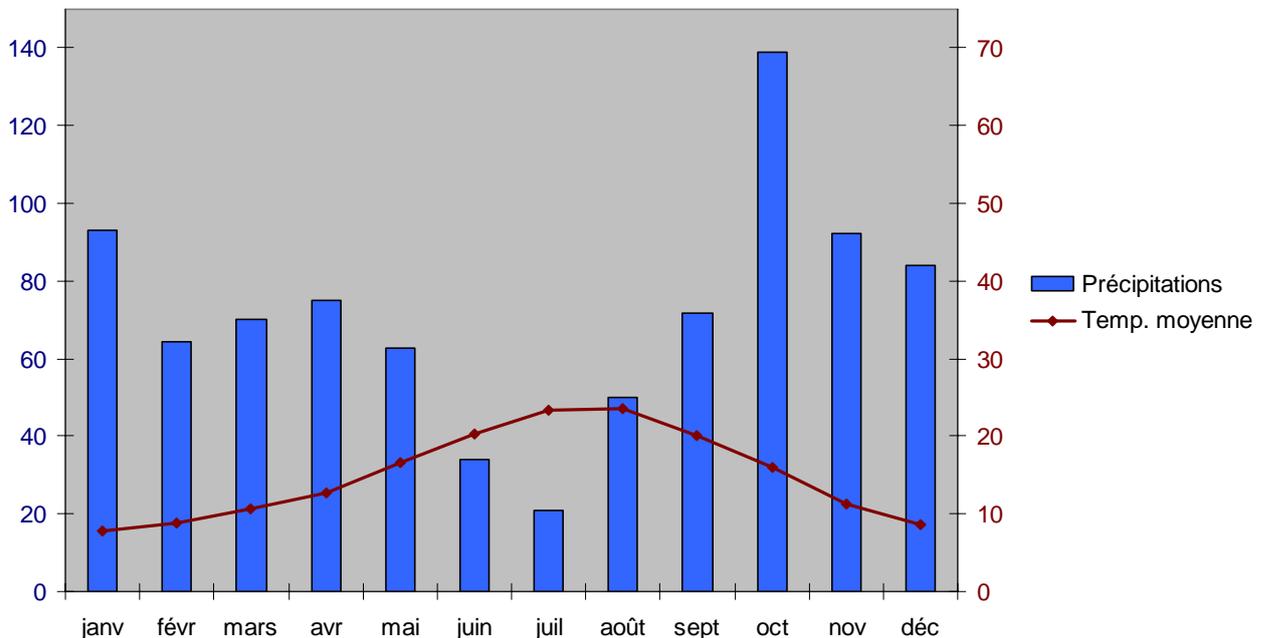


figure 2 : diagramme ombrothermique pour le point de la grille AuRelHy le plus proche du dispositif

Les conditions de pluviométrie et de température déterminent 2 (presque 3) mois secs selon Gaussen.

Le site se situe en climat mésoméditerranéen inférieur. Il faut surtout noter la température moyenne annuelle particulièrement élevée.

Substrat

Roche : la roche en place est un grès fin feldspathique permien en bancs horizontaux.

Matériau : le matériau parental est l'altérite de ce grès, composée de blocs et pierres issus de la fracturation des bancs et de terre fine sablo-limoneuse.

Sol : brunisol oligotrophe issu de grès :

- Profondeur totale 30 à 40 cm
- Charge en éléments grossiers 60 à 70 %
- Horizons peu différenciés.
- Structure grumeleuse
- Texture sablo-limoneuse.
- Prospection racinaire sur tout le profil.

L'évaluation du volume de terre fine et la texture déterminent une RUM (réserve utile maximale) de l'ordre de 10 à 15 mm, qui est extrêmement faible.

Végétation

Peuplement précédent : jeune futaie régulière de pins pignons et pins d'Alep.

Végétation accompagnatrice : bruyère arborescente, ciste à feuilles de sauge, lavande stoechade, filaire à feuille large, filaire à feuille étroite, pistachier lentisque, ciste de Montpellier, myrte commun

Dispositif expérimental

Facteur étudié

Un seul facteur est étudié : la provenance avec 10 modalités, dont 9 provenances de Douglas et le cèdre de l'atlas en tant qu'espèce témoin.

- verger à graines Californien (CALI_MIX_2007.VG) codé cali
- verger à graines Darrington, Récolte 2008 (DARR_2008.VG) codé dar
- verger à graines France 1 (FRA1_2007.VG) codé fra1
- verger à graines France 2 (FRA2_2007.VG) codé fra2
- verger à graines France 3 (FRA3_2007.VG) codé fra3
- verger à graines de la Luzette éclairci (Luz1.52007.VG) codé luz
- verger à graines Washington (WASH_2008.VG) codé wash
- verger à graines Washington 2 (WASH2_2007.VG) codé wash2
- Washington 403 (WA 403_MIX) codé wash403
- Cèdre de l'Atlas (peuplement testé de Ménerbes) codé ced

Variables de jugement

- Taux de survie
- Croissance en hauteur
- Fourchaison

Structure

La structure de ce dispositif est de type blocs complets à parcelles unitaires mono-arbre. Chaque modalité est présente une fois dans chaque bloc. L'ordre des modalités dans chaque bloc a été tiré au sort.

Facteurs contrôlés : La station de par la structure du dispositif et le nombre de blocs (64)

Implantation

(voir le schéma page suivante)

Dimensions. Le nombre de plants expérimentaux s'élève à 10 plants X 64 blocs = 640 plants. La surface du dispositif est de 0.58 ha.

Etapes d'installation :

- été 2009 : Broyage de la végétation, et ouverture des potets à la minipelle
- décembre 2010 : Plantation

Matérialisation. Un piquet métallique ou un bambou avec étiquette marque le premier plant expérimental de chaque bloc. Des pins pignons ont été plantés en bordure du dispositif.

Clôture

Le dispositif a été clos et désinstallé, par ramassage des piquets métalliques qui constituaient les principaux repères, à l'issue de la dernière campagne de mesure en janvier 2013. En effet, le taux de survie extrêmement faible ne justifiait pas de poursuivre l'expérimentation.

Dispositif de comparaison de provenances de douglas ; FD Colle du Rouet Schéma d'implantation des modalités et des blocs



figure 3 : schéma d'implantation du dispositif

Données récoltées

Type de données

Hauteur, mesurée selon le protocole ONF DTC5 du 1/02/1996

Etat sanitaire. Il inclut la mortalité et est noté en automne/hiver selon le protocole commun aux quatre organismes. Les modalités sont les suivantes :

- 0 = sain et non accidenté
- 1 = couleur anormale
- 2 = cime sèche
- 3 = déficit foliaire
- 5 = abrouti
- 6 = frotté
- 7 = dégât d'entretien
- 8 = code d'exception
- 9 = mort

Fourchaison. Comptage du nombre de fourches et ramicornes sur l'ensemble de l'arbre.

Calendrier des mesures

L'expérimentation a été installée en 2010, pour une durée maximale de 20 ans et avec des premiers résultats escomptés 5 ans après la plantation.

Calendrier des mesures prévues pendant les 5 premières années :

- après installation : hauteur initiale
- à l'issue de chacune des 4 premières saisons de végétation : hauteur et état sanitaire
- à l'issue de la 5e saison de végétation : hauteur, état sanitaire, fourchaison

Mesures réalisées. Compte tenu des conditions écologiques extrêmes, en particulier au printemps 2011, des visites de contrôle ont été faites en début d'été pour noter l'état sanitaire.

- janvier 2011 : mesure de la hauteur initiale
- juin 2011 : Observation de l'état sanitaire
- octobre 2011 : Mesure du dispositif après un an (hauteur et état sanitaire)
- juillet 2012 : Observation de l'état sanitaire
- janvier 2013 : Mesure du dispositif après deux ans (hauteur et état sanitaire)

Résultats et interprétation

Etat sanitaire

Le tableau 1 donne la répartition des plants par provenance en fonction de leur état sanitaire après deux ans. Très peu de Douglas ont survécu et seul deux sont jugés sains.

Provenance	0-sain	1-couleur anormale	2-cime sèche	3-déficit foliaire	9-mort
cali				2	62
dar					64
fra1	1				63
fra2				1	63
fra3	1				63
luz					64
wash				2	62
wash2					64
wash403				1	62
ced	14		4		46

tableau 1 : état sanitaire après deux saison des végétation

Le faible taux de survie des plants est le caractère le plus marquant de ce dispositif expérimental. Le tableau 2 détaille l'évolution du nombre d'individus vivants en fonction de la provenance. On constate une mortalité forte parmi les Douglas dès la première année, qui s'amplifie au cours de la seconde, ne laissant que quelques individus vivants.

Provenance	fin 2010	mi-2011	fin 2011	mi-2012	fin2012
cali	64	31	24	20	2
dar	64	13	7	6	0
fra1	64	24	16	14	1
fra2	64	25	17	16	1
fra3	64	24	15	15	1
luz	64	22	13	11	0
wash	64	20	12	11	2
wash2	64	24	16	13	0
wash403	64	22	11	10	1
ced	64	56	53	48	18

tableau 2 : évolution du nombre de plants vivants

Si la mortalité en 2011 peut être en partie expliquée par un printemps très secs, le fait que la majorité des cèdres sèche également au cours de la seconde année incite à penser que les conditions écologiques sont de toute façon trop contraignantes et sans doute incompatibles avec l'installation et la croissance du Douglas, quelle que soit la provenance.

Hormis le cèdre, il semble que les provenances Californie et Darrington se distinguent des autres par une survie respectivement plus élevée et plus faible (figure 4). Cependant, ces différences ne sont pas significatives en première analyse.

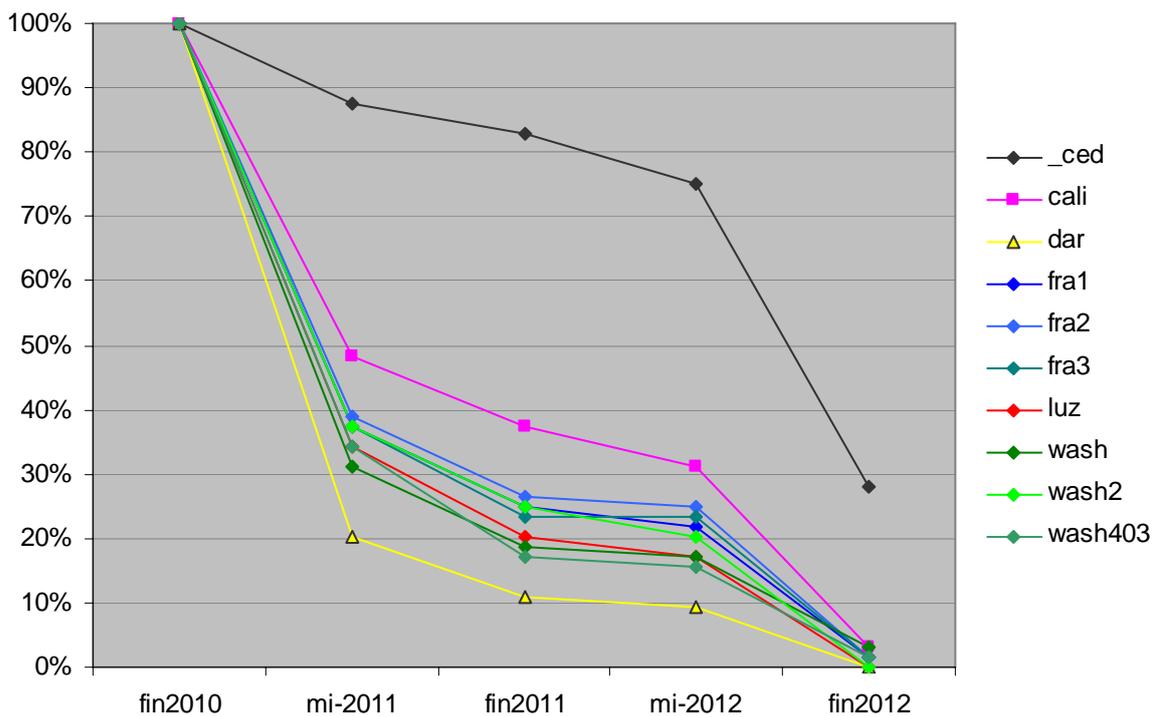


figure 4 : évolution du taux de survie

Le bilan temporel des problèmes sanitaires fait apparaître une succession des symptômes sur les plants de Douglas qui ont survécu au premier printemps : descente de cime puis déficit foliaire puis décoloration du feuillage.

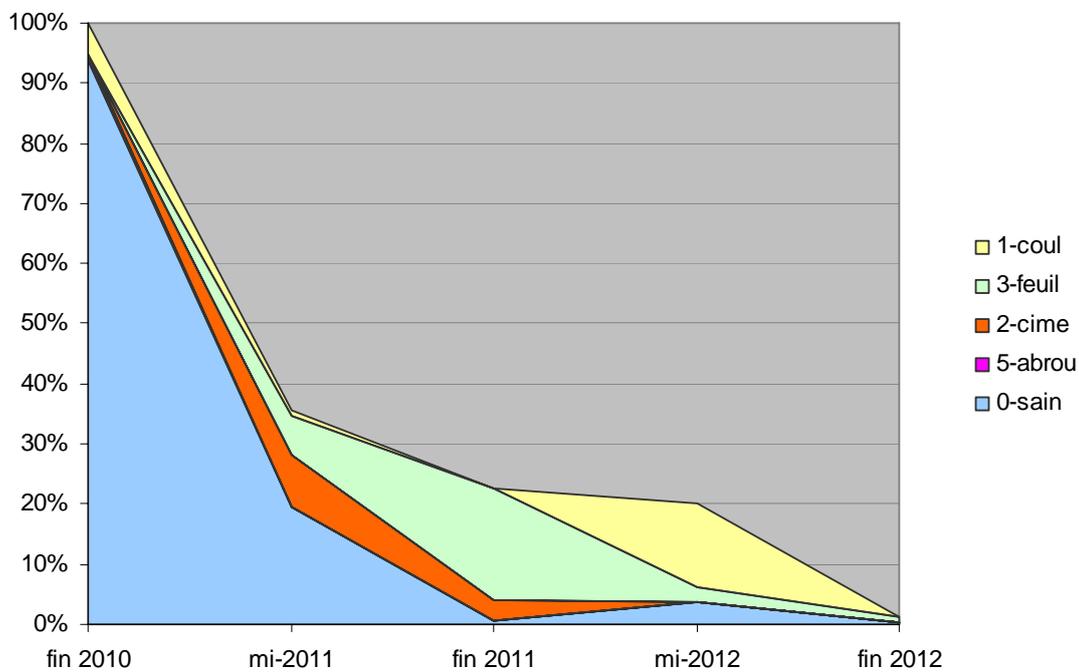


figure 5 : évolution des problèmes sanitaires sur les Douglas (toutes provenances)

Croissance en hauteur

Au vu du taux de survie, ce dispositif ne permet pas d'analyser la croissance en hauteur des Douglas. On constate simplement une dimension initiale plus faible de la provenance Californie.

Provenance	fin 2010	fin 2011	fin 2012
cali	23 (64)	24 (24)	28 (2)
dar	27 (64)	33 (7)	(0)
fra1	28 (64)	31 (16)	33 (1)
fra2	29 (64)	30 (17)	25 (1)
fra3	30 (64)	35 (15)	30 (1)
luz	30 (64)	34 (13)	(0)
wash	35 (64)	36 (12)	48 (2)
wash2	29 (64)	30 (16)	(0)
wash403	27 (64)	30 (11)	36 (1)
ced	13 (64)	18 (53)	25 (18)

tableau 3 : évolution des hauteurs moyennes

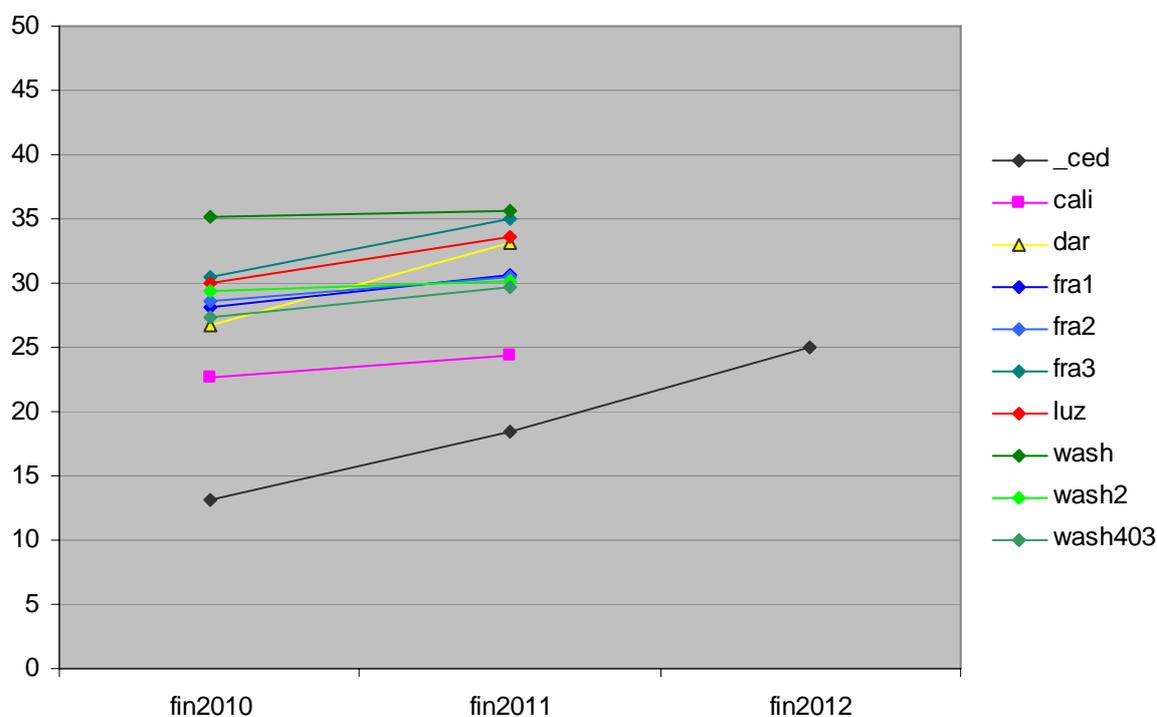


figure 6 : évolution des hauteurs moyennes

Conclusion

L'implantation de ce dispositif expérimental sur la côte d'Azur était justifiée par la volonté, dans le cadre du réseau récemment installé, de déborder vers le sud l'aire française du Douglas. Les résultats obtenus confirment que ce type de station ne convient pas au Douglas.

Cependant, cet essai en conditions extrêmes ne permet pas de mettre en évidence une différence de comportement entre les provenances. La question de l'exploration des marges méridionales de l'aire du Douglas et d'une supposée meilleure adaptation des provenances méridionales aux contraintes hydriques reste donc posée. Cela pourrait justifier le renouvellement de cette expérimentation sur une station moins défavorable, caractérisée par un climat moins chaud et une réserve utile suffisante pour apporter une certaine compensation édaphique.

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.

* Interventions 2012

- Etiquetage individuel des arbres fin juin
 - Débroussaillage des lignes de plantation
 - Notations d'état sanitaire et mesure de hauteur début janvier 2013.
- Ces données n'ont pas été analysées.

2.1.5.- Tests en marge du réseau principal

Ces tests sont particuliers dans le sens où ils comparent les variétés La Luzette et Californie, en placeaux purs et parfois mélangés pied à pied.

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

Ce dispositif est structuré en 4 blocs complets (cf description dans le rapport d'activité 2009, p.162).

* Interventions 2012

- Consolidation de piquets de protection contre le gibier à l'automne et durant l'hiver
- Mesures effectuées début mars 2013 (état sanitaire, accroissement 2012 en distinguant les premières et deuxième pousses).

Les données n'ont pas été analysées. Les résultats seront présentés dans le compte rendu d'activité 2013.

2.1.5.2.- Les Battées (DE_DF_2012.01 – ONF)

Les caractéristiques du site et de ce dispositif en placettes unitaires, planté le 10 avril 2012, sont présentées dans la section 1. de ce document.

* Opérations 2012

- Le dispositif a fait l'objet de plusieurs visites de contrôle de l'état sanitaire au cours de la saison de végétation 2012.
- Notation de dégâts du gel du 17 mai 2012 le 13/07/12
- Mesures et notations le 9 octobre 2012 ONF.
- Aucun dégagement n'a été nécessaire durant la saison de végétation 2012.

** Protocole de mesure*

Les notations et mesures ont été réalisées conformément au protocole détaillé en section 2.1. Il convient néanmoins d'apporter quelques précisions quant aux notations d'état sanitaire.

- Sur ce site non enclos, toutes les notes d'état général ont été utilisées excepté 6 (frotté) et 7 (endommagé lors du dégagement). Le code 10 a été attribué à 10 plants installés et a priori arrachés par le gibier et non retrouvés ou retrouvés morts alors qu'ils avaient été remis en terre lors de la notation du 13 juillet 2012. Des dégâts ponctuels ou anomalies de croissance (blessure, pousse terminale ou bourgeon cassé, individu double/multi-tête) ont également été notés en observation.

- D'autre part, l'importance des dégâts de gel de printemps a justifié une notation non prévue à l'origine (en juillet), selon une codification à 5 degrés :

« 1 » : seules les pousses latérales étaient touchées, et à moins de 50% (94 plants concernés),

« 2 » : le bourgeon terminal semblait touché ainsi que moins de 50% des pousses latérales (76 plants concernés),

« 3 » : le bourgeon terminal semblait touché ainsi que plus de 50% des pousses latérales (33 plants concernés),

« 4 » : plant sec et entièrement gelé (12 plants concernés),

« 5 » : notation impossible (plant arraché ou plant sec mais non gelé) (25 plants concernés).

- Décoloration du feuillage : seuls 39 plants ont été notés "1" (jaune) et un seul noté "2" (rouge); aucune analyse n'a donc été conduite.

** 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 (provenance + bloc, considérés respectivement comme fixe et aléatoire) sans interaction sur les valeurs moyennes par P.U. 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 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 (y compris arrachés par gibier ou non retrouvés)	NS	NS
% cimes sèches	NS	NS
% plants aboutis	NS	NS
% de plants gelés	**	NS
Hauteur 2011	NS	(*)
Hauteur 2012	NS	NS
Accroissement en hauteur 2012	**	NS

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

NS : non significatif

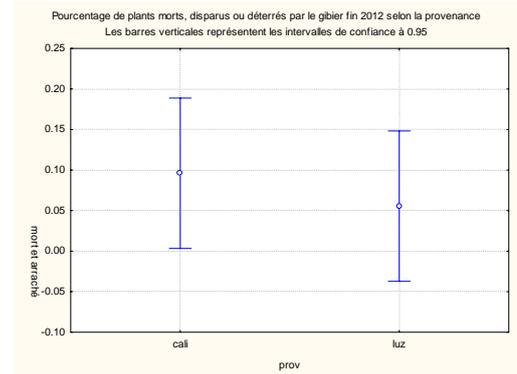
* *Etat sanitaire*

Variété	% morts, non retrouvés et arrachés par gibier fin 2012	dont gel	dont gibier	% cimes sèches	% plants abrutis	% plants gelés
Californie	9,6 (a)	4,1	2,4	16,3 (a)	4,4 (a)	60,3 (a)
Luzette	5,6 (a)	0,7	1,6	28,8 (a)	6,7 (a)	25,8 (b)
Moyenne	7,6 %	2,4%	2,0%	22,6 %	5,6 %	42,9 %

NB- pourcentages calculés par rapport à l'effectif planté

Après une année de croissance sur le terrain, le taux de mortalité s'établit en moyenne à 7,6 %, dont 2,4% dus au gel et 2,0% dus à l'arrachage par le gibier. Il n'y a pas de différence significative entre provenances (respectivement 5,6 % et 9,6 % pour La Luzette et Californie) et on n'observe pas d'effet bloc.

La reprise au bout d'un an est tout à fait satisfaisante, avec plus de 92 % !

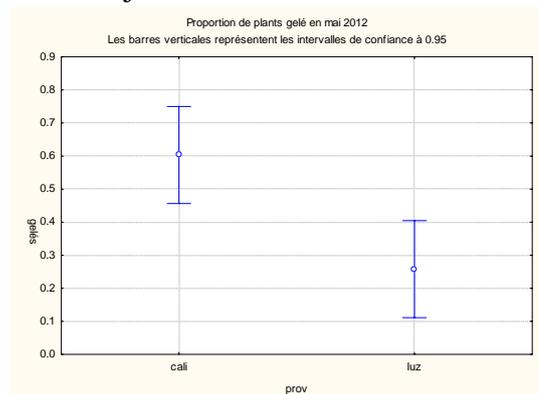


La majorité des plants vivants sont en bonne santé :

- on recense 106 individus à cime sèche (22,6%) sans effet significatif de la provenance
- seuls 40 individus présentent une coloration anormale (8,6%)
- les plants abrutis par le gibier sont au nombre de 28, soit 5,6 % de l'effectif planté.

En mai 2012, une gelée tardive a affecté la plantation ; un relevé de l'impact de ce gel a été réalisé en juillet 2012 :

- 215 plants présentaient des marques de gel, dont 121 sur la pousse terminale, soit respectivement 42,9 % et 24,2 % de l'effectif vivant en juillet 2012
- La proportion de plants gelés est significativement différente entre les provenances Luzette (25,8 % de plants touchés) et Californie (60,3 %).
- Il n'y a pas de différence significative ni entre provenances ni entre blocs pour l'intensité de l'impact du gel.
- Une partie des plants dont le bourgeon terminal a été touché risque de développer des fourches en 2013.



D'autre part, de nombreux plants n'étaient pas encore complètement aoûtés lors des mesures effectuées début octobre. Le gel précoce de fin octobre risque d'avoir un impact sur leur croissance en 2013.

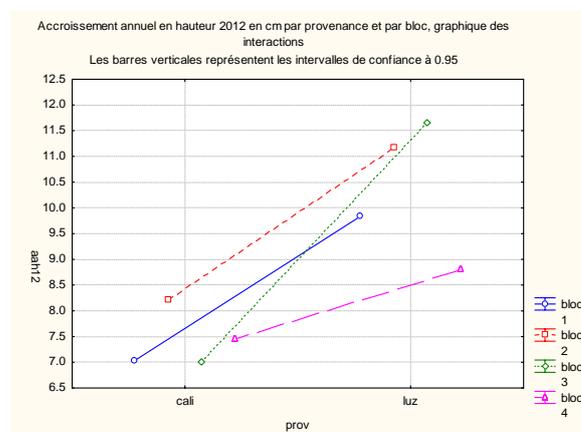
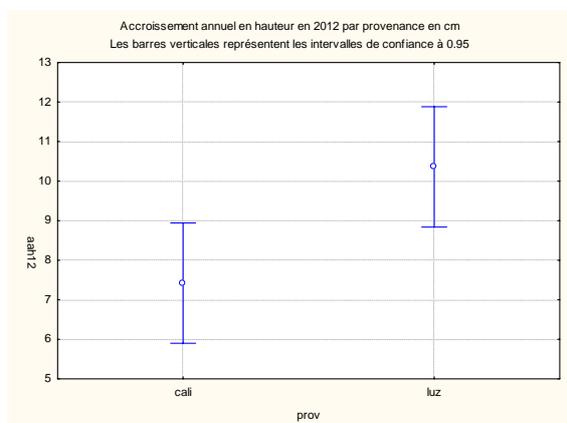
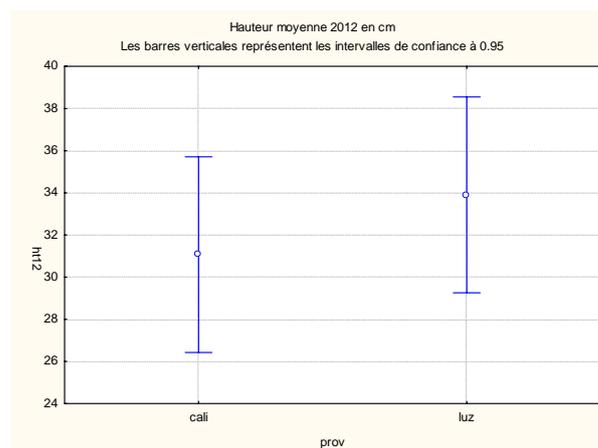
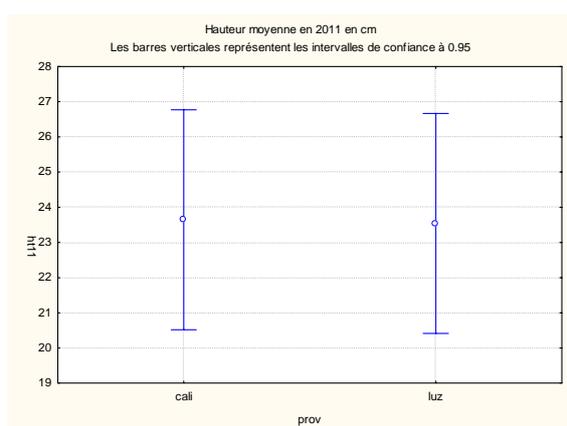
* *Croissance en hauteur*

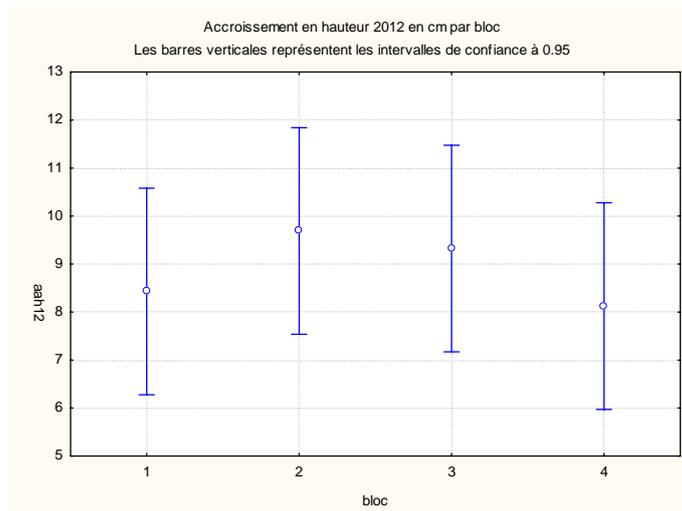
Variété	Hauteur 2011 (cm)	Hauteur 2012 (cm)	accroissement sur la saison 2012 (cm)	nb de plants considérés pour le calcul de l'accroissement 2012
Californie	23,6 (a)	31,1 (a)	7,4 (a)	146
Luzette	23,5 (a)	33,9 (a)	10,4 (b)	183
Moyenne	23,6	32,6	9,1	329

Il n'y a pas de différence entre les 2 provenances, ni pour la hauteur de 2011, ni pour celle de 2012. En revanche, l'accroissement en hauteur de 2012 est significativement différent ($P=0,023$) avec 7,4 cm/an pour Californie et 10,4 cm/an pour Luzette.

En moyenne, les plants se sont allongés de 9,1 cm en 2012, ce qui porte la hauteur totale fin 2012 à 32,6 cm. Cette croissance est relativement faible pour une première saison de végétation depuis la plantation ; elle s'explique probablement par l'impact du gel tardif de mai alors que les plants étaient en cours de croissance.

Il n'y a pas d'effet bloc pour l'accroissement 2012.



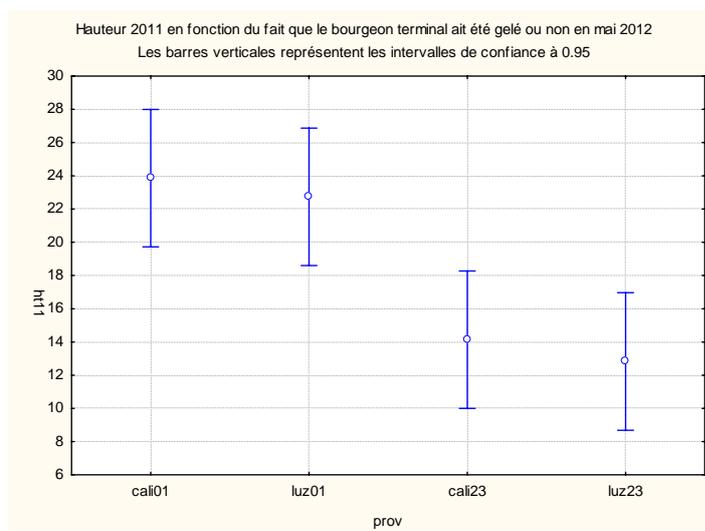


Nous avons comparé deux populations de plants, ceux dont le bourgeon terminal n'avait pas été atteint par le gel de mai (codes 0 et 1) et ceux dont le bourgeon terminal avait souffert (codes 2 et 3), les plants ayant été notés 4 étant tous morts en 2012.

Pour la hauteur de 2011, la différence est significative ($p = 0,0034$) entre les plants dont le bourgeon terminal n'a pas été atteint par le gel et ceux dont le bourgeon terminal gelé.

Il n'y a pas de différence significative entre provenances ni entre blocs pour l'accroissement en hauteur de 2012 des plants ayant souffert ou non du gel.

Variété	Hauteur 2011 (cm)		Accroissement en hauteur sur la saison 2012 (cm)	
	Plants dont le bourgeon terminal n'a pas gelé (0 et 1)	Plants dont le bourgeon terminal a gelé (2 et 3)	Plants dont le bourgeon terminal n'a pas gelé (0 et 1)	Plants dont le bourgeon terminal a gelé (2 et 3)
Californie	23,9 (a)	14,1 (b)	7,6 (a)	9,6 (a)
Luzette	22,7 (a)	12,8 (b)	10,7 (a)	11,4 (a)
Moyenne	23,3 (a)	13,3 (b)	9,4 (a)	10,1 (a)



Conclusion provisoire

Pour l'instant, la provenance « Californie » semble plus sensible au gel tardif que la provenance « Luzette ». Ceci n'a pas affecté significativement la mortalité qui reste faible pour les 2 provenances.

Après une saison de végétation, la provenance « Luzette » obtient déjà un léger avantage en terme de croissance en hauteur par rapport à la provenance « Californie ».

Poursuite de l'essai

Conformément au protocole, une notation de l'état sanitaire est programmée fin 2013 (ainsi que fin 2014 et fin 2015) ; si possible, elle s'accompagnera d'une mesure systématique de la hauteur totale.

Des visites de contrôle de l'état sanitaire seront effectuées courant 2013.

Enfin, un dégagement sur la ligne sera vraisemblablement nécessaire courant 2013 ; il s'accompagnera éventuellement d'un entretien des interlignes au gyrobroyeur.

2.1.5.3.- St Georges-en-Couzan et Sylvanes (CNPF)

Ces plantations incluant des placeaux purs des variétés La Luzette et Californie ont été mesurées fin 2012. Le prochain rapport d'activité décrira les sites, les matériels et les premiers résultats obtenus.

2.2- Résistance au froid (INRA, Irstea)

2.2.1.- Contexte

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. Cette résistance au froid est un caractère qui évolue au cours des saisons avec une acclimatation progressive jusqu'à un maximum de résistance en hiver (caractéristique d'une espèce) et une déacclimatation tout aussi progressive jusqu'à la reprise de croissance de la végétation. Cette acclimatation est initiée le plus souvent par la photopériode et sous le contrôle des basses températures non gélives. Le réchauffement climatique attendu est donc susceptible de modifier cette dynamique d'acclimatation et de rendre plus vulnérable aux aléas de gel une espèce qui aujourd'hui résiste très bien aux températures extrêmes de l'hiver. En outre, l'augmentation de la concentration du CO₂ dans l'atmosphère pourrait, dans certains cas, accentuer ses problèmes d'acclimatation et les risques de dégâts de gel associés (L. Harvengt). Les plants sont donc particulièrement vulnérables à deux périodes de l'année : au printemps, au moment du débourrement végétatif (souvent plus précoce avec des températures plus douces en hiver) et au début de l'allongement des pousses, et à l'automne, lorsque les pousses ne sont pas complètement « aoûtées » et pas encore acclimatées. Bien que rares, les grands froids hivernaux constituent également une menace.

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 huit 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 nous incite à la prudence (rapport d'activité 2010, pp 59-62). Une méthode plus objective et plus répétable doit être mise au point pour statuer de façon fiable sur la dynamique d'aoûtement des variétés et leur résistance aux gels précoces.

Pour ce faire, une étude bibliographique a été réalisée en 2011-12 (compte rendu d'activité 2011, pp. 78-85) et des contacts ont été pris avec des spécialistes français (UMR PIAF "Physique et physiologie intégratives de l'arbre fruitier et forestier" entre l'INRA et l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand) et nord-américains. A l'issue de ces recherches, deux méthodes ont été privilégiées : i) la détermination de la LT50, température provoquant 50% de lyse cellulaire, par des mesures de conductivité et ii) 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). Bien que la deuxième technique soit couramment utilisée sur la côte ouest américaine, sa fiabilité n'est pas unanimement reconnue et Irstea ne dispose pas du congélateur programmable indispensable à sa mise en œuvre. D'autre part, il n'est pas certain que cette méthode, destinée au screening de nombreux géotypes (familles, clones), soit suffisamment précise pour classer des populations à forte variabilité génétique. Nos premiers essais ont donc porté en premier sur le test de conductivité. Deux essais prospectifs ont été réalisés au PIAF de Clermont-Ferrand, durant l'automne et l'hiver 2012. Cette équipe détient une solide expertise en matière de feuillus, noyer notamment, mais les premières tentatives sur conifères (mélèze, pin sylvestre, épicéa) se sont avérés moins convaincantes car les mesures de conductivité peuvent être biaisées par la résine présente dans les tissus. Dans nos essais, il s'agissait donc essentiellement de tester la méthode "feuillus" sur le Douglas qui n'avait jusqu'alors jamais été étudié par le PIAF.

2.2.2.- Matériels et méthodes

Le protocole a été déterminé le 31 juillet, lors d'une réunion à Clermont-Ferrand. Y participaient plusieurs chercheurs du PIAF (Thierry Améglio, Marc Bonhomme, Guillaume Charrier, Christophe Serre), de l'INRA (JC Bastien) et d'Irstea (G. Philippe).

2.2.2.1- Matériel végétal

- Plants de trois ans de l'essai sous serre d'Irstea (cf partie "essai en conditions contrôlées"), modalité 1 correspondant à un faible stress hydrique.
- Variétés Californie (récolte expérimentale 2007) et Luzette non éclairci (récolte commerciale 2004), représentées chacune par 10 plants monocycliques. Les tests d'octobre et décembre ont été réalisés sur les mêmes individus.

- Echantillons analysés : pousses latérales 2012 d'ordre 1, bien exposées à la lumière, issues de bourgeons subterminaux ou de bourgeons axillaires proches de l'apex de la pousse terminale 2011 (3 à 5 pousses par individu). Le marquage des pousses a été réalisé par Irstea et le PIAF, le 4 octobre 2012, en veillant à ce que le matériel analysé soit le plus homogène possible.

2.2.2.2- Tests de résistance au froid

** Détermination de LT50 (test de conductivité)*

Après avoir été soumis à un cycle de gel-dégel à une température fixée et sous une vitesse de refroidissement/réchauffement régulière et contrôlée, le matériel végétal est découpé en petits fragments puis immergé dans 15 ml d'eau ultrapure et enfin agité durant 18 h à 5°C à l'obscurité. On mesure alors la conductivité initiale de la solution puis la conductivité finale après destruction de toutes les cellules par autoclavage (30 minutes à 120°C), ce qui permet de déterminer le pourcentage de lyse cellulaire (rapport entre les conductivités initiale et finale). La température létale produisant 50% de lyse cellulaire (LT50) est enfin déduite mathématiquement, d'après l'équation de la courbe traçant le % de lyse en fonction de la température.

Deux séries de tests ont été réalisées les 8-10 octobre puis les 10-13 décembre 2012, selon le protocole standard du PIAF. Les échantillons, constitués de tronçons de pousse d'environ 5 cm de longueur débarrassés du bourgeon terminal, ont été soumis à l'une des températures suivantes (températures effectives mesurées durant le test):

- octobre : +5.0, -6.9, -14.5, -21.3, -29.2, -77.4°C

- décembre : +5.0, -9.7, -17.6, -24.3, -33.9, -78.0°C.

Durant le test au froid, la température est abaissée progressivement (5°C/heure) puis maintenue une heure au seuil fixé. La remontée de température s'effectue ensuite au même rythme de 5°C/h.

Préalablement au test de conductivité, les échantillons passés au froid ont été découpés en petits fragments. Ils étaient de deux natures :

- sections de rameaux sans aiguilles (10 individus par variété)

- sections d'aiguilles (une vingtaine d'aiguilles par pousse) pour 5 individus de chaque variété.

A chaque date, le test incluait donc des mesures de conductivité sur 180 échantillons :

(10 rameaux + 5 aiguilles) x 6 températures x 2 variétés

** Microcalorimétrie différentielle*

Cette méthode permet de suivre en continu l'évolution de la température de l'échantillon à analyser (fragment de tige ou aiguille – 10 à 30 mg de matière fraîche) lorsqu'il est soumis à une baisse graduelle de température (5°C/h). Un pic, révélant un dégagement de chaleur de l'échantillon, s'interprète comme une prise en glace d'un compartiment d'eau car cette réaction est exothermique. Le premier pic correspond généralement à la prise en glace de l'eau extracellulaire, phénomène non létal ; un second peut s'expliquer par le gel de l'eau intracellulaire qui, lui, aboutit à des dégâts irréversibles. Ce test renseigne donc sur la température à laquelle l'eau extra et intracellulaire gèle et donc sur le niveau de résistance au froid du végétal étudié. Du fait de sa durée – il nécessite 8 h pour descendre de 15°C à -25°C – ce test ne permet d'étudier qu'1-2 échantillons par jour. Les essais conduits en octobre 2012 sur

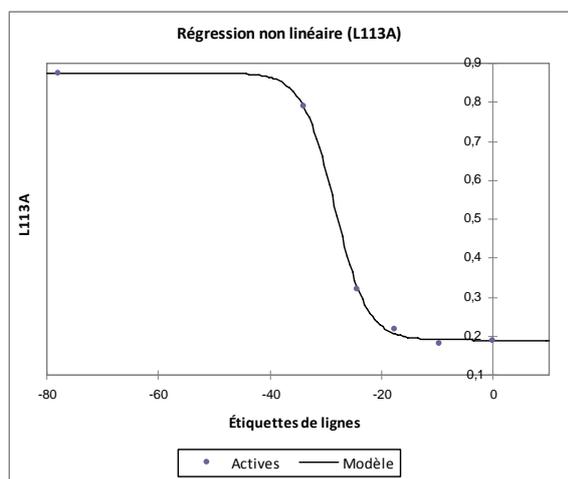
tiges et aiguilles d'une dizaine de plants des deux variétés n'avaient donc qu'une visée exploratoire.

2.2.3- Résultats

2.2.3.1- Détermination de LT50

* Courbes retraçant l'évolution de la conductivité en fonction de la température

L'amplitude de variation du pourcentage de lyse cellulaire est forte : de 21% à 74% pour les températures extrêmes du test de décembre. En cela, les données s'apparentent plus à celles classiquement obtenues chez les feuillus que chez les conifères étudiés jusque là. Par ailleurs, le pourcentage de conductivité évolue de façon logique avec la température. Ces courbes sont très satisfaisantes et permettent une bonne estimation de LT50, même si certains aménagements (plateaux forcés) ont dû être effectués pour un tout petit nombre d'échantillons (4 sur 30, correspondant tous à des tiges, pour le test de décembre).



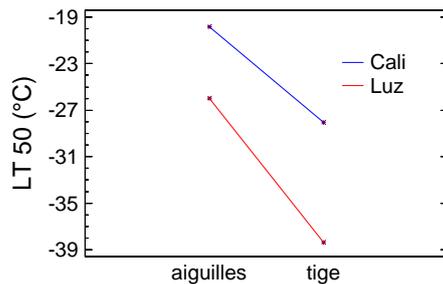
Echantillon "Luzette, n°113, aiguilles" ($LT_{50} = -28,4^{\circ}C$)

* Analyse de LT50

Variété	LT50 (°C)	
	mi-octobre	mi-décembre
Californie	-10.2	-31.9
Luzette	-10.2	-37.5
Effet variété (tige)	NS	*
Matériel		
Tige	-10.2	-33.2
Aiguilles	-7.5	-22.9
Effet matériel	**	***
Interaction variété x matériel	NS	NS

Aucun effet variété n'est observé lors du test d'octobre ; en revanche, La Luzette apparaît plus endurcie au mois de décembre. D'autre part, aux deux dates, les rameaux sont plus résistants au froid que les aiguilles. Bien que l'interaction variété x organe soit non significative, on

remarque que la différence La Luzette – Californie est plus affirmée pour les tiges que pour les aiguilles.



Néanmoins, ces résultats doivent être considérés avec prudence car ils ont été obtenus à partir de très petites populations (10 plants de chaque variété) et en ne s'intéressant qu'aux seuls individus monocycliques.

Par ailleurs, plusieurs variables sont corrélées positivement :

- LT50 de décembre des tiges et aiguilles ($r = 0.73^*$)
- LT50 d'octobre et décembre, tous échantillons confondus ($r = 0.50^{**}$)
- LT50 d'octobre et décembre pour La Luzette (tiges et aiguilles confondues) ($r = 0.72^{**}$)

En revanche, les LT50 des deux dates ne sont pas corrélées lorsque l'on ne s'intéresse qu'aux tiges ou aux aiguilles.

2.2.3.2- Microcalorimétrie

Les essais réalisés en octobre n'ont permis d'observer qu'un seul exotherme pour tous les échantillons. Nous l'interprétons comme la température à laquelle se forme le premier cristal de glace, donc plutôt de l'eau extracellulaire. En absence de second exotherme (prise en glace de l'eau intracellulaire), il est difficile de statuer sur la température de lyse cellulaire. Les résultats ne montrent pas de différence entre variété, aussi bien pour les tiges (exothermes à -8.75°C et -8.83°C respectivement pour Californie et Luzette) que pour les aiguilles (-11.44°C pour les deux variétés). Néanmoins, les variances sont relativement fortes puisque, au sein d'une même variété, les températures d'exothermes varient de 1°C à 2°C pour les tiges et de 3 à 6°C pour les aiguilles. Enfin, en moyenne, les exothermes apparaissent donc à des températures plus basses dans le cas des aiguilles que pour les tiges sans que l'on puisse trancher sur la raison de cette différence (nombre d'agents nucléants ? quantité d'eau congelable ? osmolarité de cette eau extracellulaire ?).

Enseignements de cette première approche

Ces tests de faisabilité ont produit des résultats encourageants dans le sens où la méthode utilisée en routine par le PIAF pour déterminer la LT50 semble bien adaptée aux jeunes pousses de Douglas. La microcalorimétrie nous semble par contre plus difficilement interprétable et donc peu adaptée à l'objectif poursuivi.

Par ailleurs, les observations effectuées par Irstea nous rendent relativement optimistes quant à la possibilité de quantifier les dégâts de gel sur tige, aiguilles et bourgeons, ce qui constitue un préalable à la mise en application de la "méthode américaine". Les nécroses sont en effet très

visibles sous loupe binoculaire, et ceci sans équivoque lorsque l'on compare des matériels complètement gelés et des matériels frais. Ce résultat nous incite à reconduire ce type d'observations à plus grande échelle, sur des matériels partiellement gelés et à étudier la corrélation entre LT50 et le pourcentage de tissus nécrosés.

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

Les organismes expérimentateurs ont jugé utile d'intégrer les 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 accordés à Irstea pour lui permettre d'entrer ses données. A terme, tous les partenaires du réseau auront un droit d'accès et il est prévu que l'ensemble des données soit intégré à la base en 2013.

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 2 août 2012 à l'INRA d'Orléans pour tenter de remédier aux difficultés rencontrées en février (cf rapport d'activité 2011, p.86). A cette occasion, Irstea a rempli les trois fichiers relatifs aux tests du réseau qu'il gère. Ils ont ensuite été intégrés avec succès dans la base de données.

JC Bastien a également rempli les tableaux FT, GU et TM pour les deux tests concernant l'INRA. Il subsiste néanmoins un problème d'alias à résoudre pour pouvoir entrer les fichiers dans la base.

4- Elargissement du réseau

4.1- Contexte

Le réseau est à présent conforme au schéma imaginé lors du lancement du projet (réunion du 22/01/08). Toutefois, si le plan d'échantillonnage s'est attaché à explorer une vaste gamme de contextes climatiques, de larges parties du territoire où le Douglas est déjà cultivé avec succès ou susceptible de se développer restent non couvertes. C'est en particulier le cas de situations pédo-climatiques des domaines atlantiques et continentaux, qui constituent un potentiel indéniable d'expansion de l'essence, dans un objectif – nécessaire ! - d'accroissement de la ressource et de la production de bois d'œuvre résineux à l'échelle nationale. Le groupe "évaluation Douglas" a donc décidé d'étendre le réseau dans ces zones "orphelines".

4.2- Contextes bioclimatiques couverts et recherchés

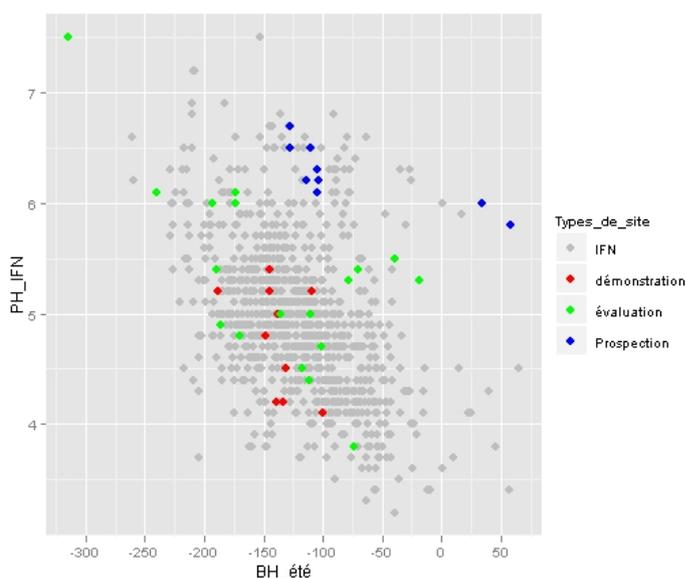
Lors de la réunion annuelle du groupe, l'ONF a présenté une étude interne visant à éclairer cette démarche d'extension du réseau, et dont nous reproduisons des extraits ci-dessous.

Dans un premier temps, le travail a consisté à identifier, à partir d'une analyse bibliographique sur l'autécologie du Douglas vert, les principaux facteurs de la présence et de la productivité du Douglas. Trois d'entre eux apparaissent prépondérants : la sécheresse estivale, l'alimentation minérale (richesse trophique) et la température hivernale.

Dans un second temps, en s'appuyant sur les données I(F)GN, l'ONF a caractérisé les conditions pédo-climatiques i) des zones de présence du Douglas en France, ii) des dispositifs d'évaluation/démonstration du réseau initial et iii) d'un certain nombre de sites potentiels déjà prospectés dans le nord-est de la France. Ce travail a permis d'identifier les gammes de variation de la ressource nationale quant à ces différents facteurs, et les lacunes du réseau actuel dans la couverture de ces gradients. Il a ainsi mis en évidence les contextes pédo-climatiques non couverts par le réseau actuel et qui mériteraient d'être étudiés à l'avenir pour mieux explorer l'adaptation respective des différents vergers aux conditions pédo-climatiques potentielles de l'essence, pour les boisements/reboisements d'aujourd'hui et demain.

Plus en détail, les sites ont été caractérisés par quatre variables : le bilan hydrique climatique estival (BHe, juin, juillet, août), le rapport C/N et le pH (bioindiqué) et la température mini moyenne hivernale (décembre, janvier, février).

Cette étude a confirmé que le réseau existant ne couvre qu'imparfaitement les gradients pédologiques et climatiques de la ressource, et que les lacunes mériteraient d'être comblées par une extension du réseau i) sur des sols plus riches et/ou à pH plus élevés, en situation de bilan hydrique favorable (extension envisagée sur les montagnes de Franche Comté et plaines de l'Est (plateaux calcaires), et ii) en contexte acide, en situation de bilan hydrique favorable, (extension envisagée dans les massifs continentaux des Ardennes et des Vosges, et dans le Nord-ouest en climat océanique pour décorrélérer les facteurs pluviométrie et température). De tels dispositifs constitueraient en outre des points de référence intéressants pour des utilisateurs de graines anglais et allemands.

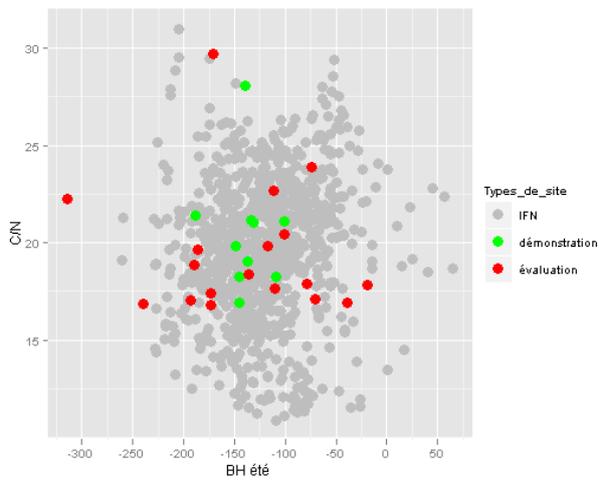


Lacunes

- $pH > 5,5$ et $BHe > -150$ mm
(plateaux calcaires nord-est et Jura)

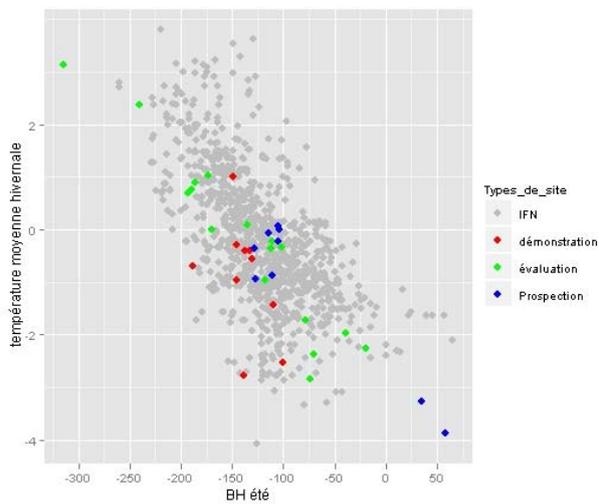
- $pH < 5$ et $BHe > -75$ mm
(Vosges, Ardennes primaires)

Gradients écologiques des sites Douglas VAG



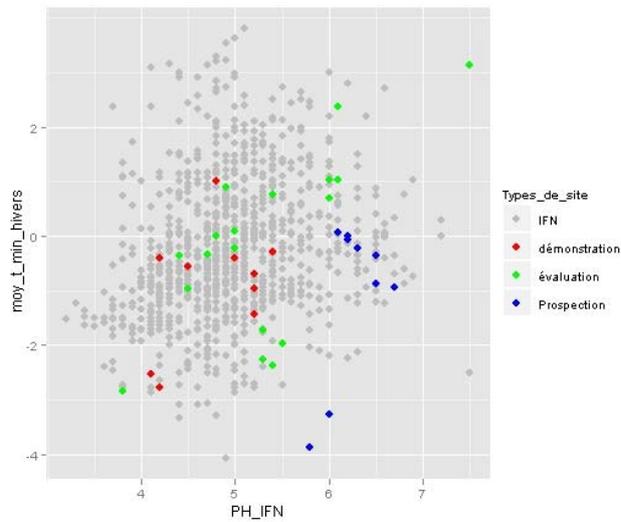
Lacunes

- C/N faible (<17)
(plateaux calcaires nord-est et Jura)
- C/N >20 et BHc > -75mm
(Vosges, Ardennes, Normandie, Bretagne?)



Lacunes

- Situations pluvieuses (à T°C donnée)
- TmoyDJF > 1°C et BHc > -200mm
 - TmoyDJF < 0°C et BHc > 0mm



Lacunes

- TmoyDJF > 1°C et pH <6
- TmoyDJF < 1°C et pH >5,5

4.3- Répartition des tâches

Pour cette extension de l'actuel réseau, l'ONF prévoit d'installer 6 nouveaux tests : deux en Franche Comté et deux sur plateaux calcaires (dans les deux cas, 2 situations contrastées de profondeur de sol), un supplémentaire dans le nord-est (Vosges ?) et un dans les Ardennes. Le nord-ouest sera couvert par un essai INRA (Normandie, si possible Ecouves) et un essai Irstea (Bretagne, avec l'appui de la pépinière de Guémené). Ces nouveaux dispositifs seront de type mono-arbre, sauf dans le nord-est où cohabiteront des dispositifs mono-arbres et en grandes parcelles unitaires.

Site prospecté (ONF)	X	Y	Altitude	Topo/pente/expo	T°C moy ann.	Pluvio moy ann	Pluvio moy JuinJuilAout	Pluvio moy Mai-Sept	Sol : prof. et texture	pH 10 cm	Surface disponible	Risque gibier
FD Bligny sur Ouche (21) Parcelle 123 ppie	778,24	2235,71	510	Plateau	9,4	883	203	385	Argile de décarbonation > 30 cm sur calcaire en plaquettes fissuré Station n° 6 catalogue Hautes Côtes		1ha50 à 2 ha	Chevreuril et sanglier Pas de cerf protection nécessaire
FD Val du Puits (21) Parcelles 5 et 6 ppie	768,92	2332,258	295	Plateau	10,1	946	204	372	Placage de limons de 15 à 40 cm d'épaisseur sur argile de décarbonation reposant sur calcaire en plaquettes entre 35 et 55 cm. (Station 1310)	5,5	2 ha	Chevreuril et sanglier protection nécessaire
FD Plachet (52) Parcelle 18 ppie	794,397	2363,859	320	Plateau / légère pente Ouest	9,8	970	224	378	Placage de limon de faible épaisseur (<=15 cm) sur argile de décarbonation reposant sur plaquettes calcaires en moyenne > 35/40 cm de prof. (localement 20 et jusqu'à 70 cm) Stations 1240 à 1310.	5	1ha50 à 2 ha	Chevreuril, cerf et sanglier protection nécessaire
FD Blinfey (52) Parcelle 54	789,884	2370,573	305	Plateau	9,9	929	215	369	Limons profonds sur argile reposant sur calcaire en plaquettes (> 70 cm) Stations 1310 à 1320. US 5?		1ha50 à 2 ha	Chevreuril, cerf et sanglier engrillagement nécessaire
FD Mathons (52) Parcelle 6	798,501	2383,126	275	Légère pente sud	10	979	226	385	Argile de décarbonation assez compacte de 40 à 45 cm d'épaisseur sur calcaire en plaquettes fissuré Station 1220 à 1310. US 3?	5,5	> 2 ha	Chevreuril et sanglier protection nécessaire
FC Nomécourt (52) Parcelle 630	802,851	2382,897	330	Plateau	9,8	1039	236	401	Limons profonds sur argile reposant sur calcaire en plaquettes (> 70 cm) US 5	5	> 2 ha	Chevreuril et sanglier protection nécessaire
FD Ageville (52) Parcelle 25	820,204	2352,252	405	Plateau	9,2	1028	236	403	US 5		> 2 ha	
FD Clairvaux (10) Parcelle 209	779,925	2353,887	293	Plateau					Sol brun calcique : argile de décarbonation de 35 à 60 cm d'épaisseur sur calcaire dur. Station 1220 à 1240. US 3	5,5	> 2 ha	Chevreuril et sanglier protection nécessaire
FC de Villers sous Chalamont (25) Parcelle 5	883,844	2220,576	740	Légère pente nord ouest	8,1	1637	365	644	limon argileux, profond (tarière) 60 cm, hydromorphie légère à partir de 40 cm (sol frais), pas d'effervescence à HCl argile légèrement limoneuse	4,5 à 5	>2ha	chevreuril engrillagement prévu (commune)
FC de La Longeville (25) Parcelle 28	911,64	2229,898	940	Légère pente sud est	7,5	1502	378	664	profondeur (tarière) variable de 25 à 60 cm hydromorphie légère à plus de 50 cm, pas d'effervescence à HCl	5	2ha20	chevreuril protection individuelle

4.4- Mobilisation de graines

Le GIE a gracieusement fourni des graines de diverses récoltes, si bien que l'on dispose de lots de graines conséquents et représentatifs pour la totalité des vergers. De plus, 1 kg de graines du témoin "seed zone Washington 403" a été acheté par Irstea, avec l'aide de la DGPAAT, à la Sté Weyerhaeuser. Ce lot a été réparti à parts égales entre Irstea et le CGAF.

Par ailleurs, une récolte expérimentale, pilotée par Irstea, a été effectuée en août 2012 dans le verger France 2, de manière à constituer un échantillon de graines le plus conforme possible au matériel de base. La récolte est composée de 1311 cônes, issus de 73 clones (parmi les mieux représentés dans le verger puisque leurs ramets constituent 78% du verger). Chaque clone est représenté dans la récolte par un nombre de cônes proportionnel à son effectif dans le verger. La récolte et l'extraction des graines a été assurée par l'ONF gestionnaire des vergers et les graines sont en cours de purification et de séchage à l'INRA d'Orléans.

Etat des stocks de graines au 01/03/2013

Verger	année	type de récolte	Fourniture GIE (g)		Lieux de stockage (g)		
			ONF	Vilmo	INRA	Irstea	Milles
Darrington	2011	C (commerciale)	100	100	100	100	
Luzette	2010	C (haut 502A + 501B)		100		100	
	2009	C (P.501A+502A)	100		100		
France 1	2007	E (expé)			294		
	2010	C		100		100	
France 2	2007	C	100		100		
	2007	E			111		
	2012	E (en cours)					
France 3	2007	E			154		
	2010	C		100		100	
Washington	2008	E					20
	2008	C	100		100		
Washington 2	2010	C	100	100	100	100	
Californie	2006 +2007	E					
	2007	E			157		
	2007	C	100	100	100	100	

4.5- Production de plants

Telle qu'elle est prévue, l'extension du réseau nécessite environ 10 000 plants plantables, ce qui suppose l'élevage de 20 000 plants, sans compter les plants de bordure. Pour limiter les risques climatiques et répartir la charge de travail, aussi bien en pépinière que sur le terrain, il a été décidé de produire les plants sur deux campagnes : semis 2013 et 2014.

Si l'élevage permet de dégager un excédent de plants, il pourra être utilisé pour l'installation d'essais en zone sèche, en remplacement du test de Colle-du-Rouet (83) par exemple. A cet égard, des prospections de terrains sont prévues par l'ONF, toujours en zone méditerranéenne mais en ciblant des sites moins stressants que Colle-du-Rouet. La pépinière de Castelluccio (Ajaccio), visitée par Irstea début janvier, constituerait également un site intéressant.

Contrairement à ce qui était envisagé à l'origine, les plants ne peuvent être élevés ni à Aix-en-Provence ni à Cadarache en 2013. Le groupe a donc opté pour une production de plants à racines nues, dans un site bénéficiant de conditions climatiques proches de celles des sites de plantation : la pépinière ONF de Peyrat-le-Château. Le semis en minimottes (Jiffy) sera suivi d'un repiquage sous claies en juin 2012, afin d'obtenir des plants vigoureux en deux ans.

21434 semis ont été réalisés les 4 et 5 mars 2012 à Peyrat le Château. Les 8 lots de graines issus des 8 vergers à graines ont subi un prétraitement au froid humide en chambre froide qui a duré 8 semaines afin de lever la dormance. Les graines du témoin Washington Seed Zone 403 étant arrivées plus tard (pour cause de dédouanement), elles ont été prétraitées de façon différente. Un lot a été mis en chambre froide comme les autres lots mais sur une période plus courte et un autre lot a subi un prétraitement à l'eau oxygénée juste avant le semis. Chaque graine a été semée dans une mini-motte. Les semis sont depuis dans une serre chauffée. Ils seront replantés en pleine terre début juin 2013 pour ensuite rester en terre jusqu'à l'automne 2014 ou le printemps 2015.

Les plants seront élevés deux ans à Peyrat avant de pouvoir être plantés sur le terrain. Les essais seront donc installés au printemps 2015 (semis 2013) ou 2016 (semis 2014).

5- Communication

Un article résumant les principales caractéristiques et le comportement des variétés françaises a été rédigé par le CNPF avec l'aide des partenaires impliqués dans le réseau d'évaluation. Il est paru en janvier 2013, dans le n°208 de Forêt Entreprise (pp.24-31) (cf annexe 1).

L'article prévu pour les Rendez-Vous Techniques de l'ONF est reporté à 2013/14.

Conclusion

Irstea, l'ONF, l'INRA et le CNPF se sont mobilisés pour mettre en place un réseau de plantations comparatives destiné à évaluer les performances des huit vergers de Douglas français. Le programme d'installation, décidé en 2008 lors de la réunion de lancement du projet, a été respecté. 27 dispositifs d'évaluation et 10 tests de démonstration ont été plantés dans une large gamme de conditions pédo-climatiques : cœur de l'aire, altitude et marges climatiques. Irstea, l'ONF, le CNPF et l'INRA contribuent respectivement pour 8, 7, 10 et 2 essais.

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, à St Georges-en-Couzan (42) et Sylvanes (12).

Dans l'ensemble, l'état des dispositifs est satisfaisant, bien que l'on déplore 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 et ii) Colle du Rouet, planté dans une station particulièrement stressante et qui présente un très fort taux de mortalité. Une nouvelle installation sur un site moins défavorable au Douglas est à l'étude. Enfin, deux dispositifs ont subi des dégâts importants mais continuent néanmoins à être suivis : Les Barres et Anglès.

21 tests ont été mesurés à l'intersaison 2012/13. Les résultats confirment ceux obtenus lors des précédentes campagnes de mesures, tant pour la phénologie que la croissance. La variété Californie se caractérise par une grande précocité de débourrement, ce qui la rend sensible aux gels de printemps et aux défauts de forme, et par une faible croissance juvénile. Ces premiers résultats ont été exposés dans un article paru début 2013 dans Forêt-Entreprise. Dans de nombreux sites, les produits des vergers, à l'exception de Darrington, se révèlent ou tendent à être plus vigoureux que le témoin de l'aire naturelle (seed zone Washington 403). L'analyse multi-site qui sera réalisée après cinq saisons de végétation sur le terrain nous fournira des indications plus précises et plus fiables sur le comportement de chacune de ces variétés. En particulier, il sera intéressant d'étudier l'interaction variété x milieu qui renseignera sur la capacité d'adaptation des variétés aux types de milieu explorés (moyenne montagne, altitude, zones sèches).

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'aoûtement des pousses est difficile à déterminer au champ et l'étude de l'endurcissement au froid se heurte à des problèmes méthodologiques. Pour tenter de lever ce verrou, une collaboration a été initiée en 2012 entre l'INRA de Clermont-Ferrand, d'Orléans et Irstea et des tests préliminaires ont été engagés sur de jeunes individus de La Luzette et Californie. Ces tests de faisabilité ont produit des résultats encourageants dans le sens où le test de conductivité utilisé en routine par l'INRA pour déterminer la LT50 (température provoquant 50% de lyse cellulaire) chez les feuillus semble bien adaptée aux jeunes pousses de Douglas. La microcalorimétrie nous semble par contre plus difficilement interprétable et donc peu adaptée à l'objectif poursuivi. De nouveaux tests sont prévus en 2013 mais l'obtention de résultats définitifs sur les huit variétés nécessitera des travaux de plus grande envergure et la recherche d'un financement spécifique.

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. Une étude menée par l'ONF montre en effet que le réseau existant n'échantillonne qu'imparfaitement les gradients pédologiques et climatiques de la ressource et que de larges parties du territoire où le Douglas est déjà cultivé avec succès ou susceptible de se développer restent non couvertes. C'est en particulier le cas de situations pédo-climatiques des domaines atlantiques et continentaux, qui constituent un potentiel indéniable d'expansion de l'essence. Les partenaires du groupe "évaluation Douglas" ont donc décidé de combler ces lacunes et d'étendre le réseau dans ces zones "orphelines": montagnes de Franche Comté et plateaux calcaires de l'Est, massifs continentaux des Ardennes et des Vosges, zone Nord-ouest sous climat océanique. De tels dispositifs constitueront en outre des points de référence intéressants pour des utilisateurs de graines anglais et allemands.

Des lots de graines représentatifs des vergers ont été mobilisés pour produire les plants nécessaires à l'installation des 8 essais en projet. Une première vague de semis a été réalisée début 2013 à la pépinière ONF de Peyrat-le-Château, où les plants seront élevés durant deux ans. Les nouveaux dispositifs seront plantés aux printemps 2015 et 2016.

II- ESSAI EN CONDITIONS CONTROLEES POUR ESTIMER LA RESISTANCE AU STRESS HYDRIQUE (Irstea)

Cet essai probatoire visait à acquérir une première expérience dans le pilotage d'essais en conditions contrôlées. Plus précisément, il s'agissait de s'équiper en matériel et de le tester (caisses hébergeant le matériel végétal, matériel de mesure des paramètres environnementaux, ...), d'évaluer les contraintes liées à ce type d'essai, notamment de temps, et enfin d'acquérir de l'information sur le comportement de plants de deux origines génétiques (La Luzette et Californie) soumis à un stress hydrique.

Le matériel végétal a été installé en 2011 dans des caisses métalliques remplies d'un substrat de texture sableuse et copieusement arrosé de manière à assurer une bonne reprise (cf rapport d'activité 2011, pp 126-127) et l'essai proprement dit a été réalisé en 2012. Les plants ont été soumis à trois régimes climatiques : 1) restriction d'eau modérée sous serre, 2) stress hydrique de fin de printemps et d'été sous serre et 3) pluviosité et température naturelles, hors serre.

Ce compte rendu est organisé en trois parties : présentation du matériel végétal, caractérisation des conditions environnementales dans les trois modalités et analyse du comportement des deux variétés, en termes de phénologie, croissance et survie.

1- Le matériel végétal avant mise en place de l'essai

1.1- Origine - historique

- Deux variétés : La Luzette non éclairci (récolte 2004) et Californie (récolte expérimentale 2007).
- Semis début 2010 et élevage des plants en conteneurs WM de 560 cm³, à la pépinière des Milles ; ces plants proviennent des deux meilleures modalités d'un essai visant à comparer plusieurs itinéraires culturaux (semis précoce sous serre puis élevage sous ombrière).
- Livraison à Nogent mi-mars 2011 et installation des plants, à racines nues, les 25-26 mai, dans des caisses métalliques (Lxlh extérieures : 145 cm x 110 cm x 78 cm), à raison de 30 plants de la même origine par caisse. Les caisses sont remplies de terre de Loire. Le fond des caisses est tapissé de plaques de polystyrène alvéolées recouvertes d'une bâche en tissu perméable à l'eau afin de réduire le poids ; la hauteur de substrat est ainsi de 45-50 cm (volume exploitable par les racines : 0,70 m³/caisse).
- Caisses de plants stockées hors serre et donc soumises aux températures et précipitations locales ; contrôle de la teneur en eau (sonde TDR) et arrosages réguliers pour assurer la reprise.
- Transfert des caisses sous serre, fin décembre 2011, pour éviter les dégâts de gel durant l'hiver.
- Caractérisation du matériel végétal en fin d'hiver 2011/12 : mortalité, diamètre au collet, accroissements en hauteur 2010 et 2011, nombre et longueur cumulée des ramifications. Pour la plupart de ces variables, l'effet caisse était hautement significatif et ces données ont été prises en compte pour l'appariement des caisses au sein des trois modalités. Les groupes

de quatre caisses représentant chaque modalité (2 Luzette, 2 Californie) ont été constitués de manière à ce que les effets de la modalité et de l'interaction variété x modalité soient non significatifs pour la vigueur 2011.

- Sortie de serre des quatre caisses de la modalité 3 (19 mars 2012) et mise en place des caisses des modalités 1 et 2.

1.2- Dimensions

Début 2012, c'est-à-dire juste avant que l'essai ne débute, les plants mesuraient en moyenne 27,5 cm de hauteur et 7,9 mm de diamètre et ils avaient produit 13 ramifications ayant une longueur cumulée de 120 cm.

Variété	% survie	diamètre 2011 (mm)	H 2010 (cm)	H 2011 (cm)	% "fourches"	% polycycliques 2011 (1)
Luzette	93.3	7.54	12.6	27.5	20.2	31.1
Californie	95.0	8.23	12.9	27.5	33.9	47.9
Effet variété	NS	**	NS	NS	**	**
Effet modalité	NS	NS	NS	NS	NS	**
Interaction	-	NS	***	NS	-	-
Effet caisse	NS	***	***	***	NS	***

(1) individus dont la pousse principale 2011 présente deux cycles de croissance

Variété	longueur (cm)			ramifications	
	pousse(s) 2011 (cm)	pousse 1 ^{aire} 2011 (cm)	pousse 2 ^{aire} 2011 (cm)	nombre	long. cumulée (cm)
Luzette	15.0	11.3	11.8	13.0	112.4
Californie	14.7	10.8	7.8	13.5	128.1
Effet variété	NS	NS	**	NS	*
Effet modalité	NS	NS	NS	NS	NS
Interaction	NS	NS	NS	NS	NS
Effet caisse	***	*	***	***	***

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

NS : non significatif

Les populations des deux vergers diffèrent significativement pour plusieurs caractères. En particulier, Californie se distingue de La Luzette :

- par un diamètre supérieur
- par une plus forte proportion d'individus ayant produit une seconde pousse (sur l'axe principal)
- par des pousses secondaires plus courtes
- par une plus grande longueur cumulée de ramifications
- par une plus grande aptitude à la "fourchaison" ou au changement de dominance.

Ce défaut se caractérise par la présence d'une ramification dressée, surplombant l'apex du plant, qui s'est développée à partir d'un bourgeon subterminal ou latéral fraîchement formé sur la pousse principale (polycyclisme). Ce phénomène se rencontre plus fréquemment chez les individus à pousse principale monocyclique, mais aussi dans la variété Californie (malgré sa plus forte propension à produire des pousses secondaires).

D'autre part, quelle que soit la variété, les individus polycycliques (*i.e.* dont la pousse principale a effectué deux cycles de croissance en 2011) se sont plus allongés que les monocycliques (17,5 cm contre 13,0 cm). En revanche, la pousse primaire des polycycliques est plus courte que la pousse des monocycliques (8,0 cm contre 13,0 cm).

Notons cependant que la croissance 2011 a certainement été perturbée par le stress de repiquage. Il serait donc hasardeux d'en tirer des conclusions définitives quant au fonctionnement des deux variétés.

2- Caractérisation des conditions environnementales

2.1- Substrat

Les caisses de plants ont été remplies de terre de falaise, préalablement criblée (maille de 3x3 cm) pour éliminer les grosses pierres et fractionner les mottes. Elle correspond à la couche superficielle du sol récupérée lors de travaux en bord de Loire. L'analyse de sol réalisée par l'INRA (Arras) montre que le substrat contient 11% d'argile, 12% de limons et 77% de sables. Ils se classe dans les "sables limoneux" si l'on se réfère au triangle des textures de Jamagne. Les teneurs en matière organique et carbone sont faibles mais ce résultat était attendu compte tenu de l'absence d'humus. Le pH est relativement élevé (6,07) et la richesse chimique est correcte (faible capacité d'échange, ce qui est classique en sol sableux, compensée par un taux de saturation élevé).

Teneur en eau résiduelle à 105°C	8.39 g/kg
Texture	
- argile (<2 µm)	110 g/kg
- limons fins (2-20 µm)	75 g/kg
- limons grossiers (20-50 µm)	41 g/kg
- sables fins (50-200 µm)	107 g/kg
- sables grossiers (200-2000 µm)	667 g/kg
Carbone organique	13.2 g/kg
Azote total	1.09 g/kg
C/N	12.2
Matière organique	22.9 g/kg
pH eau	6.07
Calcaire (CaCO ₃) total	<1 g/kg
Phosphore (P ₂ O ₅) – méthode Dyer	0.454 g/kg
Phosphore - méthode Duchaufour	0.806 g/kg
CEC cobaltihexamine (spectrocolorimétrie)	8.25 cmol+/kg
Cations échangeables à la cobaltihexamine	
Ca	8.34 cmol+/kg
Mg	0.743 cmol+/kg
Na	0.0822 cmol+/kg
K	0.176 cmol+/kg
Fe	0.0053 cmol+/kg
Mn	0.17 cmol+/kg
Al	0.0354 cmol+/kg

Des mesures de teneurs en eau à différents pF ont été commandées à SAS laboratoire (pour notre substrat et deux autres substrats de granulométrie voisine). Malheureusement, les

résultats présentent des incohérences et sont donc sujets à caution. Selon ces données, la teneur en eau volumique serait de l'ordre de 8-10% au point de flétrissement permanent (pour une densité de 1,5). D'autres sources, que nous jugeons plus fiables, indiquent une valeur nettement plus faible, de 5% pour les sols sablo-limoneux.

Teneurs en eau à différents pF (SAS laboratoire)

pF	TE% (exprimé en % de matière sèche)		
	Substrat essai	substrat voisin (B)	substrat voisin (C)
2.0	16.36		19.3
2.5	15.67	24.9	14.7
3.0	8.97		10.6
3.5	7.36	9.63	8.85
4.0	5.87		7.09
4.2	7.20	5.35	6.55

* pF 2,5 = pF à la capacité de rétention (après élimination de toute l'eau de gravité)

* pF 4,0 = pF au point de flétrissement temporaire (TE du sol quand la végétation présente des symptômes passagers de flétrissement, en période de forte demande évaporative)

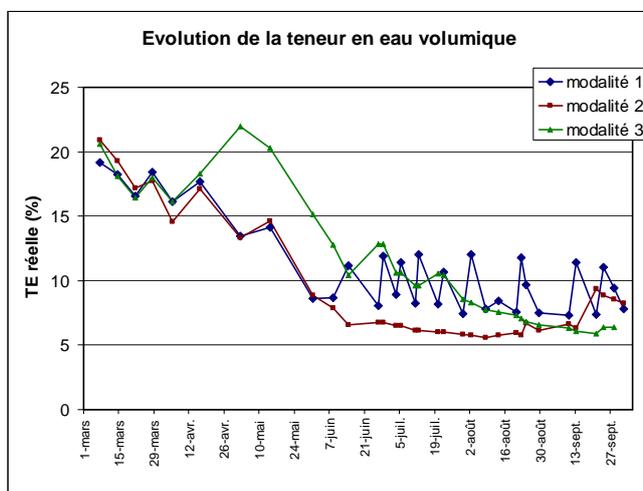
* pF 4,2 = pF au point de flétrissement permanent (force de succion des plantes = force de rétention en eau par le sol – le solde d'eau du sol n'est plus disponible pour les végétaux qui se flétrissent irréversiblement)

2.2- Teneur en eau du substrat - arrosages

2.2.1- Etude globale des trois modalités

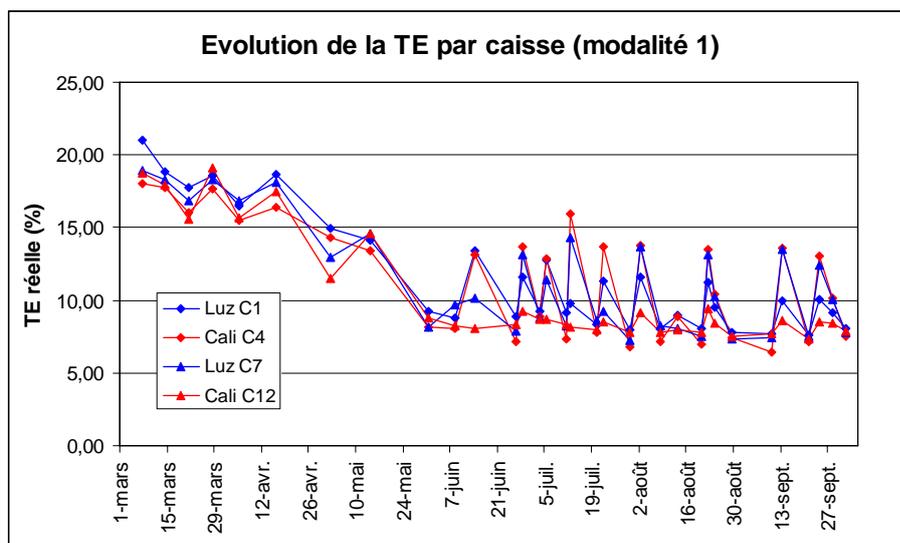
La teneur en eau volumique du sol a été mesurée par la méthode TDR (Time Domain Reflectometry). La mesure est prise en introduisant la sonde dans un tube en plastique placé au centre de chaque caisse.

Dans les courbes ci-dessous, les valeurs mesurées ont été corrigées après étalonnage, en juin 2012, dans le substrat utilisé dans les caisses. Lors de cette opération, des volumes d'eau connus (50, 100, 150, 200, 250, 300 cl) étaient versés dans un volume de 10 litres de substrat. Les TE mesurées, après ressuyage de 4 h, étaient très bien corrélées avec les TE théoriques ($R^2 = 97\%$) et la TE réelle se déduit de la TE mesurée par l'équation suivante : TE réelle : $0.78 * TE \text{ mesurée} - 0.29$. A partir de 290 cl, l'eau commence à s'écouler sous le récipient contenant le substrat ; nous considérons donc que la valeur maximale après ressuyage a été atteinte à 29% de TE.



NB- Les mesures de teneur en eau se sont arrêtées le 2 octobre, soit 13 jours avant la sortie de serre des caisses des modalités 1 et 2. Les précipitations, faibles durant la 2^{ème} quinzaine d'octobre, sont devenues abondantes début novembre.

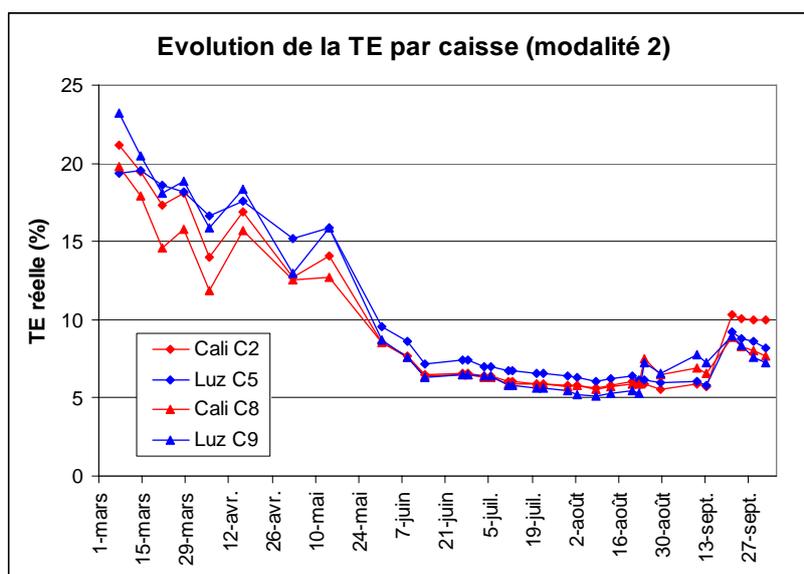
2.2.2- Variabilité entre variétés et caisses pour la modalité 1



Une restriction d'eau modérée a été appliquée à partir de mi-mai, de manière à ce que la TE mesurée fluctue autour de 15%, ce qui s'est avéré correspondre, après étalonnage, à une TE réelle de 11,4%. Comparée aux autres caisses, la caisse 12 se caractérise par une TE moyenne plus faible et par de moindres fluctuations de la TE à partir de début juin.

Caisse	variété	TE moyenne (7 mars – 2 octobre)	TE moyenne (31 mai – 2 octobre)
1	Luzette	11.5	9.5
7	Luzette	11.5	9.7
4	Californie	11.5	10.0
12	Californie	10.2	8.3

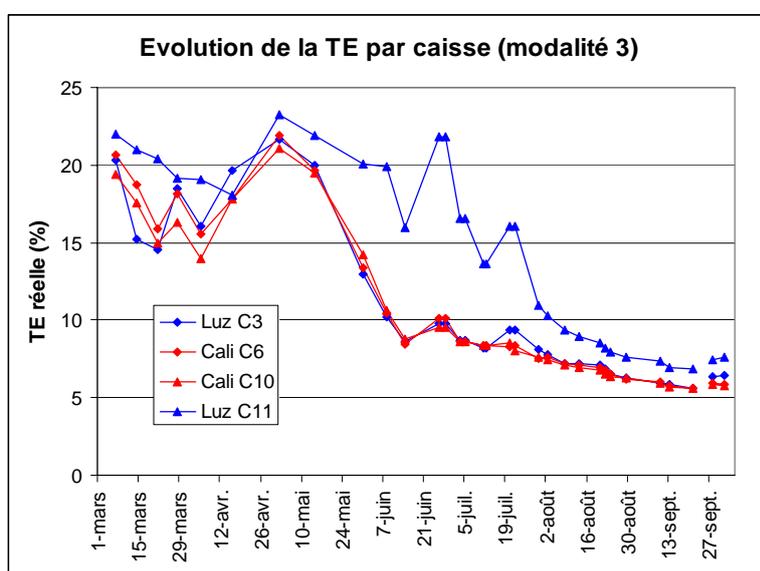
2.2.3- Variabilité entre variétés et caisses pour la modalité 2



Les plants de cette modalité ont subi un stress hydrique sévère et prolongé afin de tester – et même dépasser – leurs limites de résistance. Les arrosages ont en effet été complètement stoppés de mi-mai à mi-août, période à laquelle ont été observés les premiers dépérissements. A l'issue de ces trois mois de sevrage, les arrosages ont repris, mais avec modération. Durant la période de stress, la TE des quatre caisses varie peu.

Caisse	variété	TE moyenne (7 mars – 2 octobre)	TE moyenne (31 mai – 2 octobre)
5	Luzette	9.6	7.1
9		9.3	6.6
2	Californie	9.2	6.8
8		8.7	6.7

2.2.4- Variabilité entre variétés et caisses pour la modalité 3



Après trois arrosages réalisés en début de printemps (fin mars et début avril), les caisses n'ont reçu que les précipitations naturelles. La pluviosité est faible durant le premier trimestre, relativement abondante au printemps, puis extrêmement limitée en fin d'été (moins de 4 mm de pluie du 20 juillet au 20 septembre), période également caractérisé par des températures très élevées.

2012	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	2012
Précipitations	49.2	15.2	24.0	91.8	52.0	83.4	74.6	3.2	42.8	104.0	58.2	87.2	686 mm
Nb jours pluie	22	11	12	18	18	20	13	6	10	21	18	24	193
Pmm max.	15	4	6	15	10	12	27	2	14	36	17	13	
1981-2010													
Précipitations	65.2	52.6	64.6	55.5	67.2	53.5	65.3	60.7	58.8	72.9	64.4	70.7	741 mm

Comme en témoigne la figure ci-dessus, la caisse 11 est clairement atypique. Sa teneur en eau exceptionnellement élevée jusqu'en août est restée inexplicée jusqu'à l'étude biomasse du printemps 2013, au cours de laquelle ont été découvertes 17 larves d'un mélolonthide (*Rhizotrogus* sp.). En consommant les racines des plants, ces larves ont aussi certainement entraîné une réduction de la consommation en eau des plants. Compte tenu du faible nombre

d'insectes colonisateurs, il nous apparaît cependant douteux que ce soit le seul phénomène explicatif mais aucune autre hypothèse ne se dégage.

Caisse	variété	TE moyenne (7 mars – 2 octobre)	TE moyenne (31 mai – 2 octobre)
3	Luzette	10.5	8.0
11		14.5	12.5
6	Californie	10.5	7.8
10		10.3	7.8

2.2.5- Index de stress hydrique (stress index SI)

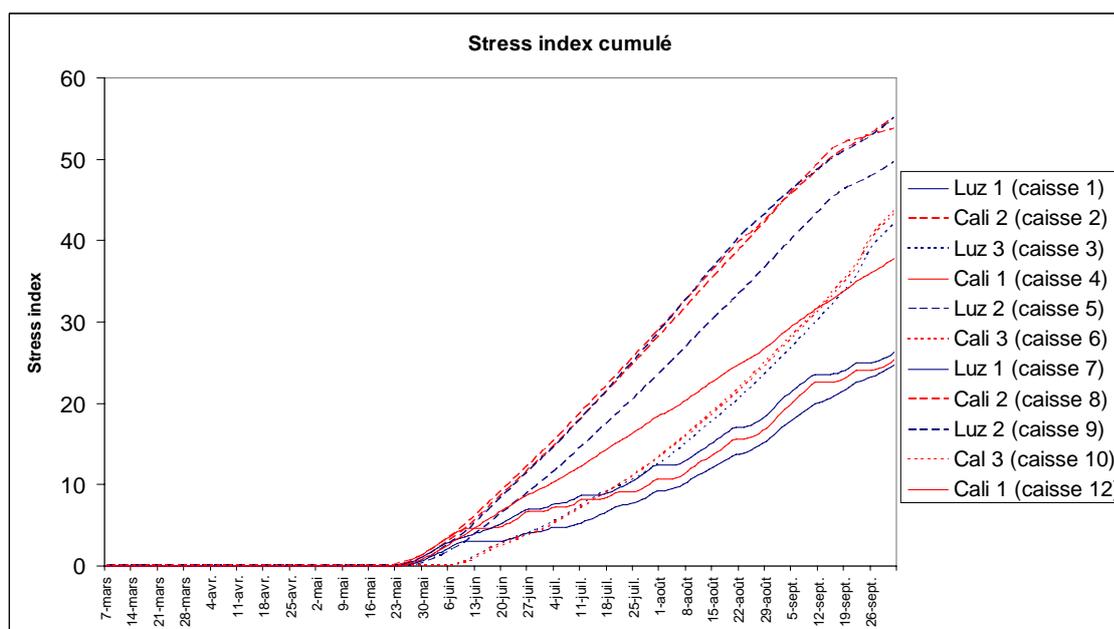
Nous nous sommes appuyés sur une théorie, qui tend à faire consensus, selon laquelle la teneur en eau du sol ne devient un facteur limitant pour la croissance que lorsqu'elle descend au-dessous d'un seuil, estimé à 40% de la réserve utile à la capacité au champ.

Le stress index se calcule de la façon suivante :

SI = somme (max (0, (0.4-E_t)/0.4) avec E_t = RU_t/RU_{max})

Concrètement, les SI sont calculés quotidiennement puis sommés sur la période de mesure de la teneur en eau (7 mars – 2 octobre).

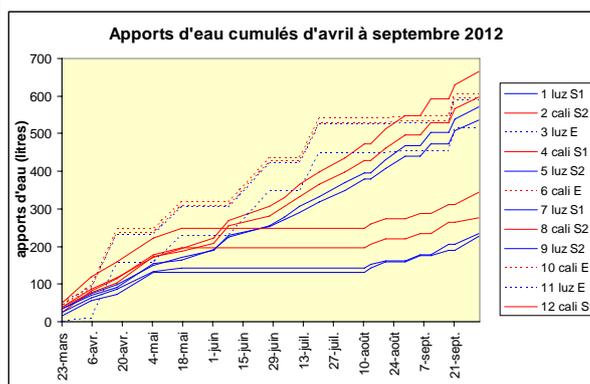
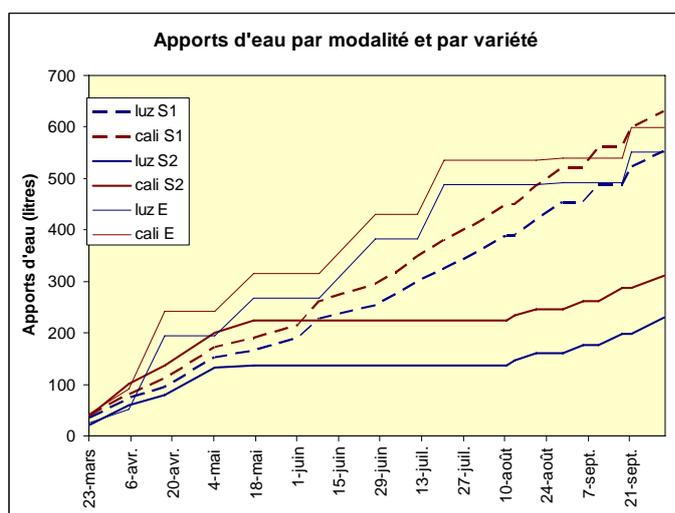
La figure ci-dessous montre l'index de stress (SI) cumulé pour les différentes caisses de culture, après élimination de la caisse 11 qui se comporte très différemment de ses homologues de la modalité 3. On distingue les faisceaux de courbes correspondant aux trois modalités qui apparaissent bien différenciées, avec cependant une exception : la caisse 12 dont le SI est très supérieur à celui des autres caisses de la modalité 1. Sa teneur en eau a en effet moins fluctué durant la période d'arrosage et elle est constamment demeurée au-dessous du seuil de stress.



2.2.6- Variabilité intra-caisse

Deux caisses (n°11 et 12 correspondant respectivement à Luzette modalité 3 et Californie modalité 1) étaient équipées de cinq tubes de mesure TDR de manière à étudier la variabilité de la teneur en eau intra-caisse. Pour six campagnes de mesures réalisées en mars et avril 2012, à des TE réelles comprises entre 10,5% et 22,9%, on obtient un coefficient de variation moyen de 6.0%, ce qui témoigne de fluctuations assez importantes de la teneur en eau. La date et le niveau de mesure dans le tube (haut, fond) ne sont pas significatifs, ni leur interaction. En revanche, le coefficient de variation est beaucoup plus élevé dans la caisse 12 que dans la 11 (9.0% contre 3.0%). Cette variabilité peut s'expliquer par la formation de cuvettes à la surface du substrat lors des arrosages, par la très légère pente de la serre, susceptible de produire une migration de l'eau vers les points bas, et par des variations entre plants pour la consommation d'eau, ce qui se traduirait par l'assèchement de certaines parties de la caisse. Néanmoins, l'écart de TE entre le tube central et la moyenne des 5 tubes reste dans des limites que nous jugeons acceptables.

2.2.7- Bilan des arrosages



Si l'on considère l'ensemble de la saison de végétation, les modalités 1 et 3 ont reçu des quantités d'eau comparables (600 litres), artificiellement ou via les précipitations naturelles. En revanche, les apports d'eau sont deux fois plus faibles dans le cas de la modalité 2 (270 l).

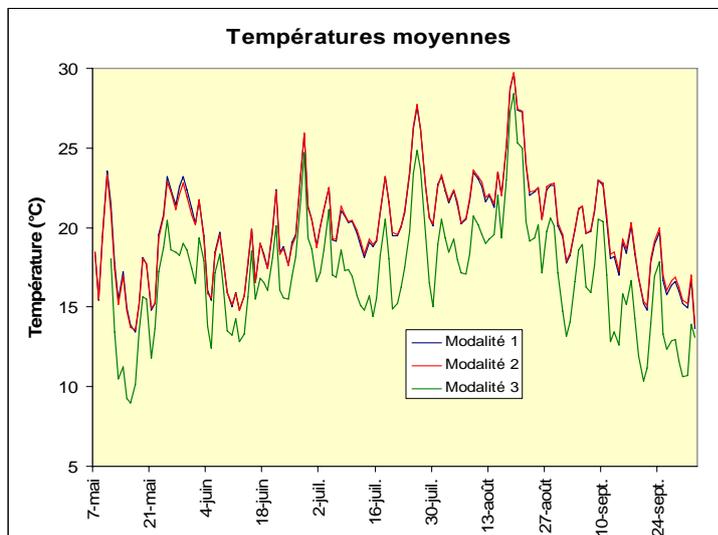
On constate également que les caisses de plants "Californie" ont reçu plus d'eau que les caisses représentant La Luzette. Pour la modalité 1, le différentiel s'accroît légèrement mais régulièrement au cours du temps et atteint en moyenne 80 l par caisse début octobre. Cette tendance, vérifiée pour toutes les caisses de cette modalité, suggère que la consommation d'eau des plants d'origine Californie est supérieure à celles des plants de La Luzette. Pour la modalité 2, la différence entre variétés s'explique par les arrosages initiaux pratiqués sur les plants californiens en raison du débourrement précoce de cette variété, mais aussi par une plus grande quantité d'eau apportée durant la période de croissance de la pousse primaire. En revanche, le scénario est différent dans la modalité 3. La caisse 11, (Luzette, contenant des larves d'insecte), qui n'a quasiment pas nécessité d'arrosage en début de printemps car sa teneur en eau était toujours très élevée, est à l'origine de l'écart observé entre les deux variétés.

Si l'on excepte cette caisse, les mêmes apports d'eau (par précipitations naturelles essentiellement) amènent Californie et La Luzette à des teneurs en eau similaires.

2.3- Température

Les températures ont été mesurées à l'aide de thermocouples, constitués d'un fil de cuivre et d'un fil de constantan (alliage cuivre-nickel), reliés à une centrale d'acquisition de données. Ont été suivies i) la température de l'air sous abri (une mesure au milieu de chaque groupe de 4 caisses constituant une modalité), ii) la température de l'air au milieu de la "canopée" (un thermocouple par caisse, placé à mi-hauteur des plants) et iii) la température du substrat à 20 cm de profondeur (un thermocouple par caisse). Ces données ont été prises toutes les 30 secondes puis moyennées par heure.

2.3.1- Température de l'air sous abri



La température moyenne de l'air est similaire dans les deux modalités sous serre (20.0°C), et supérieure de 3°C à celle enregistrée à l'extérieur (17.0°C). On constate par ailleurs que les valeurs obtenues au niveau des caisses de la modalité 3 sont quasiment identiques à celles de la station météo des Barres. Cela montre l'efficacité du dispositif mis en place pour la mesure de la température.

Les températures maximales ne correspondent pas aux valeurs maximales instantanées mais à des valeurs moyennes horaires, ce qui limite leur portée. Elles ont été atteintes les 18 et 19 août (39.6, 39.5 et 38.1°C respectivement pour les modalités 1, 2 et 3), durant une période particulièrement chaude et sèche, caractérisée par des températures proches des records historiques.

Données de la station météo des Barres

2012	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
minimorum	-5,1	-13,2	-2,6	-2,1	1,9	5,3	8,1	9,1	2,2	-1,6	-2,4	-6,7	-13,2°C
maximorum	13,8	16,1	25,9	20,0	30,3	33,0	33,9	38,8	32,0	24,5	16,6	15,8	38,8°C
T mini moy.	2,5	-4,1	3,1	4,1	9,5	12,1	12,5	13,2	8,5	8,2	3,5	2,5	6,3°C
T max moy.	8,3	4,9	15,6	14,7	20,9	22,6	24,2	27,9	22,9	17,2	10,7	8,9	16,6°C
T moyenne	5,4	0,4	9,4	9,4	15,2	17,3	18,3	20,6	15,7	12,7	7,1	5,7	11,4°C
Nb jours gel	12	20	4	4	0	0	0	0	0	3	4	10	57
Nb jours Tmax > 30°C	0	0	0	0	1	1	4	6	2	0	0	0	14
1981-2010	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
minimorum	-19,3	-14,0	-12,5	-4,6	-0,1	2,1	5,4	4,4	1,8	-4,7	-10,6	-15,6	-19,3°C
maximorum	17,9	21,8	25,2	28,6	31,0	35,4	37,4	40,2	33,0	30,2	21,6	19,5	40,2°C
T mini moy.	0,7	0,7	3,0	4,8	8,7	11,6	13,5	13,2	10,2	7,7	3,7	1,4	6,4°C
T max moy.	6,6	8,0	12,0	15,2	19,3	22,6	25,5	25,3	21,3	16,6	10,5	7,0	15,3°C
T moyenne	3,7	4,3	7,5	10,0	14,0	17,1	19,5	19,2	15,7	12,1	7,1	4,2	11,3°C
Nb jours gel	14	13	8	3	0	0	0	0	0	1	7	12	59
Nb jours Tmax > 30°C	0	0	0	0	0	2	5	4	1	0	0	0	13

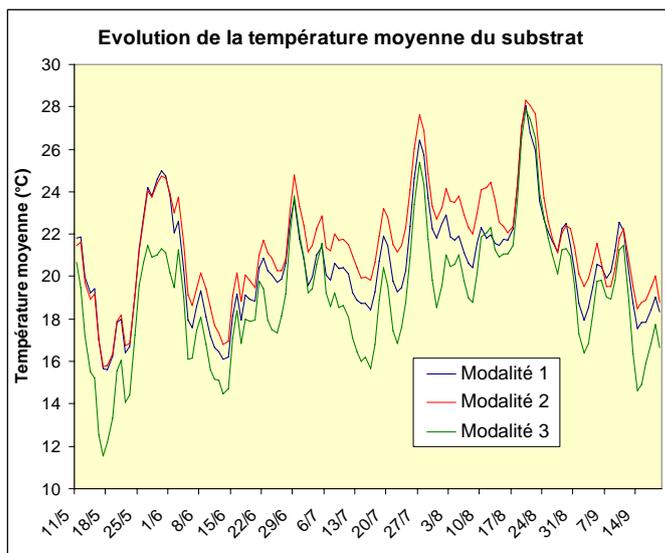
D'autre part, des gelées se sont produites sous abri, et donc *a fortiori* à découvert, jusqu'au mois d'avril. En particulier, le gel du 17 avril (-2.1°C sous abri, -4.4°C au sol) a eu un impact considérable sur de nombreux plants de la modalité 3, en particulier sur les représentants de la variété Californie qui débourent précocement. Pour la moitié d'entre eux, la pousse principale a été détruite, ce qui nous a interdit de suivre leur croissance. Cela a aussi été le cas pour 10% des plants de La Luzette.

2.3.2- Température "ressentie" par les plants

La température de l'air, mesurée au niveau du feuillage des plants, a dépassé 40°C à plusieurs reprises (24-27 juillet, 8-12 août, 27 août et 8 septembre). Le maximum a été enregistré le 18 août (48.3°C en moyenne durant l'heure la plus chaude). Du fait du blanchiment de la serre, les valeurs les plus élevées ont généralement été obtenues dans la modalité extérieure.

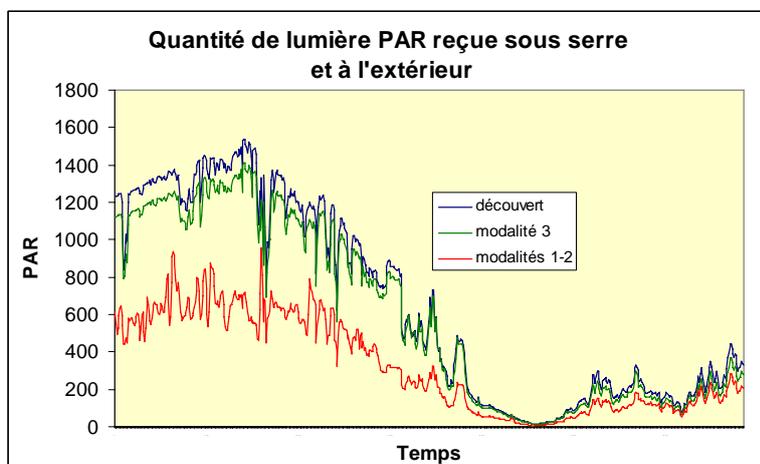
2.3.3- Température du substrat

La température du sol est moins élevée à l'extérieur qu'à l'intérieur de la serre, probablement en raison de la fraîcheur nocturne, de la rosée et des pluies. Comparée à la modalité "stressée", la modalité 1 se caractérise aussi par de plus faibles températures. Cette différence peut s'expliquer par l'eau apportée qui, de par sa température et son évaporation, refroidit le substrat. Il est également possible que le couvert des plants, plus important dans la modalité 1, ait contribué à maintenir une relative fraîcheur à la surface du sol et en profondeur.



Par ailleurs, la variabilité inter-caisses est faible et négligeable dans les modalités sous serre mais beaucoup plus forte dans la modalité 3. Elle s'explique sans doute par l'effet d'ombrage des arbres situés à proximité de l'aire de stockage (bien que les quatre caisses de chaque modalité soient très proches les unes des autres).

2.4- Lumière



La quantité de lumière reçue dans le domaine du PAR (photosynthetically active radiation, 400-700 nm) a été enregistrée en continu pendant 24 h les 1-2 octobre 2012 (une mesure par minute), sur trois points : en terrain découvert, au niveau des caisses de la modalité 3 et sous serre. Le PAR mesuré dans la modalité 3 et sous serre correspond respectivement à 93% et 47% du rayonnement incident à découvert. Dans le domaine du PAR, 7% et 53% de la lumière incidente ont donc été interceptés, par la haie et les bâtiments proches des caisses de la modalité 3 ou par la serre blanche.

3- Réponse des deux variétés au stress hydrique

3.1- Phénologie

3.1.1- Débourrement du bourgeon terminal

Variété	modalité	débourrement (1)	étendue du débourrement (jours) (2)	débourrement plants non gelés (3)
Californie	1	27.7 (ab)	21	
	2	24.0 (a)	21	
	3	28.0 (b)	39	
Luzette	1	39.3 (a)	24	
	2	36.3 (a)	32	
	3 (caisse 3)	52.9 (b)	32	
Californie		26.9		30.1
Luzette		42.0***		40.9
Modalité 1		34.0 (b)		33.4
Modalité 2		30.6 (a)		30.1
Modalité 3		38.8 (c)		42.8

(1) débourrement du bourgeon terminal exprimé en nombre de jours à partir du 1^{er} mars

(2) étendue pour 90% de la population (élimination des 10% de plants extrêmes)

(3) individus dont le suivi en phénologie et croissance a pu être mené à son terme

L'analyse de variances (en utilisant la hauteur 2011 comme covariable) met en évidence des effets hautement significatifs de la variété, de la modalité et de leur interaction. Les tendances sont conformes aux prévisions : Californie débourre plus précocement que La Luzette (différentiel de 12 jours si l'on exclut la modalité 3) et les plants de la modalité extérieure, sortis de serre le 19 mars, débourrent plus tardivement que leurs homologues conservés en serre. Il est aussi compréhensible que l'écart entre les modalités "serre" et "extérieure" soit plus grand pour La Luzette que pour Californie dont certains plants étaient très proches du débourrement lors de leur sortie de serre (ou même déjà débourrés pour les plus précoces). D'autre part, quel que soit le couple variété-modalité, le débourrement s'étale sur une longue période, de trois à cinq semaines.

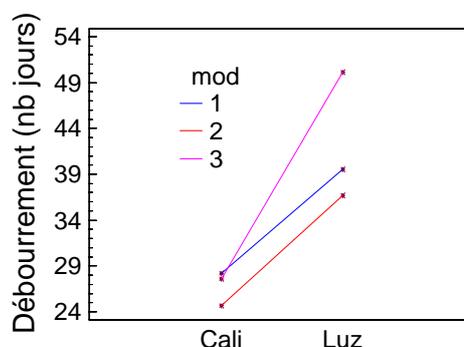
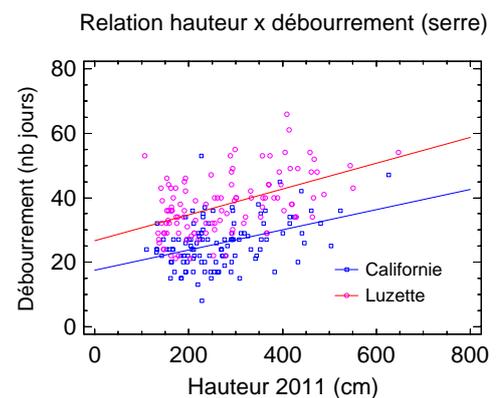




Photo 1- Les quatre caisses de la modalité 1 le 16 avril 2012. Les plants de la variété Luzette n'ont pas tous débourré alors que les plants californiens ont des pousses bien allongées.

Les plants de la modalité 2 sont significativement plus précoces que leurs homologues de la modalité 1. Ce résultat est surprenant dans la mesure où les deux populations ont hiverné dans des conditions similaires. Néanmoins, l'écart n'est que de 3,4 jours, ce qui correspond à la périodicité des relevés de débourement.

Signalons également ce qui peut apparaître au premier abord comme une anomalie : la différence hautement significative entre les deux caisses qui représentent La Luzette dans la modalité 3 (débourement les 6 et 21 avril respectivement pour les caisses 11 et 3). Cet écart, très important en nombre de jours (15 jours), serait moins frappant si l'on raisonnait en degrés-jours car la fraîcheur du mois d'avril a certainement ralenti le processus de débourement, mais il n'en demeure pas moins réel. La présence de larves dans la caisse 11 ne semblant pas pouvoir accélérer le débourement, nous attribuons cette différence à la hauteur initiale des plants. En effet, les deux caisses Luzette de la modalité 3 correspondent aux deux extrêmes pour toutes les variables de vigueur. C'est vrai en particulier pour la hauteur 2011 (19.0 et 34.8 cm respectivement pour les caisses 11 et 3) qui est fortement corrélée à la tardiveté de débourement ($r = 0.51^{***}$ pour les plants de La Luzette maintenus sous serre et ayant donc évolué plus rapidement qu'à l'extérieur). Cette explication a une logique biologique dans la mesure où le débourement est acropète.



En suivant ce raisonnement, la date moyenne de débourrement de Luzette dans la modalité 3 est donc bien estimée en "poolant" les populations des caisses 3 et 11. Cependant, par la suite, nous serons amenés à faire abstraction de la caisse 11 qui est atypique (teneur en eau très supérieure à celle des autres caisses de la modalité 3, présence de larves rhizophages impactant la croissance des plants). Dans un souci de cohérence avec les parties suivantes, nous avons pris le parti d'éliminer cette caisse des analyses de phénologie et de croissance et d'intégrer la relation entre la vigueur et le débourrement (et aussi les autres variables de phénologie) en utilisant la hauteur 2011 comme covariable.

3.1.2- Apparition du bourgeon terminal de la pousse 2012 (pousse primaire pour les polycycliques)

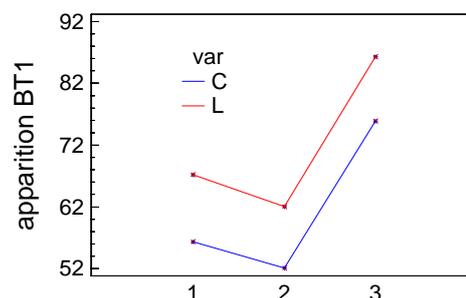
Variété	modalité	nb plants	formation BT1 (I)	nb jours depuis le débourrement
Californie	1	56	55.8 (b)	28.0 (a)
	2	59	51.6 (a)	27.6 (a)
	3	22	77.3 (c)	38.6 (b)
Luzette	1	53	67.1 (b)	27.2 (a)
	2	56	61.9 (a)	25.6 (a)
	3 (caisse 3)	26	88.2 (c)	36.3 (b)
Californie		137	61.4 (1 mai)	31.4 *
Luzette		135	71.9*** (11 mai)	29.8
Modalité 1		110	61.8 (b)	27.5 (a)
Modalité 2		115	57.1 (a)	26.5 (a)
Modalité 3		48	81.1 (c)	37.8 (b)

(I) apparition du bourgeon terminal exprimé en nombre de jours à partir du 1^{er} mars

En moyenne, le bourgeon terminal se forme un mois après le débourrement. Sous serre, les bourgeons terminaux sont observés respectivement fin avril et début mai pour Californie et La Luzette. A l'extérieur, ce stade phénologique n'est atteint que trois semaines plus tard.

Il est à nouveau surprenant de constater un écart significatif de presque 5 jours entre les modalités 1 et 2. Par ailleurs, l'apparition du bourgeon s'étale sur une période de 16 à 28 jours selon les populations (en éliminant les 10% de plants extrêmes).

Les individus polycycliques en 2012, c'est-à-dire ceux qui produiront une 2^{ème} pousse, débourrent et forment leur bourgeon terminal plus tôt que les monocycliques. Cela tient peut-être au fait qu'ils étaient en moyenne plus petits fin 2011.



A l'intérieur de chaque couple "variété x modalité", la date d'apparition du bourgeon terminal est fortement et positivement corrélée à la date de débourrement ($0.70^{***} < r < 0.90^{***}$). Globalement, la hiérarchie des plants basée sur la tardiveté de débourrement se maintient donc au fil du temps.

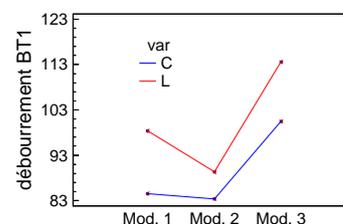
3.1.3- Formation de la pousse secondaire

Variété	modalité	nb plants	débourrement du BT1 (1)	nb jours depuis formation BT1
Californie	1	30	83.5 (a)	
	2	38	83.4 (a)	
	3	13	102.8 (b)	
Luzette	1	15	97.3 (a)	
	2	16	86.6 (a)	
	3 (caisse 3)	11	119.0 (b)	
Californie		81	89.5 (28 mai)	30.7 NS
Luzette		42	100.4 (8 juin)	30.4
Modalité 1		45	91.4 (a)	30.9 (ab)
Modalité 2		54	86.3 (a)	32.9 (b)
Modalité 3		24	107.0 (b)	27.9 (a)



(1) nombre de jours à partir du 1^{er} mars

Il s'écoule à nouveau un mois entre l'apparition du bourgeon terminal de la 1^{ère} pousse et son débourrement. Ce laps de temps est indépendant de la variété et il varie peu d'une modalité à l'autre. Il tend cependant à être légèrement raccourci chez les individus élevés à l'extérieur de la serre, ce qui laisse supposer que la formation de la 2^{ème} pousse n'est pas liée qu'à la température.



Le débourrement du BT1 s'étale sur une durée de deux à quatre semaines selon le couple variété x modalité (après élimination des 10% de plants extrêmes). Une exception cependant : la population représentant La Luzette dans la modalité 1 qui est très hétérogène (amplitude de 41 jours).

3.1.4- Apparition du bourgeon terminal de la pousse secondaire

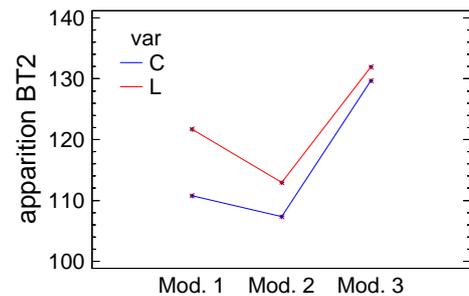
Variété	modalité	nb plants	apparition du BT2 (1)
Californie	1	30	110.2 (a)
	2	38	107.3 (a)
	3	15	131.1 (b)
Luzette	1	14	120.9 (b)
	2	18	111.4 (a)
	3 (caisse 3)	12	134.9 (c)
Californie		83	115.9 (24 juin)
Luzette		44	122.2 (30 juin)
Modalité 1		44	116.2 (b)
Modalité 2		56	110.1 (a)
Modalité 3		27	130.8 (c)

(1) nombre de jours à partir du 1^{er} mars

Le bourgeon terminal de la pousse secondaire devient visible en moyenne 26 jours après le débourrement. Ce stade apparaît plus tardivement dans la population de La Luzette

(différentiel de 6 jours avec Californie) et dans les caisses hors serre. De nouveau, on observe un écart significatif de 6 jours entre la modalité 1 (tardive) et la modalité 2 (plus précoce).

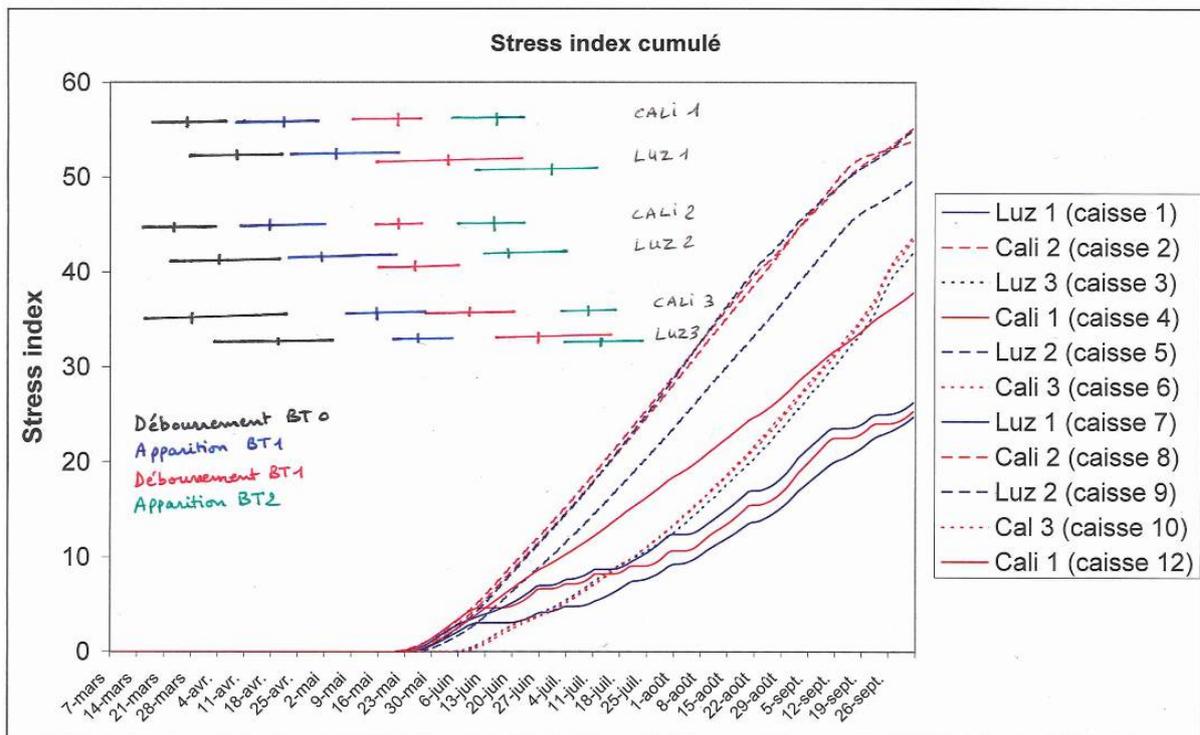
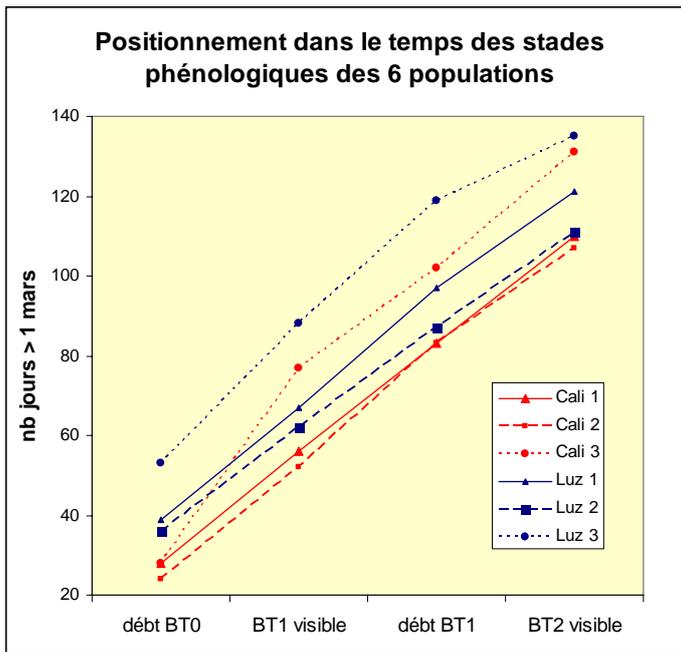
Pour une même population (couple variété x modalité), ce stade s'étale sur deux à quatre semaines (après élimination des 10% de plants extrêmes).



Conclusion

Les figures ci-dessous permettent de visualiser les principaux résultats de l'étude des caractères phénologiques :

- Les 6 courbes se croisent rarement, ce qui signifie que, globalement, l'écart acquis dans les premiers stades se maintient au cours du temps (de fin mars à fin juin).
- La variété Californie est plus précoce que la Luzette. Sur l'ensemble des stades, le différentiel est de 11 jours. Il est plus important au débourrement du bourgeon terminal de la pousse 2011 parce que les plants californiens étaient proches du débourrement (voire déjà débourrés) lors de leur sortie de serre.
- Les plants de la modalité 3 accusent un retard moyen de trois semaines par rapport aux plants maintenus sous serre. De façon surprenante, les représentants de la modalité 2 sont aussi légèrement, mais significativement, plus précoces que ceux de la modalité 1, et cela concerne plus particulièrement la variété La Luzette. Les températures sous abri étant quasiment identiques, cette différence est *a priori* imputable à un effet génétique (ou à la température plus élevée du substrat).
- On n'observe pas d'inflexion notable des courbes des modalités 2 et 3 par rapport à la modalité 1. Le stress hydrique s'est sans doute manifesté trop tard pour avoir un réel impact sur la phénologie.
- La variabilité intra-population est forte pour tous les stades phénologiques (de 2 à 6 semaines).



Positionnement dans le temps des 4 stades phénologiques (durée calculée en éliminant 10% de points extrêmes) et du stress index.

NB- La caisse 11 contenant des larves rhizophages a été éliminée du graphique

3.2- Croissance

3.2.1- Durée de la croissance en hauteur et mise en parallèle avec l'intensité du stress hydrique

3.2.1.1- Pousse primaire

Les mesures de pousses, hebdomadaires, montrent que la croissance en longueur se poursuit bien au-delà de la date de formation du bourgeon terminal. Par exemple, la pousse primaire des plants élevés sous serre atteint 90% de sa longueur définitive plus de trois semaines après apparition du bourgeon terminal. Les trois modalités ne diffèrent pas significativement mais on observe une différence entre La Luzette et Californie, qui s'explique par la phénologie de ces deux variétés. En effet, le laps de temps s'écoulant entre la première observation du bourgeon terminal et la fin de la croissance de la pousse ($L = 0.9 * L$ finale) est d'autant plus important que le plant est précoce ($r = 0.74^{***}$ pour Californie et $r = 0.66$ pour La Luzette). Ce processus peut être lié à l'environnement (températures plus élevées quand la pousse se développe tard dans la saison) ou physiologique.

	nb plants	nb jours entre fin allongement pousse primaire et apparition BT1	durée d'élongation de la pousse primaire (jours)
Californie	134	24.6***	55.8***
Luzette	149	21.3	50.2
Modalité 1	107	23.8 (a)	51.2 (a)
Modalité 2	115	23.5 (a)	50.1 (a)
Modalité 3	61	21.6 (a)	59.0 (b)

Au niveau individuel (du plant), la période d'allongement de la pousse primaire s'étend sur environ 7 semaines sous serre et deux mois à l'extérieur. Au niveau de la population (couple variété x modalité), l'amplitude est de 2,5 à 3 mois.

Variété	modalité	date moyenne de fin d'élongation (1)	période d'élongation (2)
Californie	1	20 mai	17 mars – 29 mai
	2	16 mai	15 mars – 23 mai
	3	9 juin	15 mars – 17 juin
Luzette	1	28 mai	29 mars – 12 juin
	2	23 mai	22 mars – 3 juin
	3 (caisse 3)	14 juin	3 avril – 21 juin

(1) acquisition du stade "90% de longueur totale" (2) après élimination des 10% plants extrêmes

3.2.1.2- Pousse secondaire

	nb plants (1)	nb jours entre apparition du BT2 et fin d'allongement pousse 2 ^{aire} (2)	fin d'élongation (nb jours) (3)	durée d'élongation de la pousse 2 ^{aire} (jours)
Californie	60	10.6	125	35
Luzette	27	11.4 NS	134***	36 NS
Modalité 1	42	13.8 (b)	129 (b)	40 (b)
Modalité 2	23	4.7 (a)	111 (a)	28 (a)
Modalité 3	22	14.5 (b)	150 (c)	39 (b)

(1) sélection des plants ayant une pousse secondaire supérieure à 5 cm pour améliorer la précision sur la date d'arrêt de croissance

(2) acquisition du stade "90% de longueur totale"

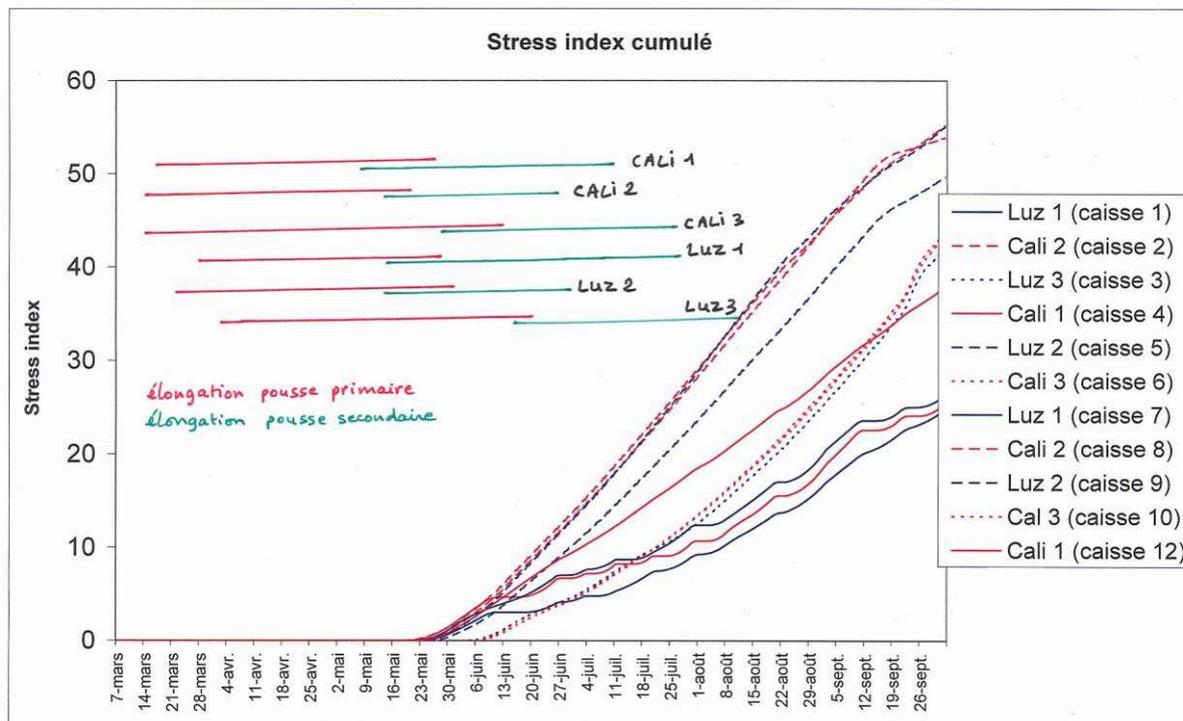
(3) nb de jours après le 1^{er} mars

L'allongement de la pousse secondaire se poursuit une dizaine de jours après l'apparition du bourgeon terminal. Ce laps de temps, qui est indépendant de la variété, est beaucoup plus faible dans la modalité 2. Ce résultat doit cependant être considéré avec prudence car les effectifs sont faibles, surtout pour La Luzette qui est peu polycyclique, et la faible longueur des pousses ne permet pas une estimation précise de la date d'arrêt de croissance, d'autant que les pousses n'étaient mesurées qu'une fois par semaine.

Variété	modalité	date moyenne de fin d'élongation (1)	période d'élongation (2)
Californie	1	28 juin	9 mai – 11 juillet
	2	17 juin	15 mai – 27 juin
	3	24 juillet	29 mai – 27 juillet
Luzette	1	15 juillet	15 mai – 28 juillet
	2	22 juin	15 mai- 1 juillet
	3 (caisse 3)	31 juillet	16 juin – 11 août

(1) acquisition du stade "90% de longueur totale" (2) après élimination des 10% plants extrêmes

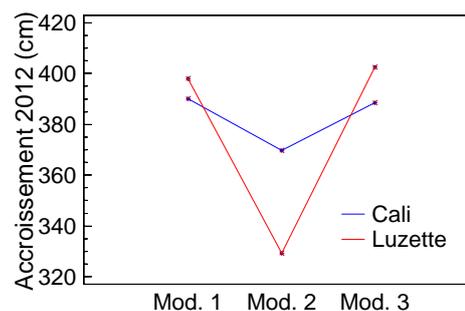
Au niveau individuel, la période d'allongement de la pousse secondaire s'étend sur 4 à 6 semaines. Au niveau de la population, l'amplitude est de 2 mois dans les modalités 1-3 et 1,5 mois dans la modalité 2. Quels que soit l'échelle à laquelle on se place, la phase d'élongation est fortement raccourcie dans la modalité 2. On peut y voir une réaction des plants au stress hydrique. Cette interprétation est corroborée par l'étude des corrélations entre la longueur de la pousse secondaire et la date de débourrement du bourgeon qui lui a donné naissance. Aussi bien pour Californie que La Luzette, la relation est non significative dans la modalité 1 ($r = -0.09$ et $r = -0.16$ respectivement) mais négative dans la modalité 2 ($r = -0.72^{***}$ et $r = -0.81^{***}$). Cela signifie que les individus les plus tardifs, qui ont été le plus exposés à la sécheresse, ont produit des pousses plus courtes. La même tendance se retrouve pour la modalité 3 ($r = -0.56^*$ et $r = -0.60^*$) mais les effectifs sont très faibles.



3.2.2- Accroissement en hauteur 2012

Variété	modalité	nb plants	accroissement en hauteur 2012 (cm)
Californie	1	56	38.9 (a)
	2	59	36.8 (a)
	3	22	41.4 (a)
Luzette	1	54	39.1 (b)
	2	58	32.1 (a)
	3 (caisse 3)	28	42.0 (b)
Californie		137	38.3 NS
Luzette		140	37.7
Modalité 1		110	39.4 (b)
Modalité 2		117	34.9 (a)
Modalité 3		50	39.6 (b)

L'analyse de variance (effectuée en utilisant la longueur cumulée des ramifications 2011 comme covariable) met en évidence un effet modalité très significatif – la modalité 2 se distingue des modalités 1 et 3 par de plus faibles accroissements - et une interaction variété x modalité significative au seuil de 10%. Cette interaction est liée au fait que la diminution de croissance dans la modalité 2 est beaucoup plus forte pour La Luzette que Californie (21% et 8% respectivement). Dans cette modalité, l'accroissement de La Luzette est significativement



inférieur à celui de Californie. Ce résultat pourrait révéler une moindre sensibilité au stress hydrique de Californie, tout du moins pour la croissance. Il convient néanmoins de préciser le phénomène en décomposant l'allongement 2012 entre la pousse primaire et secondaire car les facteurs impliqués diffèrent.

Dans toutes les populations, l'accroissement en hauteur 2012 est fortement corrélé à la "vigueur 2011", appréciée par la longueur cumulée des ramifications. Les relations sont plus faibles, et souvent non significatives, si l'on considère le diamètre ou la hauteur 2011. Les fortes corrélations entre vigueur 2011 et vigueur 2012 s'expliquent par un effet génétique et aussi la compétition intra-caisse qui pénalise les plus petits individus. Par ailleurs, les plants polycycliques se sont plus allongés que les monocycliques, sans que les interactions polycyclisme x variété et polycyclisme x modalité soient significatives.

3.2.3- Longueur des pousses primaires et secondaires

Variété	modalité	longueur pousse 1 ^{aire} (cm)	longueur pousse 2 ^{aire} (cm)	% plants poly
Californie	1	31.3	14.1 (b)	53.6 (a)
	2	33.4	5.1 (a)	64.4 (a)
	3	31.3	14.4 (b)	(28.6)
Luzette	1	33.5	17.9 (b)	29.6 (a)
	2	30.5	4.9 (a)	31.0 (a)
	3 (caisse 3)	35.4	11.7 (b)	(50.0)
Californie		31.1	11.2	59.1***
Luzette		33.0	11.5 NS	30.4
Modalité 1		32.8	16.0 (b)	41.8 (a)
Modalité 2		32.5	5.0 (a)	47.9 (a)
Modalité 3		30.7	13.1 (b)	(36.0)

3.2.3.1- Pousses primaires

Les pousses primaires mesurent en moyenne 32 cm. L'analyse de cette variable est rendue très délicate par la présence d'interactions entre la variété et la modalité, mais aussi entre ces facteurs et le polycyclisme. Ces hétérogénéités sont attribuées aux conditions de croissance 2011, année durant laquelle les plants ont été débarrassés du substrat de leur conteneur puis repiqués dans les caisses, qui plus est à une période défavorable puisque les pousses 2011 avaient déjà entamé leur croissance. En effet, les pousses de l'année n (ou les pousses primaires des individus polycycliques) sont préformées dans le bourgeon de la pousse précédente. Leur longueur dépend surtout des conditions environnementales lors de l'élaboration du bourgeon et des réserves disponibles, donc globalement des conditions de l'année n-1. En revanche, les conditions régnant durant la période d'allongement elle-même influent assez peu sur leur longueur. De ce fait, il est peu pertinent de chercher à expliquer l'accroissement de ces pousses par un effet du stress hydrique 2012, surtout s'il survient l'année suivant un repiquage stressant.

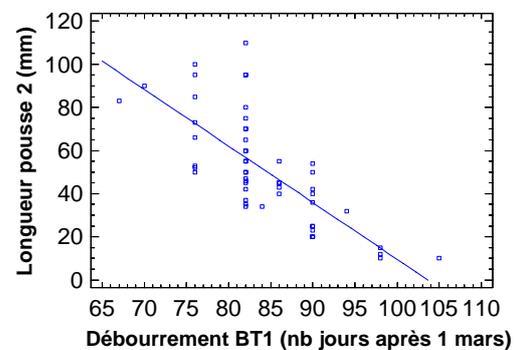
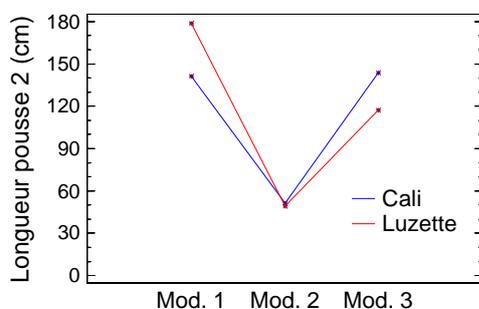
3.2.3.2- Pousses secondaires

L'accroissement des pousses secondaires est, quant à lui, déterminé par l'environnement de l'année n. Cela explique que, dans notre essai, leur longueur soit indépendante des caractères de vigueur 2011 (diamètre, hauteur, longueur cumulée des ramifications) alors que ces corrélations sont hautement significatives pour l'accroissement des pousses primaires et des pousses 2012 des individus monocycliques.

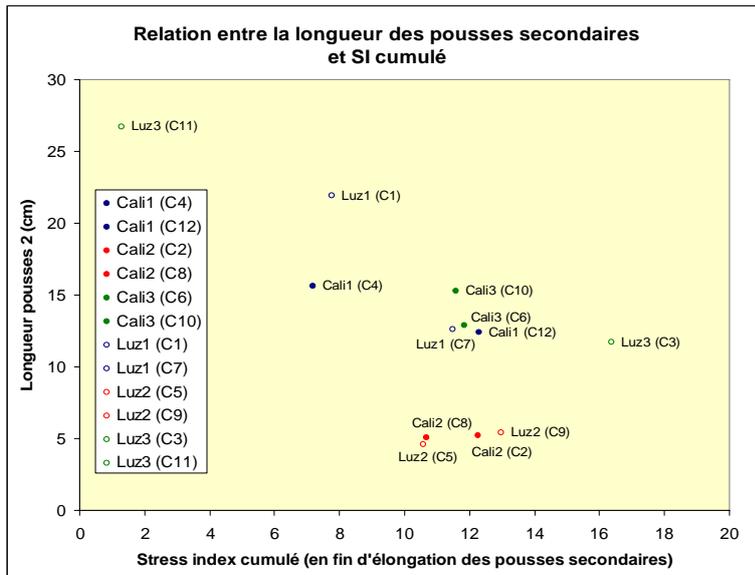
L'éclatement du bourgeon terminal de la pousse primaire et la croissance de la pousse secondaire sont liés aux conditions environnementales durant la formation du bourgeon mais aussi durant la phase d'élongation. En effet, on observe souvent un phénomène de néoformation, caractérisé par la construction d'unités de croissance durant l'allongement de la pousse. Des conditions limitantes à ces périodes seraient donc susceptibles d'impacter le taux de polycyclisme, en bloquant l'éclatement du bourgeon, et/ou de réduire la longueur de la seconde pousse.

Nos données montrent que Californie a produit plus de secondes pousses que La Luzette mais ne permettent pas de conclure à un effet modalité. La modalité 3 apparaît atypique, avec moins de polycyclisme de Californie et plus de polycyclisme de La Luzette. Ce résultat, qui ne semble pas pouvoir être imputé à la sécheresse, reste inexplicable.

En revanche, les plants de la modalité 2 produisent des pousses beaucoup plus courtes que ceux des autres modalités. Le stress hydrique était peu intense durant la phase d'élongation (cf stress index) mais il a été suffisant pour réduire de 70% la longueur des pousses secondaires. De plus, comme signalé plus haut, les individus tardifs, plus exposés à la sécheresse, s'avèrent particulièrement pénalisés. Dans ce contexte, les deux variétés ne diffèrent pas significativement, même si la perte de croissance est légèrement supérieure pour La Luzette.



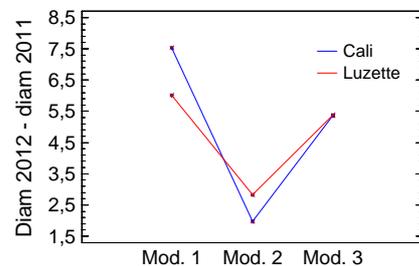
D'autre part, la modalité 3 ne diffère pas significativement de la modalité 1. Tout au plus, aperçoit-on une légère réduction de la longueur des pousses (de 35%) de la part de La Luzette. Ce résultat est surprenant car, en fin de période d'élongation, l'index cumulé de stress hydrique est comparable à celui de la modalité 2 (si l'on excepte la caisse 11 contenant des larves).



De toute évidence, la longueur des pousses secondaire est peu liée au stress index tel que nous l'avons calculé. La position des points représentant la modalité 3 et la variété Luzette est certes peu précise en raison des faibles effectifs polycycliques mais ce facteur ne suffit pas à expliquer la faiblesse de la relation.

3.2.4- Croissance en diamètre

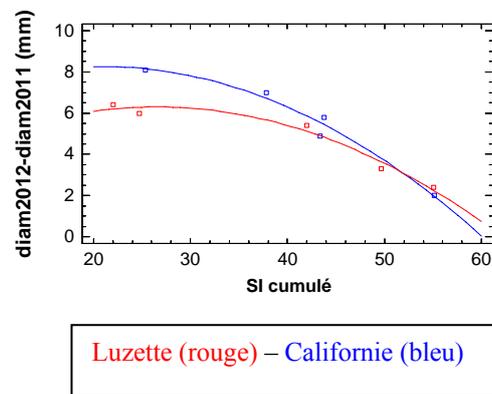
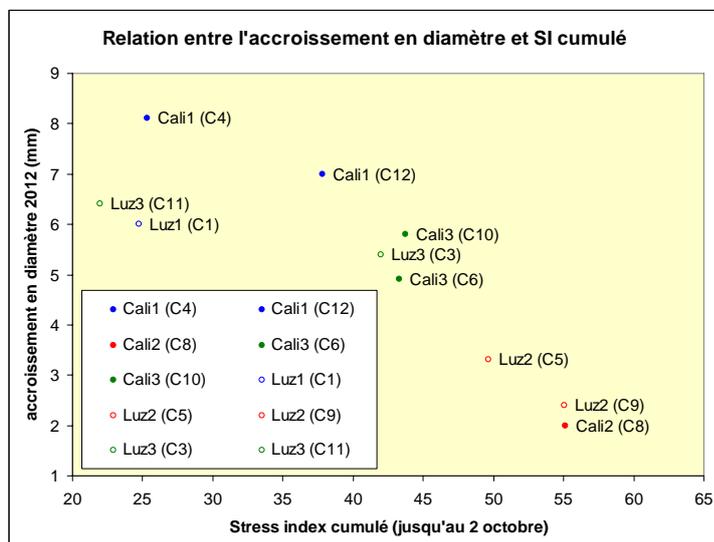
Variété	nb plants	accroissement en diamètre 2012 (mm)
Californie	109	4.8
Luzette	85	4.8
Modalité 1	82	7.0 (c)
Modalité 2	39	2.4 (a)
Modalité 3	73	5.1 (b)



En 2012, les plants de la modalité 2 et, à un degré moindre, ceux de la modalité 3 ont connu une forte réduction de l'accroissement en diamètre par rapport aux plants mieux approvisionnés en eau de la modalité 1 (-66% et -27%). Les deux variétés ne diffèrent pas significativement mais on observe néanmoins un plus fort différentiel de croissance entre les modalités 1 et 2 pour Californie. Cette différence de comportement est à l'origine de l'interaction variété x modalité.

Les résultats ne portent pas sur la totalité des populations car nous ne disposons pas des données pour les caisses 2 (Californie modalité 2) et 7 (Luzette modalité 1). En outre, les diamètres ont été mesurés en fin de saison de végétation, alors que certains plants étaient déjà morts depuis plusieurs mois. Leur diamètre a donc pu être sous-estimé du fait d'un phénomène de rétractation du collet. Cependant, les tendances sont conservées lorsqu'on analyse les seuls plants vivants. Dans ce cas évidemment, les moyennes sont mal estimées pour les populations les plus touchées par les dépérissements (Californie modalité 2).

Si l'on prend en compte l'ensemble des données disponibles, et en poolant les morts et vivants, on obtient cette fois une bonne relation entre l'accroissement en diamètre et l'indice de stress (SI) cumulé sur la totalité de la saison de végétation. La figure ci-dessous suggère en outre que Luzette maintient sa croissance pour des SI modérés alors que la décroissance semble plus prononcée dans la population californienne. Ce point reste néanmoins à confirmer avec un jeu de données plus étendu.



3.3- Dépérissement - mortalité

Les analyses ont une nouvelle fois été effectuées après élimination de la caisse contenant des larves consommatrices de racines.

3.3.1- Développement et chronologie des dépérissements

Si l'on excepte les gels qui ont fortement impacté la modalité 3, les plants des trois modalités sont sains et présentent un feuillage bien vert jusqu'à fin juin. A cette période, quelques jaunissements d'aiguilles apparaissent au sein des populations de la modalité 2, accompagnés du rougissement et du dessèchement d'aiguilles anciennes, mais ce phénomène reste limité. Un cap est franchi fin juillet, lorsque l'on perçoit nettement une différence de couleur du feuillage, vert foncé dans la modalité 1 et plus pâle dans la modalité 2. Au cours du mois d'août, la différence s'accroît. De nombreux plants de la modalité 2 présentent de forts rougissements d'aiguilles et des dessèchements de pousses. Cela concerne principalement des représentants de la variété Californie mais La Luzette est également touchée peu après. Au mois d'octobre, les survivants sont peu nombreux dans la modalité 2.

En début d'automne, d'autres dépérissements apparaissent dans la modalité 3, dont les plants ont été soumis à de faibles précipitations et de fortes températures en août-septembre. La mortalité est cependant plus faible que dans la modalité 2.



*Photo 2 (27 juin 2012) –
Jaunissement d'aiguilles
localisés dans la modalité
2*



*Photo 3 (1^{er} août 2012)
– Pâlisement du
feuillage des plants de la
modalité 2 (variété
Californie) et
accentuation des
jaunissements d'aiguilles*



*Photo 4 (24 août 2012) -
Californie, modalité 2. A
l'arrière plan, les plants
bien verts de la modalité
1.*

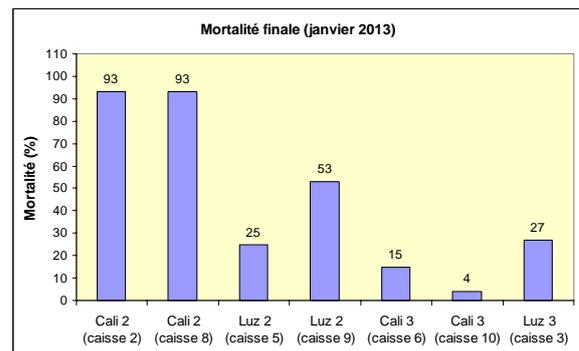
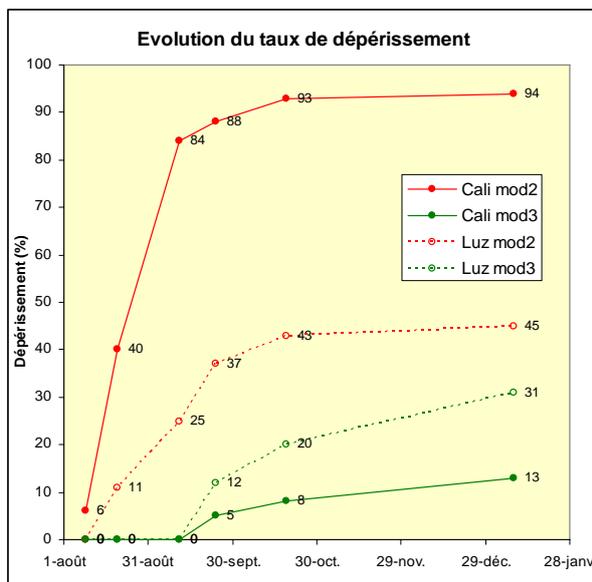


Photo 5 (10 septembre) – Taux de mortalité de 80% dans la population de Californie

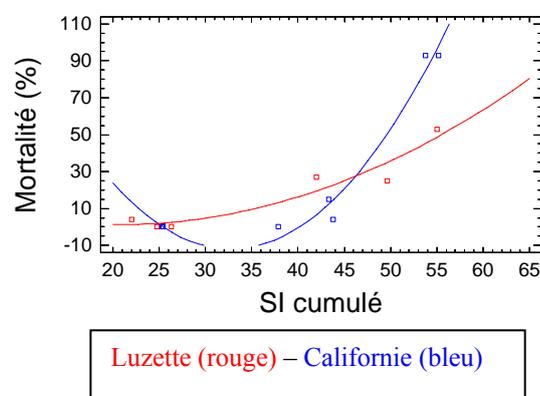
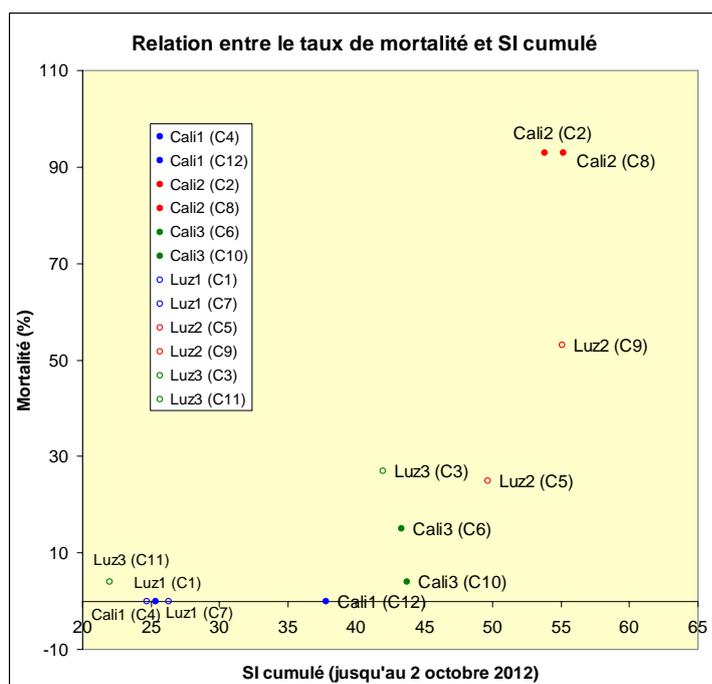
3.3.2- Comparaison des variétés et modalités

Les dépérissements ont été quantifiés pour chaque individu, en se basant sur le pourcentage d'aiguilles sèches ou tombées à terre. Les plants étaient considérés comme morts dès lors que le taux de dépérissement atteignait 90%.

L'analyse statistique montre que les dégâts sont significativement plus importants dans la modalité 2 que dans la modalité 3 (taux de dépérissement final de 0%, 70% et 22% respectivement dans les modalités 1, 2, 3) et que Californie est plus touchée que La Luzette (53% contre 38%). Les pourcentages moyens de dépérissement et de mortalité cachent cependant une différence de comportement des deux variétés. Dans la modalité 2, Californie est significativement plus endommagée que La Luzette alors qu'on observe une tendance inverse dans la modalité 3 (différence significative au seuil de 10%).



Ce résultat est difficile à interpréter mais il montre que les dégâts ne sont pas simplement proportionnels à l'intensité du stress hydrique. Les réponses contrastées de La Luzette et Californie pourraient s'expliquer par un effet de seuil (de sécheresse), variable selon la variété, ou par une sensibilité différente en fonction de la période à laquelle le stress se manifeste. D'autre part, il est possible que certains dépérissements résultent de l'action combinée de la sécheresse et de la chaleur, notamment hors serre (le blanchiment de la serre ayant contribué à "écrêter" les températures maxi).



Par ailleurs, aucun caractère de vigueur (hormis le diamètre 2012) et de phénologie ne permet de différencier les populations vivantes et mortes de La Luzette et Californie dans les modalités 2 et 3.

Principaux enseignements

Cet essai probatoire a permis à Irstea de se familiariser avec de nouveaux équipements et matériels de mesure et de déterminer le temps nécessaire à l'acquisition de données (paramètres du milieu, phénologie et croissance du matériel végétal) en vue de futurs essais. En testant des modalités volontairement contrastées en termes d'intensité de stress hydrique, il a également fourni de premières informations sur l'adaptation à la sécheresse des variétés Californie et La Luzette.

Les deux variétés se distinguent de par leur phénologie, leur croissance et leur survie :

- Californie débouresse plus précocement que La Luzette, ce qui est bien connu, et le différentiel de 12 jours (dans les modalités sous serre) est similaire à celui obtenu dans les tests comparatifs installés sur le terrain. Par ailleurs, il est intéressant de constater que cet écart se

maintient pour les stades phénologiques suivants : formation du bourgeon terminal de la pousse primaire, débourrement de ce bourgeon chez les individus polycycliques et apparition du bourgeon terminal de la pousse secondaire. Globalement, la hiérarchie basée sur la tardiveté de débourrement se maintient donc au fil du temps

- La variété Californie est plus polycyclique que La Luzette, aussi bien en 2011 que dans les modalités conduites sous serre en 2012. En revanche, la faible croissance juvénile de Californie, maintes fois observée dans les tests comparatifs de terrain, ne se vérifie pas dans notre essai. D'autre part, le stress hydrique sévère et prolongé de la modalité 2 s'est traduit par une forte réduction de la longueur des pousses secondaires et du diamètre, mais sans qu'on puisse réellement différencier les deux variétés. Une étude en cours, qui compare les biomasses aérienne et racinaire des différentes populations, apportera des éléments de réflexion complémentaires.

- Dans les deux modalités installées sous serre, les caisses représentant Californie ont réclamé des apports d'eau plus importants pour aboutir à une teneur en eau équivalente, ce qui suggère une plus forte consommation d'eau par rapport à La Luzette. En outre, la réduction d'eau drastique de la modalité 2 a abouti à de nombreux dépérissements et à un fort taux de mortalité dans la population Californie, plus de deux fois supérieur à celui de La Luzette (93% et 39%). Ce résultat est évidemment contraire aux prévisions, et contraire aussi aux observations réalisées fin 2012 dans l'essai de Colle-du-Rouet, où le taux de mortalité, également imputé à la sécheresse, s'établissait à 62% et 80% respectivement pour Californie et La Luzette. Toutefois, notre jugement doit être tempéré par le fait que, dans notre essai hors sol, Californie a moins souffert de la sécheresse que La Luzette dans la modalité extérieure. Cela suggère l'existence d'un effet de seuil, au-delà duquel les dépérissements se développent plus ou moins intensément en fonction de la variété.

On ne peut non plus exclure l'intervention de facteurs autres que le stress hydrique, la chaleur ou l'état physiologique des plants. A cet égard, nos résultats doivent être replacés dans le contexte de l'étude : très jeunes plants dont les conditions d'élevage de 1^{ère} année ne sont pas connues avec précision, repiquage traumatisant l'année précédant les traitements, variétés représentées par 60 individus au maximum, ce qui est très faible compte tenu de tous les croisements possibles en vergers (116 et 340 clones dans les vergers Californie et La Luzette non éclairci). D'autre part, les données enregistrées dans la modalité 3 sont sujettes à caution dans la mesure où les plants californiens ont fortement souffert de gels tardifs, ce qui a certainement perturbé leur développement (production de nombreuses pousses latérales, voire plusieurs leaders, pour remplacer les parties gelées) et nous a conduits à ne suivre en phénologie et croissance que les individus les plus tardifs, non représentatifs de la population d'origine.

Le véritable essai, qui sera mis en place en 2013, portera sur du matériel végétal plus homogène (plants à racines nues d'un an repiqués avec soin avant débourrement) et incluant un plus grand nombre de plants. Afin de mieux caractériser la réponse des variétés concernées à une réduction de l'alimentation en eau, les deux populations en comparaison (Californie et Washington 2) seront soumises à un gradient de stress hydrique, plutôt qu'à des modalités contrastées.

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

1- Dispositifs Irstea (portefeuille d'essais homologues ONF-Irstea)

1.1- Test de Montsauche (EV 709)

1.1.1- Description de l'essai

Les caractéristiques du site et du dispositif sont détaillées dans le rapport "évaluation VFA" de février 2009 (p.26 et pp.143-144). En résumé, l'essai est implanté sur la commune de Montsauche-les-Settons (Nièvre), à 500 m d'altitude. Le milieu est favorable à la croissance du Douglas : sol profond, de texture limono-argileuse, pluviométrie moyenne de 1320 mm (473 mm pendant la saison de végétation).

Ce test, qui fait partie du portefeuille d'essais communs ONF-Irstea, compare deux vergers de l'Etat (La Luzette, Darrington) à trois témoins (le verger Bout 24, la seed zone Washington 403 et l'ancienne région de provenance "Est massif central" RP04). Le dispositif est de type mono-arbre, découpé en 100 blocs contenant chacun un représentant de chaque provenance. La plantation a eu lieu en avril 1998, à espacements de 3 m x 2,5 m (1333 plants/ha).

1.1.2- Protocole de mesures

Caractères évalués lors des dernières mesures (23 janvier 2012) :

- note générale d'état sanitaire (cf barème du nouveau réseau Douglas)
- déficit foliaire (note 1, 2 ou 3 correspondant au nombre d'années d'aiguilles subsistant sur les branches visibles les plus élevées (au mieux à mi-hauteur)
- observations ponctuelles sur l'état sanitaire (perte d'aiguilles en cime, arbre très défeuillé) ou la forme (courbure basale)
- couleur du feuillage (vert, jaune, rouge)
- circonférence à 1,30 m.

1.1.3- Résultats : bilan global

Variable étudiée	effet provenance	effet bloc
Mortalité	NS	NS
Nb années d'aiguilles	**	NS
% arbres jaunes	NS	*
% arbres avec pertes d'aiguilles en cime	(*)	NS
Circonférence 2011	*	NS
Accroissement en circonférence 2008-2011	*	NS

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

NS : non significatif

1.1.4- Survie, état sanitaire

Provenance	% survie (1)	déficit foliaire		% arbres jaunes	nb d'arbres	
		nb années d'aiguilles	rang moyen (2)		très défeuillés	pertes d'aiguilles en cime
Bout 24	90	1,46	231 (abc)	5,6	2	2
Darrington	93	1,62	268 (c)	2,1	0	1
Luzette	92	1,51	242 (abc)	2,2	1	3
RP04	94	1,33	202 (a)	2,1	1	4
WA 403	95	1,42	223 (ab)	2,1	1	8
Moyenne	92,8%	1,47		2,8%		

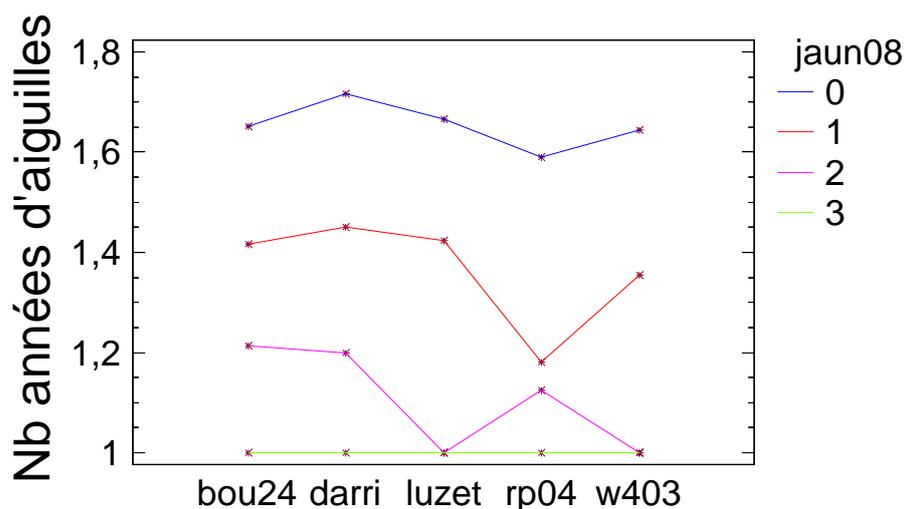
(1) les arbres couchés (8 individus petits et dominés) ont été considérés comme morts

(2) test de Kruskal-Wallis

14 ans après la plantation, le taux de survie reste excellent (93%). Les 7 arbres morts depuis les mesures de 2008 étaient petits, dominés et sans avenir.

Cependant, les arbres restants sont généralement dans un état médiocre. Un seul individu conserve les trois années d'aiguilles qui caractérisent un arbre bien portant et il ne subsiste plus que les aiguilles de l'année 2011 sur 54% des arbres. Pour ce caractère, c'est la variété Darrington qui est la moins pénalisée ; elle s'avère significativement supérieure aux peuplements français (RP04) et américains (WA 403). En outre, près de 10% des représentants de Washington 403 présentent des pertes d'aiguilles en cime.

On note par ailleurs un fort effet "jaunissement de feuillage 2008" sur le nombre d'années d'aiguilles (cf figure ci-dessous). Le bon comportement de Darrington s'explique probablement en partie par le fait que cette variété comptait moins d'arbres jaunes en 2008 (28% contre 43%-59% pour les autres variétés – cf rapport "évaluation VFA" de février 2009, p.26).

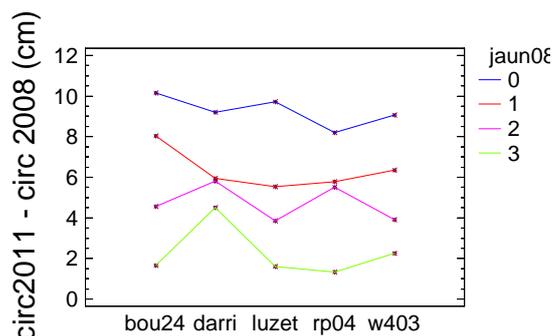
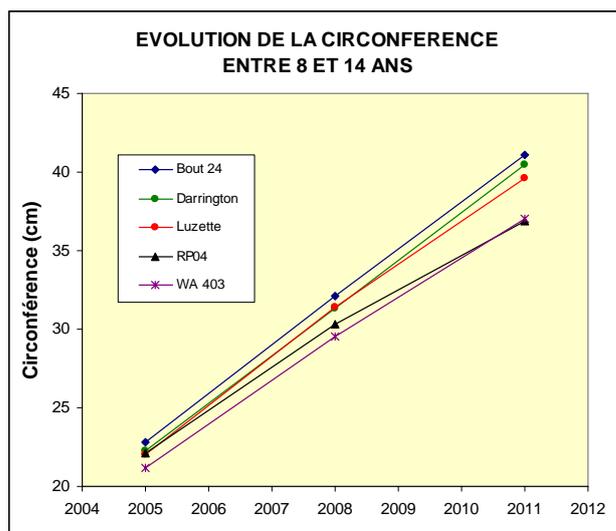
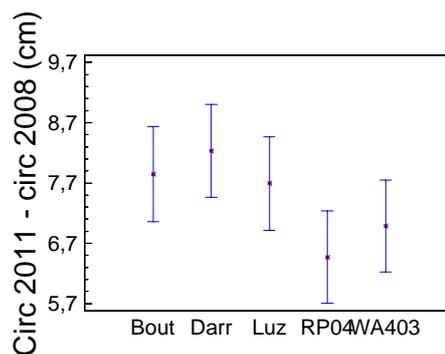
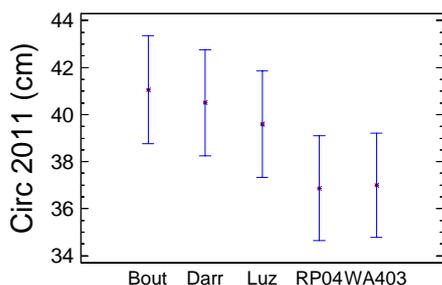


NB- les notes 1-2-3 marquent l'intensité du jaunissement du feuillage (souvent associé à des pertes d'aiguilles)

1.1.5- Croissance en circonférence

Provenance	circonférence (cm)			accroissement 2008-11 (cm)
	2005	2008	2011	
Bout 24	22,8 (a)	32,1 (a)	41,1 (a)	7,85 (ab)
Darrington	22,3 (a)	31,3 (a)	40,5 (a)	8,24 (b)
Luzette	22,0 (a)	31,4 (a)	39,6 (a)	7,69 (ab)
RP04	22,1 (a)	30,3 (a)	36,9 (a)	6,47 (a)
WA 403	21,2 (a)	29,5 (a)	37,0 (a)	6,99 (ab)
Moyenne	22,1 cm	30,9 cm	39,0 cm	7,45 cm

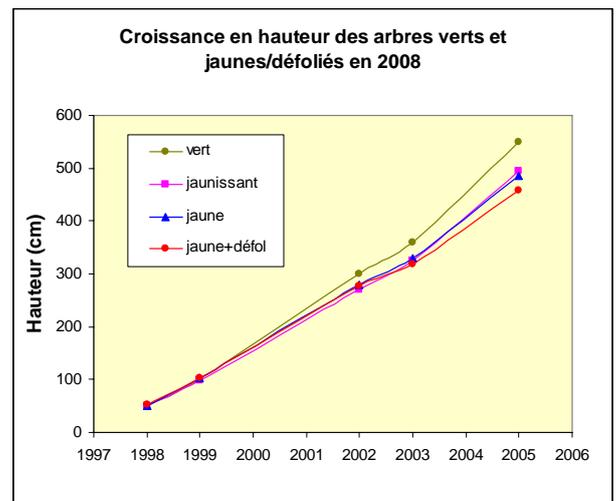
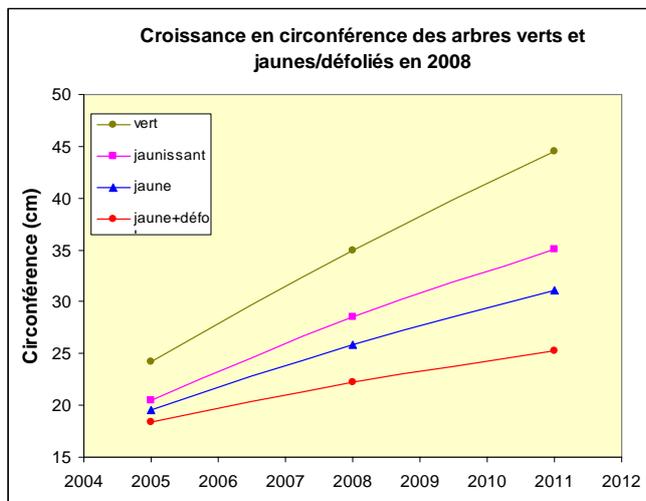
Si l'on excepte les deux premières saisons de végétation, aucun effet génétique n'avait encore été observé pour la croissance en hauteur et en diamètre (rapport février 2009 p.27). Or, une différenciation apparaît en 2012, avec un trio de tête constitué par les trois vergers. En particulier, Darrington, qui se caractérise par un fort accroissement en circonférence entre 11 et 14 ans, devient significativement supérieure à RP04. Il se peut que cette provenance ait bénéficié de son meilleur état sanitaire 2008 car, là encore, on observe une forte réduction de croissance de la part des individus présentant un jaunissement de feuillage.



D'autre part, les arbres très défeuillés début 2012 ont peu évolué en circonférence depuis 2008 (1,2 cm) et ils présentaient déjà un jaunissement de feuillage et une forte défoliation en 2008. Leur dépérissement résulte donc de causes anciennes. En revanche, les pertes d'aiguilles en cime notées début 2012 se retrouvent chez des individus à accroissement quasi-normal (6,1

cm en moyenne) et qui n'étaient guère plus jaunes que la moyenne en 2008. Cela suggère l'intervention d'un phénomène récent, peut-être la sécheresse marquée du printemps 2011. Si tel était le cas, Washington 403 serait apparemment moins bien armée pour résister à ces aléas.

Enfin, il est intéressant de signaler un point qui nous avait échappé lors des précédentes analyses : les individus présentant un jaunissement de feuillage en 2008 (accompagné parfois de pertes d'aiguilles) avaient une croissance inférieure à celles des arbres bien verts depuis déjà plusieurs années. Les premiers signes de perte de vigueur remontent à 2002. La dégradation de l'état sanitaire serait donc à la fois une cause et une conséquence de problèmes de croissance, sans qu'on puisse identifier un facteur déclenchant précis (la canicule 2003 a pu amplifier le phénomène mais ne semble pas en être à l'origine).



1.2- Test d'Ingwiller (EV 712)

1.2.1- Description de l'essai

Les caractéristiques du site et du dispositif sont détaillées dans le rapport "évaluation VFA" de février 2009 (p.26 et pp.144-145). En résumé, l'essai est implanté dans la forêt domaniale d'Ingwiller (Bas-Rhin), à 320 m d'altitude. La station est favorable à la croissance du Douglas: sol profond, de texture LS puis SL, ne pluviométrie moyenne (930 mm sur l'année, 386 mm pendant la saison de végétation) compensée par une situation en fond de vallon.

Ce test, qui fait partie du portefeuille d'essais communs ONF-Irstea, compare deux vergers de l'Etat (La Luzette, Darrington) à trois témoins (le verger Bout 24, la seed zone Washington 403 et l'ancienne région de provenance "Est massif central" RP04). Le dispositif est de type mono-arbre, découpé en 100 blocs contenant chacun un représentant de chaque provenance. La plantation a eu lieu en mai 1998, à espacements de 3 m x 2,5 m (1333 plants/ha).

1.2.2- Protocole de mesures

Caractères évalués lors des dernières mesures (22 septembre 2011) :

- note générale d'état sanitaire (0- arbre bien-venant, 2- cime sèche, 8- arbre dominé, 9- mort)

NB- le protocole défini pour le nouveau réseau d'évaluation n'a pu être appliqué car les mesures ont été effectuées avant sa mise au point

- perte d'aiguilles répartie sur l'ensemble du houppier (note 2)

NB- à la différence de Grandcheneau, un seul individu présente une perte d'aiguilles localisée en cime

- observations ponctuelles (arbre penché/courbé, cime cassée, ...)

- circonférence à 1,30 m.

1.2.3- Résultats : bilan global

Variable étudiée	effet provenance	effet bloc
Mortalité totale 2011	NS	NS
Mortalité 2008-2011	NS	NS
% arbres avec perte d'aiguilles	**	(*)
% arbres dominés	NS	NS
Circonférence 2011	**	(*)
Accroissement en circonférence 2008-2011	*	NS

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

NS : non significatif

1.2.4- Survie, état sanitaire

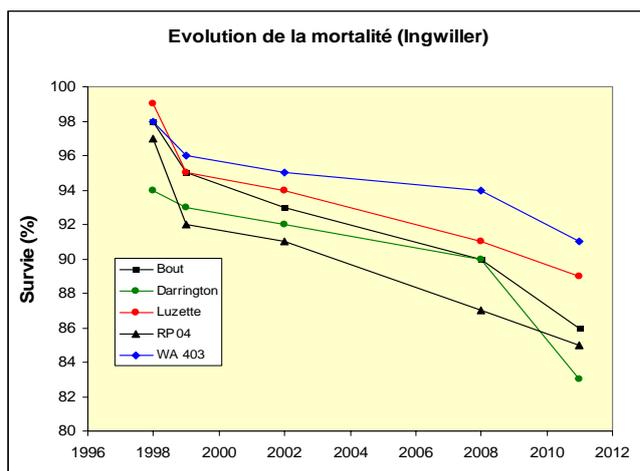
Provenance	% survie (1)	% morts depuis 2008 (2)	% arbres "défoliés" (3)	% arbres dominés
Bout 24	86	4.4	40.7 (b)	22.1
Darrington	83	7.8	24.1 (a)	20.5
Luzette	89	2.2	19.1 (a)	13.5
RP04	85	2.3	41.2 (b)	17.5
WA 403	91	3.2	27.5 (ab)	25.3
Moyenne	86,8%	4,0%	30,4%	19,8%
		18 ind.	132 ind.	86 ind.

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

(2) pourcentage calculé par rapport à l'effectif vivant fin 2008

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

18 arbres sont morts depuis le relevé de 2008. Il s'agit, d'une part, d'individus présentant un jaunissement et une perte d'aiguilles en 2008 (10 arbres) et, d'autre part, d'individus verts et non défoliés mais de petite taille (8 arbres dont le diamètre 2008 est réduit de moitié par rapport à la moyenne). Bien que Darrington soit plus touché, l'effet variété n'est pas significatif. Fin 2011, le taux de survie global s'établit à 86,8%.



On ne recense que peu d'arbres à cime sèche (1 seul individu) ou mal conformés (cime cassée, arbre courbé ou à double pied). En revanche, 30% des arbres présentent des pertes d'aiguilles notables, diffuses dans l'ensemble du houppier. Avec plus de 40% de représentants défoliés, Bout 24 et RP 04 sont significativement plus touchés que La Luzette et Darrington.

En dépit d'une forte relation entre les défoliations 2011 et l'intensité des jaunissements/défoliations recensées trois ans auparavant, les arbres déjà défoliés en 2008 ne représentent que 17% de la population présentant un déficit foliaire fin 2011. Les 83% restants correspondent à des individus dominés, par d'autres Douglas ou des feuillus qui se sont développés dans ou en bordure du dispositif, mais aussi à des arbres d'aspect et de croissance "normale" en 2008. Ces deux catégories représentent respectivement 32% et 51% de la population défoliée.

Dans cet essai non éclairci, 86 arbres de petite taille (20% de l'effectif vivant) sont dominés. Bien que l'effet variété ne soit pas significatif, cette concurrence nuit à la fiabilité des résultats, pour la croissance notamment. Malheureusement, mais en accord avec les règles sylvicoles préconisées pour les forêts de production, le gestionnaire juge prématuré d'éclaircir.

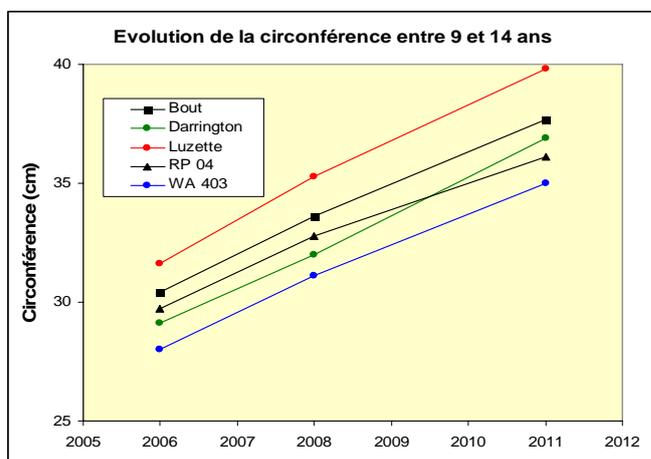
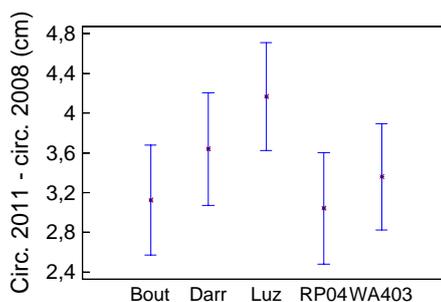
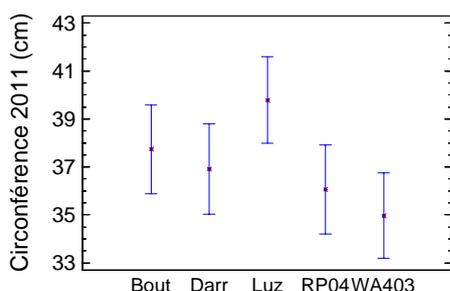
1.2.5- Croissance en circonférence

Compte tenu de leur grand nombre, les arbres dominés n'ont pas été éliminés des analyses, d'autant que leur statut de dominé est, pour une grande part, la conséquence d'une faible croissance initiale. Les analyses portent donc sur la totalité des arbres vivants de l'essai. Il faut toutefois être conscient du fait que l'on pénalise ainsi les variétés comportant une forte proportion d'arbres dominés. En effet, ces derniers ont vu leur croissance ralentie ces dernières années en raison de la concurrence exercée par leurs voisins.

Provenance	circonférence (cm)			accroissement 2008-11 (cm)
	2006 (*)	2008	2011	
Bout	30.4 (ab)	33.6 (ab)	37.7 (ab)	3.13 (ab)
Darrington	29.1 (ab)	32.0 (a)	36.9 (ab)	3.64 (ab)
Luzette	31.6 (b)	35.3 (b)	39.8 (b)	4.17 (b)
RP04	29.7 (ab)	32.8 (ab)	36.1 (a)	3.04 (a)
WA 403	28.0 (a)	31.1 (a)	35.0 (a)	3.36 (ab)
Moyenne	29,7 cm	33,0 cm	37,0 cm	3,48 cm

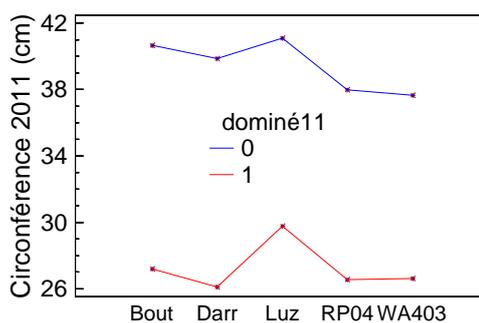
(*) 6 blocs non mesurés

A l'issue des mesures de 2011, La Luzette confirme sa position de leader pour la croissance radiale. Cette variété est significativement supérieure à la seed zone Washington 403 (+13,7% pour la circonférence 2011) et à la région de provenance RP 04, et sa supériorité s'est encore accrue durant la période 2008-2011 (+24,1% par rapport à WA 403 pour l'accroissement en circonférence). On note également une belle progression de Darrington, dont l'accroissement en diamètre est supérieur (en valeur absolue) à celui de RP 04, Bout et WA 403.



NB- les circonférences moyennes sont calculées sur l'ensemble des arbres vivants en 2006, 2008 et 2011 et ces effectifs varient légèrement d'une année sur l'autre à cause de la mortalité. La forte progression de Darrington entre 2008 et 2011 s'explique donc par une bonne croissance mais aussi par la perte d'individus peu vigoureux.

L'interaction variété x "statut" (dominé ou non) est très faible ($P = 0.79$ et 0.72 respectivement la circonférence 2011 et l'accroissement 2008-2011). Le classement des variétés est donc similaire, que l'on étudie les populations entières ou purgées des individus dominés. Néanmoins, l'effet variété n'est plus significatif si l'on exclut la population dominée.



D'autre part, et comme attendu, les individus présentant un déficit foliaire ont connu une faible croissance durant la période 2008-2011 (2,0 cm). Ce constat s'applique également à sa composante "arbres nouvellement défoliés et non dominés" qui avait eu jusque là un aspect et une croissance normaux.

Enfin, les individus dominés se caractérisent également par un faible accroissement en circonférence (1,1 cm).

1.3- Test de Grandcheneau (EV 713)

1.3.1- Description de l'essai

Les caractéristiques du site et du dispositif sont détaillées dans le rapport "évaluation VFA" de février 2009 (p.26 et pp.145-146). En résumé, l'essai est implanté dans la forêt domaniale de Grandcheneau (Meurthe-et-Moselle), à 400 m d'altitude. La station est favorable à la croissance du Douglas : sol profond, de texture LA puis AL, pluviométrie moyenne de 1155 mm (484 mm pendant la saison de végétation).

Ce test, qui fait partie du portefeuille d'essais communs ONF-Irstea, compare deux vergers de l'Etat (La Luzette, Darrington) à trois témoins (le verger Bout 24, la seed zone Washington 403 et l'ancienne région de provenance "Est massif central" RP04). Le dispositif est de type mono-arbre, découpé en 100 blocs contenant chacun un représentant de chaque provenance. La plantation a eu lieu en mai 1998, à espacements de 3 m x 3 m (1111 plants/ha).

1.3.2- Protocole de mesures

Caractères évalués lors des dernières mesures (21 septembre 2011) :

- note générale d'état sanitaire (0- arbre bien-venant, 2- cime sèche, 8- arbre dominé, 9- mort)
- NB- le protocole défini pour le nouveau réseau d'évaluation n'a pu être appliqué car les mesures ont été effectuées avant sa mise au point*
- jaunissement de feuillage (0-vert, 1- jaunissant)
- perte d'aiguilles en cime (note 1) ou diffuse sur l'ensemble du houppier (note 2)
- observations ponctuelles (arbre penché/courbé, écorçage dû au cerf, ...)
- circonférence à 1,30 m.

1.3.3- Résultats : bilan global

Variable étudiée	effet provenance	effet bloc
Mortalité totale 2011	*	NS
Mortalité 2008-2011	NS	NS
% arbres jaunes	NS	(*)
% arbres avec pertes d'aiguilles en cime	NS	NS
% arbres avec perte d'aiguilles diffuse	NS	*
% arbres dominés	NS	NS
Circonférence 2011	***	*
Accroissement en circonférence 2008-2011	*	NS

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

NS : non significatif

1.3.4- Survie, état sanitaire

Provenance	% survie (1)	% arbres jaunes	perte d'aiguilles		% arbres dominés
			en cime	houppier	
Bout	93 (ab)	3.3	16.3	3.3	4.3
Darrington	89 (ab)	0	23.6	3.4	7.9
Luzette	98 (b)	1.0	13.3	3.1	6.1
RP04	86 (a)	1.2	19.3	2.4	6.0
WA 403	94 (ab)	0	18.3	1.1	10.7
Moyenne	92%	1.1%	18.0%	2.6%	7.0%

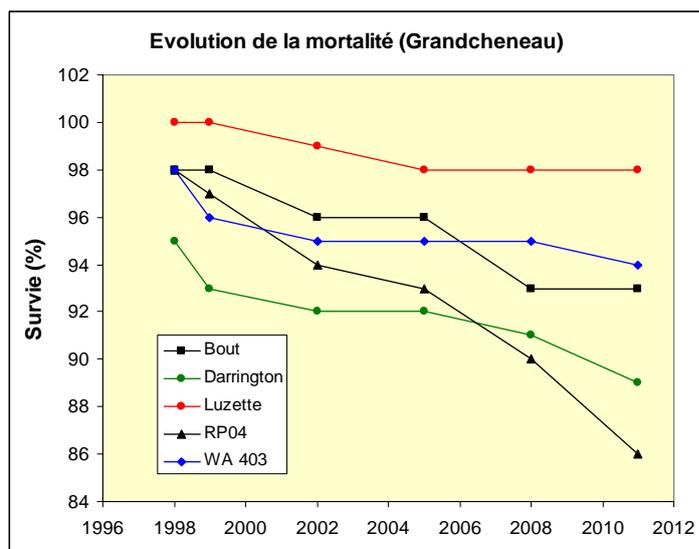
(1) les arbres couchés (8 individus petits et dominés) ont été considérés comme morts

(2) test de Kruskal-Wallis

Depuis les dernières mesures de l'automne 2008, huit individus ont disparu ; pour l'essentiel, il s'agissait d'arbres de petit diamètre ou couchés, donc sans avenir. En définitive, 14 ans après la plantation, le taux de survie global reste excellent (92%). On note toutefois une différence significative entre la Luzette, quasiment indemne de mortalité, et RP 04.

Les jaunissements de feuillage, descentes de cime et individus blessés ou mal conformés (penchés, courbés, à double tronc) sont rares. En revanche, 20% des arbres de l'essai présentent des pertes d'aiguilles, principalement en cime. Ces défoliations sont indépendantes de la provenance et de l'occurrence de jaunissements de feuillage et/ou pertes d'aiguilles en 2008.

En outre, dans cet essai non éclairci, 32 arbres de petite taille (7% de l'effectif vivant) sont nettement dominés. Bien que l'effet variété ne soit pas significatif, cette concurrence nuit à la fiabilité des résultats, pour la croissance notamment. Malheureusement, le gestionnaire juge prématuré d'éclaircir, ce qui est logique si l'on s'en tient aux règles sylvicoles préconisées pour les forêts de production.

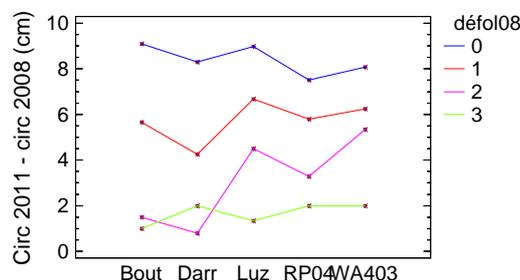
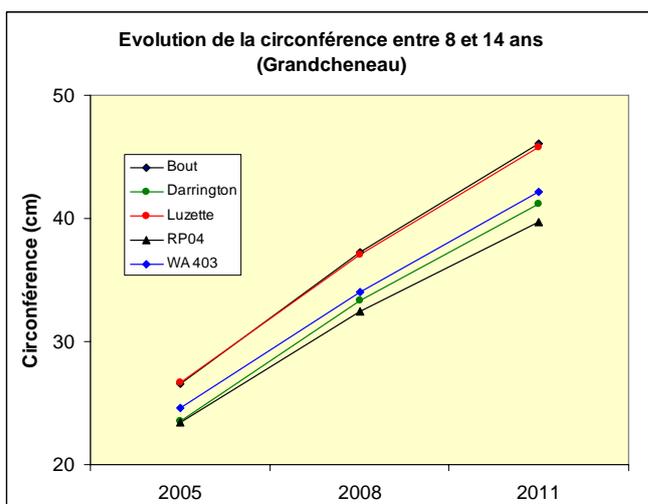
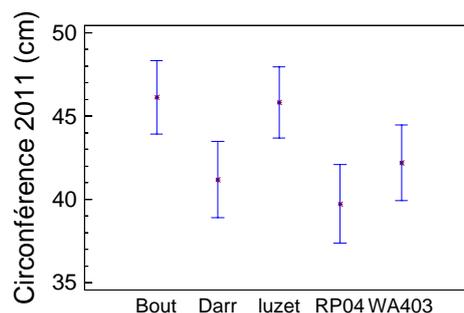
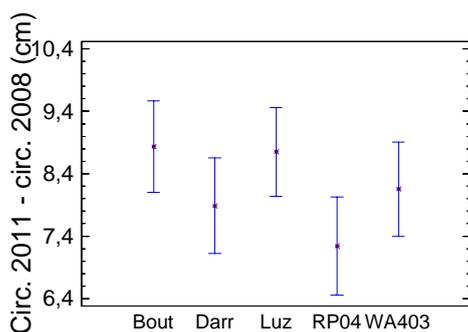


1.3.5- Croissance en circonférence

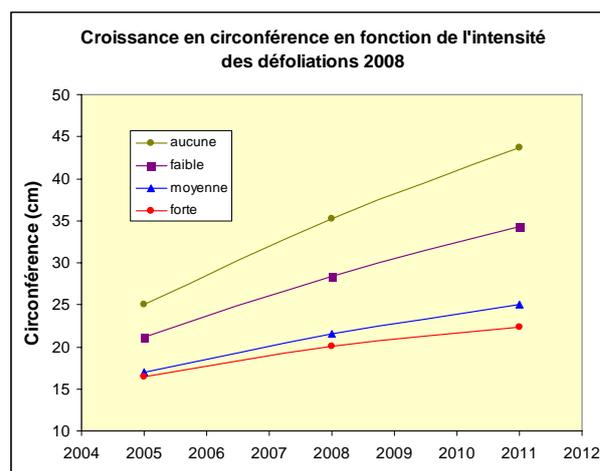
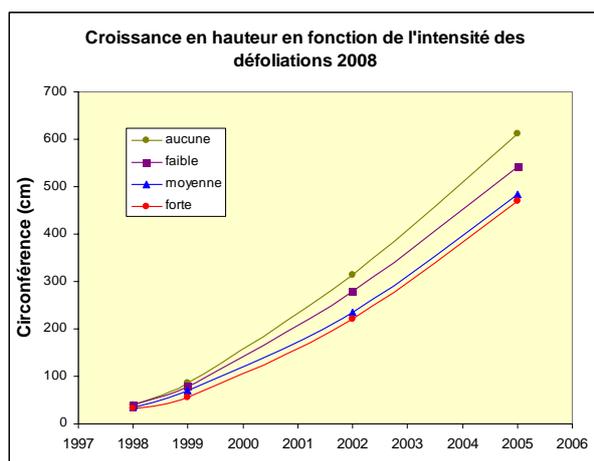
Ces analyses ont été effectuées après élimination des individus dominés.

Provenance	circonférence (cm)			accroissement 2008-11 (cm)
	2005	2008	2011	
Bout	26.6 (b)	37.3 (b)	46.1 (b)	8.84 (b)
Darrington	23.5 (a)	33.3 (a)	41.2 (a)	7.89 (ab)
Luzette	26.7 (b)	37.1 (b)	45.8 (b)	8.75 (b)
RP04	23.4 (a)	32.5 (a)	39.7 (a)	7.24 (a)
WA 403	24.6 (ab)	34.0 (ab)	42.2 (ab)	8.15 (ab)
Moyenne	25,1 cm	35,0 cm	43,1 cm	8,17 cm

14 ans après la plantation, Bout 24 et La Luzette demeurent les variétés les plus vigoureuses. Sur la période 2008-2011, leur supériorité relative se maintient (vis-à-vis de Darrington et WA 403) ou augmente (vis-à-vis de RP04). La croissance des arbres présentant des jaunissements et pertes d'aiguilles en 2008 étant très inférieure à la moyenne, cette région de provenance RP04 a sans doute été handicapée par son fort taux d'arbres défoliés (35% vs 17% dans les quatre autres variétés).



Rétrospectivement, on s'aperçoit que les individus présentant un jaunissement de feuillage et une perte d'aiguilles en 2008 (phénomène constaté au printemps 2006 et quantifié fin 2008) ont toujours eu une faible croissance. Cette dégradation de l'état sanitaire résulte donc d'un stress très ancien et qui semble remonter à la plantation. En revanche, les pertes d'aiguilles "en cime" observées à l'automne 2011 sont d'une tout autre nature car elles touchent des individus vigoureux, dont la croissance tend même à être supérieure à la moyenne. Cela suggère l'intervention d'un phénomène récent, peut-être la sécheresse marquée du printemps 2011.



1.4- Analyse tri-site (Montsauche, Grandcheneau, Ingwiller)

1.4.1- Statistiques générales

Variable	niveau de signification			
	effet variété		effet site	interaction variété x site
	site fixe	site aléatoire		
Circonférence 2011	***	*	***	NS
Accroissement circ. 2008-11	***	*	***	NS

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

NS : non significatif

NB- Analyses effectuées sur la totalité des individus vivants

Pour les deux caractères étudiés, les analyses de variance mettent en évidence des effets hautement significatifs de la provenance et du site. L'interaction variété x site n'est jamais significative, ce qui permet d'étudier séparément les facteurs "variété" et "site". Cependant, cette interaction n'est pas nulle ($P=0.12$ et $P=0.17$ respectivement pour la circonférence 2011 et l'accroissement en circonférence) et elle ne peut être totalement négligée.

1.4.2- Classement des variétés

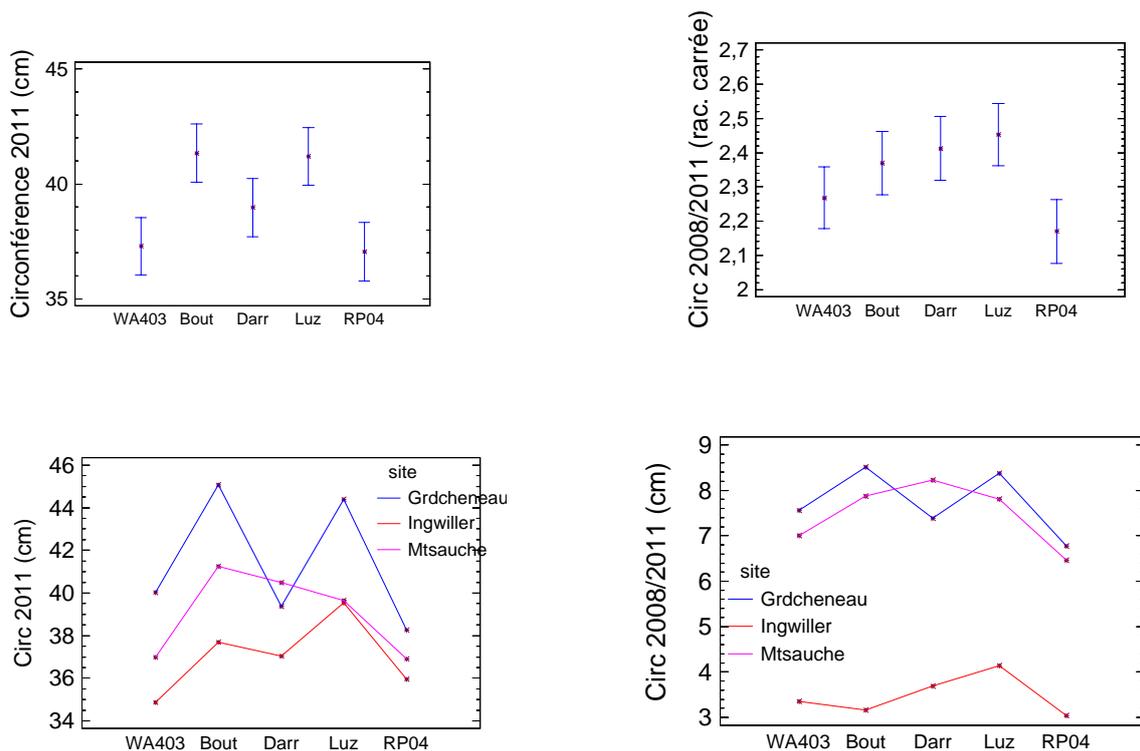
Dans un premier temps, nous considérerons le site comme un facteur fixe, c'est-à-dire en considérant les résultats obtenus dans trois lieux précis (Montsauche-les-Settons dans la Nièvre, Grandcheneau en Meurthe-et-Moselle et Ingwiller dans le Bas-Rhin), sans volonté d'extrapoler à d'autres sites.

Provenance	circonférence 2011	accroissement 2008-11 (cm)
Bout 24	41.3 (b) (c)	6.52 (bc) (ab)
Darrington	39.0 (ab) (abc)	6.44 (bc) (ab)
Luzette	41.2 (b) (bc)	6.78 (c) (b)
RP04	37.0 (a) (a)	5.43 (a) (a)
WA 403	37.3 (a) (ab)	5.97 (ab) (ab)

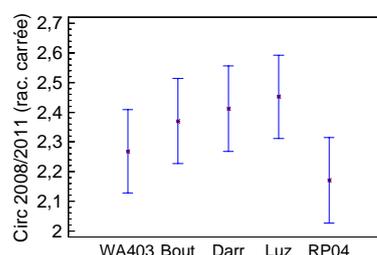
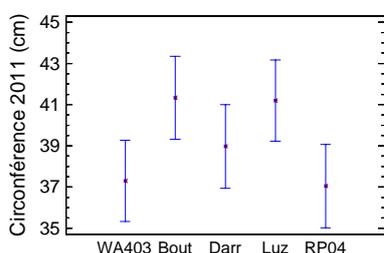
Les lettres entre () indiquent les groupes homogènes en considérant le facteur site comme fixe (noir) ou *aléatoire* (rouge)

En moyenne sur l'ensemble des trois tests, les produits des vergers de Bout 24 et La Luzette présentent la plus forte croissance radiale à l'âge de 14 ans. Ces vergers sont significativement supérieurs aux peuplements naturels représentés dans l'essai (+11% en moyenne), qu'ils soient français (ancienne région de provenance RP04) ou américains (seed zone 403 de l'Etat du Washington). Si l'on restreint l'analyse à l'accroissement de circonférence au cours des trois dernières années, Bout et La Luzette demeurent significativement supérieurs à RP04 mais WA 403 et Darrington occupent une position plus avantageuse. Darrington, en particulier, fait jeu égal avec La Luzette et diffère significativement de RP04.

Pour ces deux variables cependant, le classement des variétés est sujet à des variations inter-sites. En particulier, Darrington se comporte moins bien à Grandcheneau qu'à Montsauche et Ingwiller.



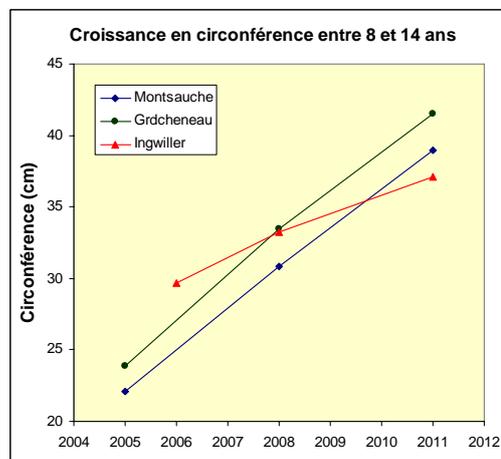
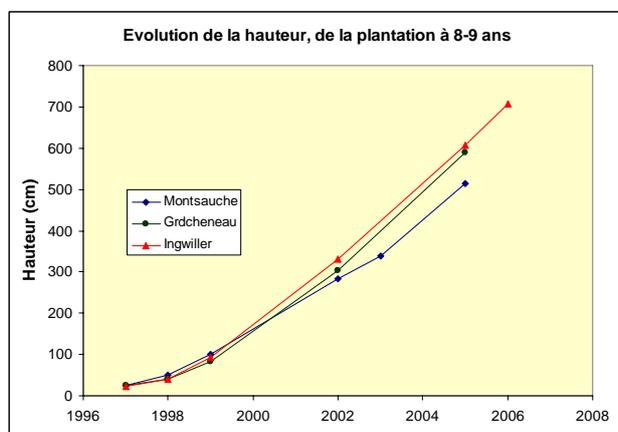
Dans un deuxième temps, le site a été analysé comme facteur aléatoire. Cette approche revient à considérer que les trois sites ont été tirés au hasard au sein d'une population. L'objectif est d'extrapoler les résultats obtenus à Montsauche, Grandcheneau et Ingwiller à un ensemble plus vaste, qui pourrait correspondre par exemple aux stations de moyenne montagne du nord-est de la France, développées sur sol acide et se prêtant à la culture du Douglas. D'un point de vue mathématique, l'effet variété est testé par rapport à l'interaction variété x site, et non plus la résiduelle comme c'était le cas dans l'approche "effet site fixe". Cette interaction n'étant pas nulle, les intervalles de confiance augmentent et certaines différences observées précédemment ne sont plus significatives. De ce fait, l'effet "variété" devient faiblement significatif pour la circonférence 2011 et l'accroissement 2008-2011 (P=0.01 et P=0.04 respectivement).



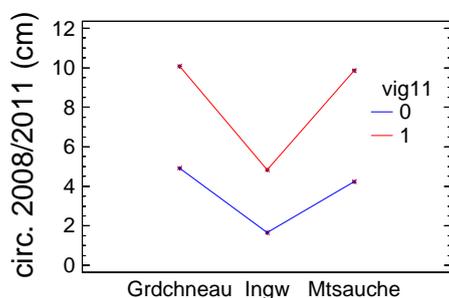
1.4.3- Classement des sites

Site	populations entières		50% les plus vigoureux	
	circ. 2011 (cm)	acct 2008-11 (cm)	circ. 2011 (cm)	acct 2008-11 (cm)
Montsauche	39.1 (b)	7.47 (b)	46.6 (b)	9.83 (b)
Grandcheneau	41.4 (c)	7.72 (b)	50.7 (c)	10.10 (b)
Ingwiller	37.0 (a)	3.48 (a)	43.1 (a)	4.83 (a)

Toutes variétés confondues, la croissance est significativement plus faible à Ingwiller. La différence est particulièrement marquée pour la période 2008-2011, au cours de laquelle les arbres présentent un accroissement en diamètre réduit de 54% par rapport à Montsauche et Grandcheneau. Ce constat est surprenant car Ingwiller était considéré comme un "bon" site pour la croissance d'après les mesures de hauteur et circonférence effectuées de 1998 à 2006.



En l'absence de mesures de circonférence antérieures à 2005 et d'observations complètes et cohérentes sur l'état sanitaire - la notion de perte d'aiguilles, souvent référencée par rapport à l'arbre moyen du dispositif, peut varier d'un site à l'autre -, cette différence est difficilement explicable. A priori, elle ne semble pouvoir être imputée ni au nombre de tiges/ha, ni aux défoliations recensées en 2008 et 2011 (30% d'individus défoliés en 2011 à Ingwiller mais les arbres de Montsauche, qui ne conservent que 1,5 année d'aiguilles, sont aussi très touchés). Le pourcentage d'arbres dominés, plus fort à Ingwiller que dans les deux autres sites, n'est pas non plus un facteur explicatif car la population rassemblant les arbres les plus vigoureux de chaque variété présente le même déficit de croissance que la population globale. Le fléchissement de la croissance à Ingwiller, dont l'origine remonte aux alentours de l'année 2006, reste donc largement incompris, mais il est intéressant de constater que La Luzette se comporte bien également dans ce site.



Vig11:

- 1- les 50% plus vigoureux de chaque variété*
- 2- 0- les 50% moins vigoureux*

2- Tests de descendance de clones des vergers Washington 2 et France 2 (INRA)

Préalablement à des mesures qui sont programmées pour 2013, deux séries de tests des descendance maternelles d'une partie des clones constitutifs des vergers France 2 et Washington 2 ont été visités :

- Série 3.713, qui inclut 34 descendance open du verger Washington 2, 67 descendance plein-frères de clones du même verger et 34 descendance open du verger de Couze (sélection de clones hollandais). Les trois tests constitutifs de cette série ont été plantés au printemps 1998 à Croix Scaille (Ardennes, 3.713.1), Crabes Mortes (Tarn, 3.713.2) et St Quentin la Chabanne (Creuse, 3.713.3).
- Série 3.715 qui inclut 97 descendance open du verger France 2. Deux tests ont été plantés au printemps 2000 à Brassay (Nièvre, 3.715.2) et Masnau Massuguiés (Tarn, 3.715.3).

Les mesures qui seront réalisées en 2013, 14 et 16 ans après plantation, constitueront la 2e évaluation de ces tests.

3- Test des 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 litre, 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, La 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).

En mars 2011, deux tests de descendance ont été installés en forêt avec des semis 2-0:

- 3.718.1 – 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 : 42 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.

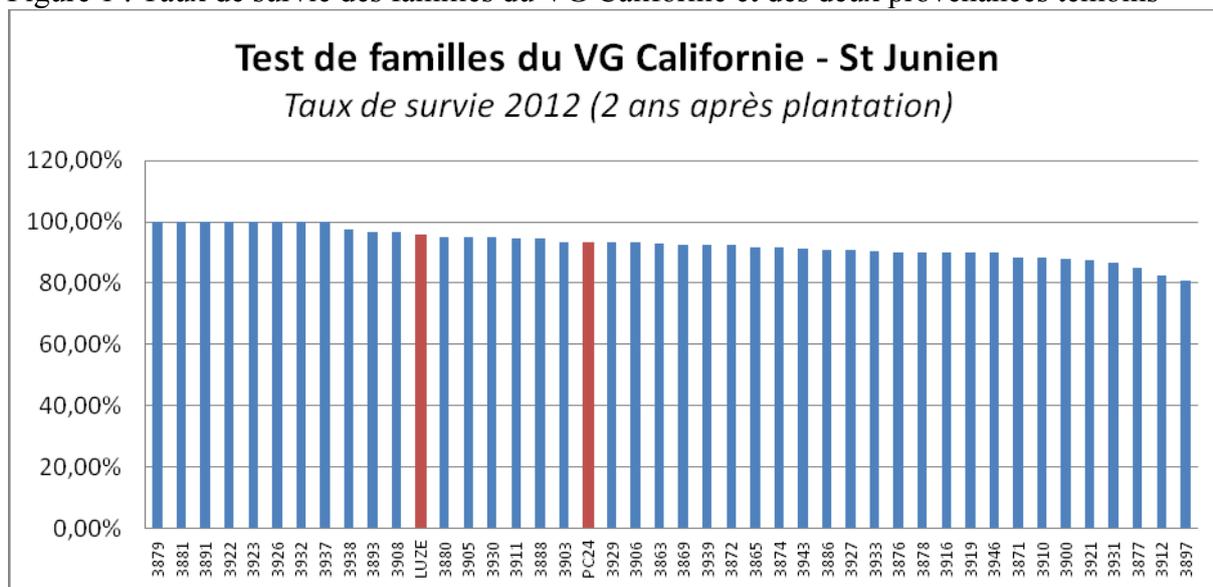
- 3.718.2 - forêt communale de Fourtou (Aude) : station classique à Douglas mais qui sera exposée précocement aux effets du changement climatique (Long : 2° 25'06" E, Lat : 42° 54' 19" N, alt, 730 m). Matériel végétal installé : 83 descendance du VG Californien et 4 témoins (France 1-VG, Washington 2-VG, 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.

A l'automne 2012, des mesures de survie et de hauteur totale ont été réalisées sur les deux tests. Les principaux résultats sont présentés ci-dessous.

3.1- St Junien la Bregère (3.718.1)

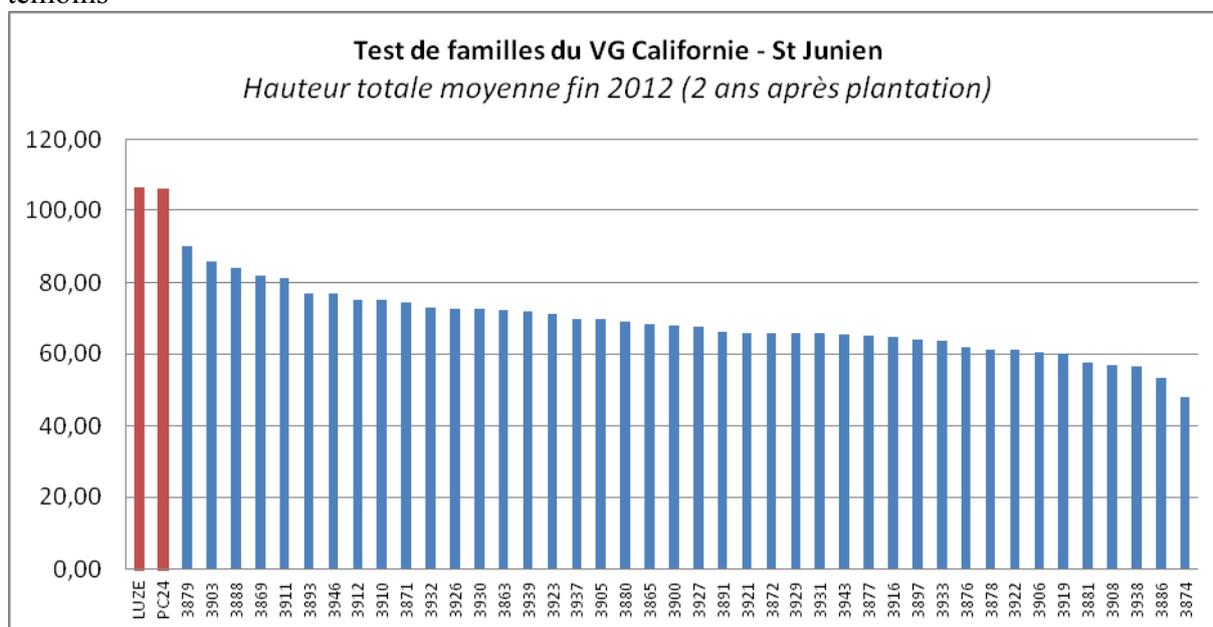
Survie 2012: globalement excellente (92% sur l'ensemble du test), elle varie sensiblement selon les familles (81 à 100%), les deux témoins faisant état d'un taux de survie supérieur à 90%, Cf. figure 1 ci-dessous.

Figure 1 : Taux de survie des familles du VG Californie et des deux provenances témoins



Hauteur totale 2012 : après deux ans de plantation, la hauteur totale moyenne des plants est de 71 cm. La Figure 2 ci-dessous montre clairement qu'à St Junien, aucune famille n'a une vigueur comparable aux deux témoins : hauteur moyenne des témoins 106 cm; hauteur moyenne des familles du VG Californie 68 cm (extrêmes 48 – 90 cm).

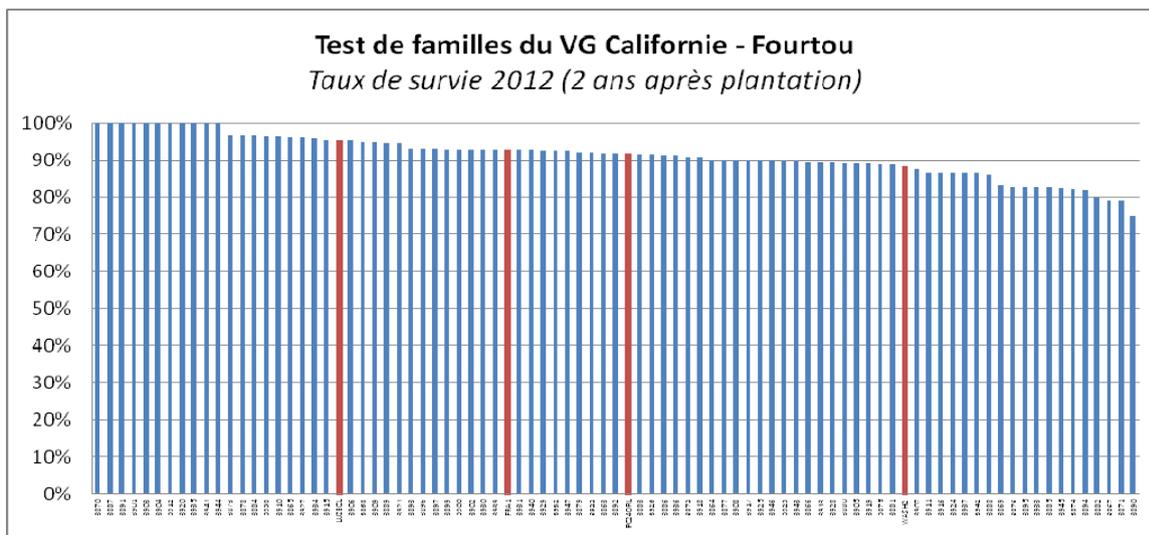
Figure 2 : Hauteur totale moyenne des familles du VG Californie et des deux provenances témoins



3.2- Fourtou (3.718.2)

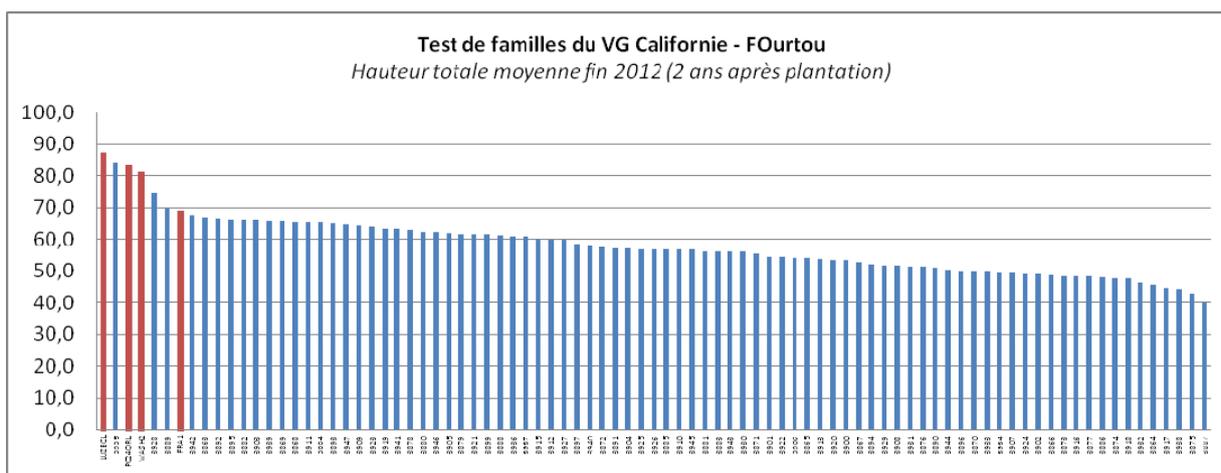
Survie 2012 : globalement excellente (91% sur l'ensemble du test), elle varie sensiblement selon les familles (75 à 100%). Le taux de survie des 4 populations témoins varie de 95% pour Luzette.VG à 88% pour Washington-2.VG; Cf. figure 3 ci-dessous.

Figure 3 : Taux de survie des familles du VG Californie et dans cinq provenances témoins



Hauteur totale 2012 : après deux ans de plantation, la hauteur totale moyenne des plants à Fourtou est de 60 cm. La Figure 4 ci-dessous montre, comme à Saint Junien, qu'à Fourtou, peu de familles ont une vigueur comparable aux témoins : hauteur moyenne des témoins 80 cm; hauteur moyenne des familles du VG Californie 57 cm (extrêmes 40 – 84 cm).

Figure 4 : Hauteur totale moyenne des familles du VG Californie et des provenances témoins Ces résultats très juvéniles nécessiteront une confirmation à court terme, mais ils confirment,



au niveau famille, la tendance déjà observée dans les tests comparatifs des lots moyens de vergers, que les MFR issus du verger Californie.VG ont un niveau de vigueur faible qui les distingue nettement des autres vergers de Douglas français.

MELEZE

PERFORMANCES DE VARIETES HYBRIDES

1- Hybrides F1

1.1- Dispositif de Brenod (Irstea)

Ce dispositif en grandes parcelles unitaires (64 plants par provenance x 4 blocs), planté sur substrat calcaire, fait partie d'un réseau d'évaluation installé en collaboration avec des instituts de R&D anglais, belge, danois, hollandais et suédois. Ses caractéristiques sont résumées dans le rapport "évaluation VFA" de février 2009 (pp 162-163).

Ce test a été mesuré deux fois (2000/01 et 2007/08) avant la première éclaircie qui a été réalisée en août 2008. Nous présentons ici les résultats de nouvelles mesures effectuées les 29-30 novembre 2011, soit 17 ans après la plantation. Ces données permettent i) d'évaluer les performances de 6 variétés de mélèze hybride issues de vergers européens (cf tableau ci-dessous), ii) de comparer ces variétés à des témoins de mélèzes d'Europe et du Japon et iii) d'étudier le comportement des arbres depuis l'éclaircie.

Variété	Espèce	Vergers d'origine	Pays
Halle1 Halle2	Mélèze hybride	Halle (récolte 1980)	B
		Halle (récolte 1983)	B
FP237		Randbol Grund (récolte 1992)	DK
FH201		Les Barres (mélange de récoltes)	F
Vaals		Vaals-01 (récolte 1992)	NL
Esbeek		Esbeek-01 (récolte 1992)	NL
Maglehem		51 Maglehem (récolte 1992)	S
Theil	Mélèze d'Europe (Sudètes)	Le Theil (récolte 1992)	F
ME Ruda	Mélèze d'Europe (Sudètes)	Ruda (peuplement aire naturelle)	CZ
MJ Hokk	Mélèze du Japon	Hokkaido (peuplement)	Japon

1.1.1- Bilan de l'éclaircie

1.1.1.1- Marquage de l'éclaircie

L'éclaircie, marquée par Irstea en novembre 2007, est mixte dans le sens où elle allie une composante systématique - élimination d'une ligne par parcelle unitaire pour faciliter la mécanisation de l'exploitation - et une composante sélective - suppression d'environ un individu sur trois dans les lignes restantes, en travaillant au profit des individus les plus vigoureux et les mieux conformés et en veillant à ce que les arbres restants aient une bonne répartition spatiale.

Au total, l'éclaircie devait éliminer 933 individus (43% à 49% des arbres vivants selon la provenance) et conserver 100-120 individus par provenance, soit 39% à 47% de

l'effectif planté. La densité, qui était de 1667 plants/ha à la plantation mais avait chuté à 1314 tiges/ha en 2007 du fait de la mortalité, devait ainsi être abaissée à 700 arbres/ha.

1.1.1.2- Réalisation

Variété	nb arbres marqués	nb arbres abattus	éclaircie sélective			
			nb arbres marqués	nb arbres oubliés	nb arbres abattus par erreur	différentiel
Halle 1	106	101	78	9	4	-5
Halle 2	101	103	70	4	6	+2
FP 237	78	55	55	27	5	-22
FH 201	96	87	69	13	4	-9
Vaals	88	82	64	9	3	-6
Esbeek	100	98	73	6	4	-2
Maglehem	94	83	72	12	1	-11
Theil	91	86	68	8	3	-5
ME Ruda	79	68	58	14	3	-11
MJ Hokk	100	85	72	15	0	-15
Total	933 arbres	848 arbres	679 arbres	117 arbres	33 arbres	- 84 arbres

Une visite réalisée fin 2008 avait mis en évidence la présence sur le terrain de nombreux arbres marqués oubliés par l'abatteuse. Le propriétaire n'ayant pas respecté son engagement d'y remédier, le relevé d'éclaircie de fin 2011 fait apparaître une assez forte distorsion entre les prévisions et la réalité : 118 arbres marqués sont toujours en place et 33 autres ont été abattus par erreur. Comme on pouvait s'y attendre, l'éclaircie systématique a été effectuée correctement (à un individu près) mais c'est dans la partie "sélective" que l'exploitant a dérogé aux consignes. On peut comprendre qu'il n'ait pas jugé utile/rentable d'abattre certains sujets dominés, de petite taille (cas de FP 237 notamment) mais ces derniers ne représentent malheureusement qu'une minorité des erreurs.

Au total, subsistent après éclaircie 1155 individus sur les 2560 plantés ($m = 45,1\%$, de 41% à 48% selon la provenance) et la densité de la plantation s'établit finalement à 750 tiges/ha.

1.1.2- Résultats des mesures 2011

1.1.2.1- Analyse statistique

- pourcentages et variables non continues : analyse de variance à deux facteurs (variété, bloc) sans interaction sur les moyennes calculées pour chaque p.u. puis comparaison avec le test de Tukey.

- circonférence : analyse de variance à deux facteurs (variété et bloc considérés respectivement comme fixe et aléatoire) avec interaction sur les données individuelles puis comparaison des moyennes à l'aide du test de Tukey.

Des changements de variables ont parfois été réalisés pour satisfaire aux conditions de normalité et homoscédasticité.

NB- une trentaine d'individus petits, cassés, couchés, penchés, n'ont pas été mesurés.

1.1.2.2- Statistiques générales

Variable	niveau de signification des facteurs		
	variété	bloc	interaction variété x bloc
% mortalité	***	NS	n.a.
Circonférence 2007 (pop non éclaircie)	***	NS	*
Accroissement en circonférence 2007-2011	*	NS	NS
Circonférence 2011	***	NS	NS
Rectitude du tronc (note)	***	NS	n.a.
% arbres droits (notes 4+5)	***	NS	n.a.
% arbres à courbure basale	***	(*)	n.a.

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

1.1.2.3- Survie et croissance en circonférence

Variété	nb morts post-éclaircie	circ. 2007 (cm) (*)	accroissement circ. 2007-11 (cm)	circ. 2011 (cm)
Halle 1	0	-	-	61.2 (ab)
Halle 2	0	48.6 (abc)	13.1 (ab)	61.7 (abc)
FP 237	10	43.6 (a)	11.6 (a)	54.4 (a)
FH 201	1	53.5 (c)	13.6 (b)	67.1 (c)
Vaals	0	51.0 (bc)	12.3 (ab)	63.1 (bc)
Esbeek	0	51.5 (bc)	13.7 (b)	65.2 (bc)
Maglehem	1	49.2 (abc)	13.1 (ab)	62.1 (abc)
Theil	1	49.5 (abc)	12.7 (ab)	62.2 (abc)
ME Ruda	1	46.1 (ab)	13.2 (ab)	59.3 (ab)
MJ Hokk	0	45.2 (a)	12.2 (ab)	57.1 (a)
moyenne		48,7 cm	12,8 cm	61,3 cm

(*) population non éclaircie

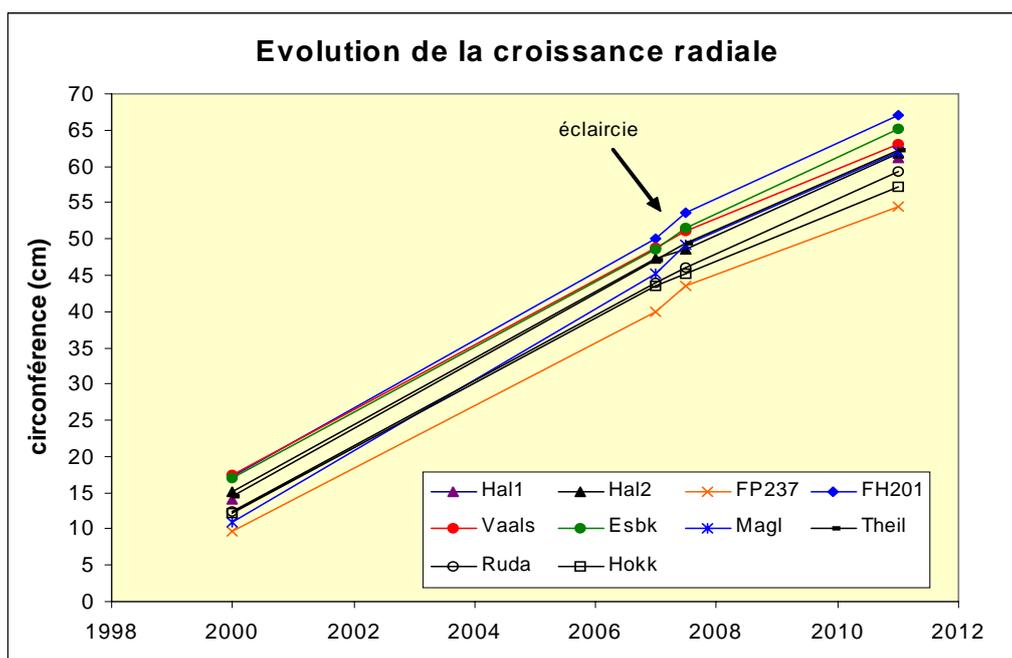
14 arbres sont morts depuis 2007, parmi lesquels plusieurs auraient dû être éliminés lors de l'éclaircie. La majorité (10) appartient à la variété FP 237 qui est très hétérogène du fait de la coexistence d'un grand nombre d'individus autofécondés (mélèze d'Europe) et d'hybrides vigoureux. Il est probable que la mortalité ait touché préférentiellement les individus de ME dominés et laissés en place après éclaircie. D'autre part, on ne signale qu'une descente de cime (FH 201).

Le défaut d'éclaircie a pénalisé l'ensemble des variétés (à l'exception d'Esbeek), et particulièrement FH 201 et FP 237. Cependant, les moyennes attendues et mesurées de la circonférence 2007 sont proches (écart maximal de 1,7 cm pour FH 201).

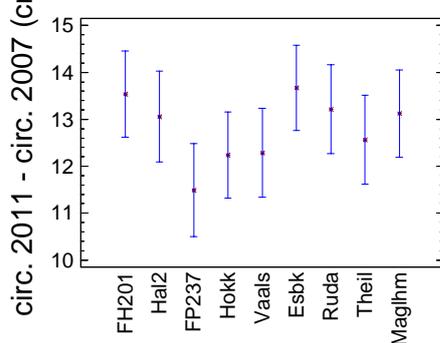
L'évolution de la circonférence entre 2007 et 2011 ne modifie guère la hiérarchie acquise au moment de l'éclaircie, bien que la croissance de Vaals tende à diminuer comparativement aux autres provenances. 17 ans après la plantation, les variétés hybrides confirment leur avantage sur la provenance de mélèze d'Europe Ruda qui constitue un bon témoin sur ce site continental. Ces hybrides ne diffèrent pas significativement les uns des autres si l'on excepte FP 237 qui a toujours eu une faible vigueur en raison de son faible pourcentage d'hybrides.

Les deux variétés hybrides les plus vigoureuses, FH 201 et Esbeek, sont créditées d'un gain de 13,2% et 10,0% par rapport à Ruda (circonférence 2011). A cet égard, on note que les écarts de circonférence tendent à se stabiliser, si bien que les différences relatives diminuent graduellement à mesure que les arbres grossissent. Par ailleurs, la bonne performance du verger de mélèze d'Europe "Le Theil", qui se classe entre Ruda et les meilleurs hybrides, mérite d'être signalée.

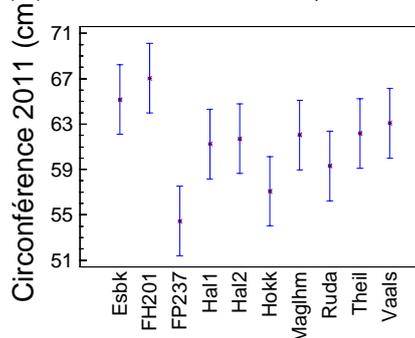
Enfin, l'étude des variances montre que la variété FP 237 est, de loin, la plus hétérogène. A l'inverse, Hokkaïdo, Vaals, Halle, et surtout Esbeek, présentent de faibles coefficients de variation.



Moyennes et intervalles à 95,0% de Tukey HSD



Moyennes et intervalles à 95,0% de Tukey HSD



1.1.2.4- Forme

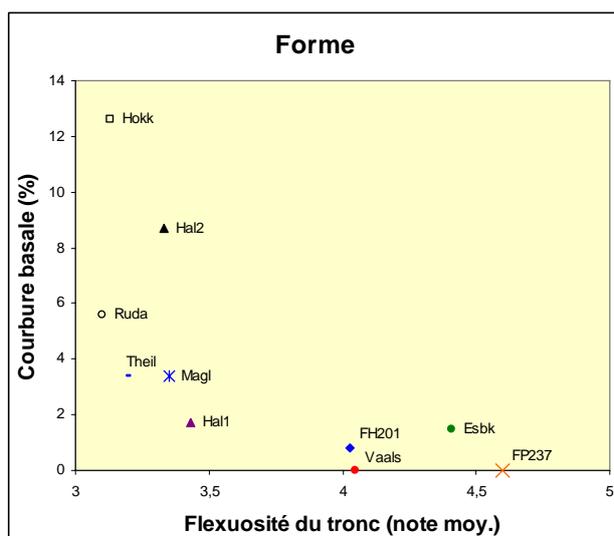
Variété	Flexuosité du tronc		% arbres avec courbure basale
	note moy. (1)	% arbres droits (2)	
Halle 1	3.43 (ab)	52.3 (a)	1.7 (ab)
Halle 2	3.33 (a)	44.9 (a)	8.7 (bc)
FP 237	4.60 (c)	97.2 (b)	0 (a)
FH 201	4.03 (bc)	84.9 (b)	0.8 (ab)
Vaals	4.05 (c)	84.5 (b)	0 (a)
Esbeek	4.41 (c)	93.0 (b)	1.5 (ab)
Maglehem	3.35 (a)	46.6 (a)	3.4 (abc)
Theil	3.19 (a)	40.1 (a)	3.4 (abc)
ME Ruda	3.10 (a)	34.3 (a)	5.6 (abc)
MJ Hokk	3.13 (a)	42.6 (a)	12.6 (c)
moyenne	m = 3,67	m = 62%	m = 3,8 %

(1) note de 1 (tronc très tordu) à 5 (tronc droit)

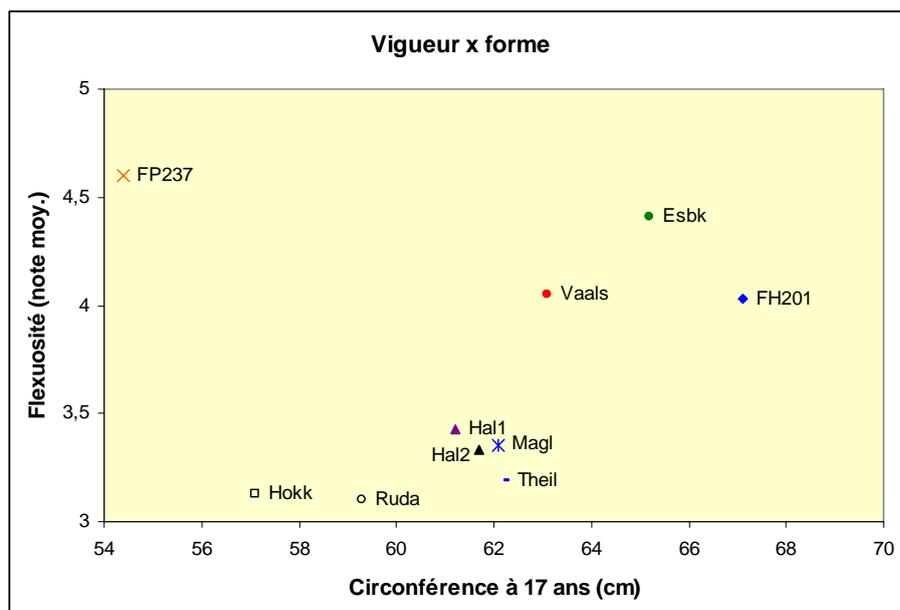
(2) notes 4+5

Les flexuosités s'estompent et deviennent de moins en moins perceptibles à mesure que les arbres croissent en diamètre. Les données révèlent néanmoins des différences entre, d'une part, Ruda, Hokkaïdo, le Theil, Halle, Maglehem qui sont flexueuses et, d'autre part, FP 237, Esbeek, FH201 et Vaals qui ont une très bonne rectitude. Ces quatre variétés hybrides se caractérisent également par une forte homogénéité pour ce caractère. On remarque par ailleurs qu'au niveau variété, la flexuosité est indépendante de la circonférence ($-0.06 < r < 0.26$ selon la provenance).

Les courbures basales, très marquées dans le jeune âge, s'atténuent également. Seul Hokkaïdo est réellement pénalisé par ce défaut.



Si l'on conjugue les caractères de vigueur et de forme, le constat fait avant éclaircie demeure d'actualité : FH 201 et Esbeek constituent le meilleur choix.



1.2- Dispositif d'Arleuf (Irstea) – Analyse des mesures de novembre 2011

Cet essai en grandes parcelles unitaires (64 individus/p.u. ; 4 blocs) a été installé au printemps 1996 dans le département de la Nièvre, à 750 m d'altitude. Les principales caractéristiques du site et du dispositif sont résumées dans le rapport de février 2009 (annexe 9 pp. 163-164). Il compare 4 variétés hybrides, le verger de mélèze d'Europe Sudètes du Theil et un témoin de mélèze du Japon de l'aire naturelle.

Code variété	Espèce	Verger d'origine	Pays
FH 201	<i>Larix x eurolepis</i>	Les Barres	F
FP 237		FP 237	DK
Magl		Maglehem	S
NT 20		Exeter	GB
Theil	<i>Larix decidua (Sudètes)</i>	Le Theil	F
Hokk	<i>Larix kaempferi</i>	Hokkaido (peuplement)	Japon

1.2.1- Bilan de l'éclaircie

L'éclaircie réalisée au printemps 2007 est mixte : systématique (élimination d'une des huit lignes de chaque parcelle unitaire (p.u.) pour faciliter la gestion ultérieure) et sélective sur le reste des p.u. Elle a éliminé 608 arbres (41% à 47% des arbres vivants selon la provenance). Après abattage, il subsiste en moyenne 125 individus par provenance, soit 49% de l'effectif planté. La densité de la plantation chute donc de 1667 à 815 arbres/ha.

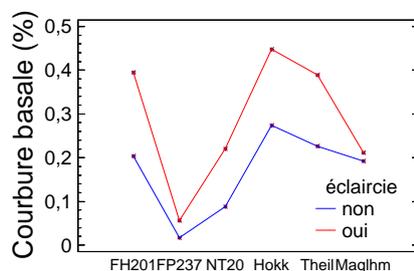
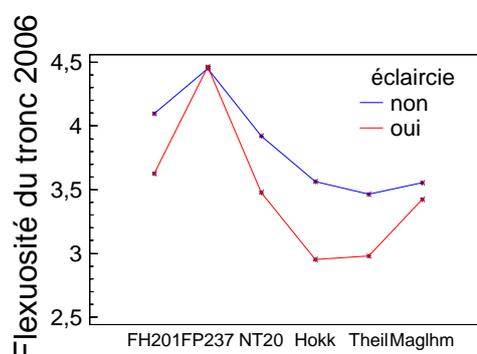
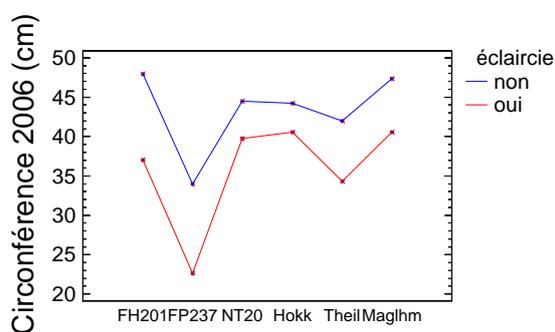
L'organisme expérimentateur n'ayant pas la maîtrise de l'abattage, on observe toujours un décalage entre l'éclaircie marquée (par Irstea) et effectivement réalisée sur le terrain (par le gestionnaire). Dans ce dispositif, l'écart est minime puisqu'on ne recense que 11 arbres oubliés lors de l'exploitation et 8 arbres abattus par erreur.

Variété	nb arbres éliminés (% arbres vivants)	nb arbres restants (% arbres plantés)	nb arbres vivants fin 2011
FH 201	108 (47%)	123 (48%)	123
FP 237	85 (41%)	123 (48%)	120
NT20	111 (47%)	125 (49%)	125
Magl	99 (44%)	126 (49%)	126
Theil	100 (44%)	126 (49%)	124
Hokk	105 (45%)	128 (50%)	128
Total	608 ind. (44,7%)	751 ind. (48,9%)	747 ind. (48,6%)

(1) populations subsistant après éclaircie

(2) populations éliminées

En l'absence de corrélations défavorables entre les caractères de vigueur et de forme, l'éclaircie a permis d'améliorer à la fois la circonférence moyenne et la rectitude du tronc (flexuosité et courbure basale).



1.2.2- Résultats : analyse globale

Caractères étudiés	Niveau de signification		
	effet provenance	effet bloc	interaction prov. x bloc
Circonférence 2011 (1)	***	(*)	NS
Accroissement en circ. 2006-2011 (1)	***	NS	NS
Flexuosité du tronc (1)	***	**	NS
% troncs droits (2)	***	*	n.a.
% arbres à courbure basale (2)	***	NS	n.a.

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

NS : non significatif

ANOVA effectuées sur les données individuelles (1) ou sur les moyennes par parcelle unitaire (2)

1.2.3- Etat sanitaire 2011

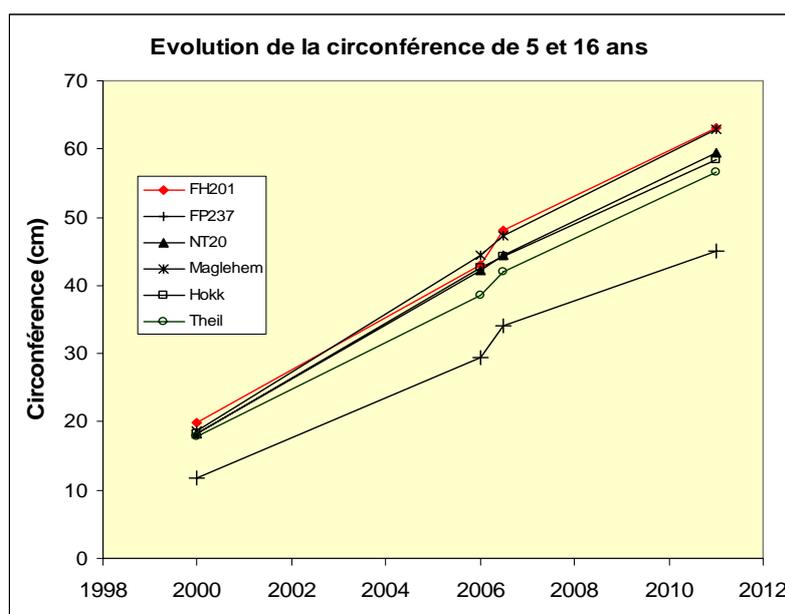
Quatre individus sont morts entre l'éclaircie et novembre 2011 (3 représentants de FP 237 et 1 du Theil). Ces arbres étaient de très petite taille (circonférence 2006 de 11 cm en moyenne alors que la moyenne s'établissait à 40 cm). De plus, on dénombre 6 individus chablis, arrachés ou couchés.

Les individus vivants sont dans un état sanitaire satisfaisant. Toutefois, la variété FP 237 comporte une forte proportion d'arbres à faible croissance qui sont dominés et souffrent de la concurrence. Au vu des résultats obtenus dans d'autres dispositifs contemporains (La Courtine et Brenod), il s'agit très vraisemblablement d'individus issus d'autofécondation.

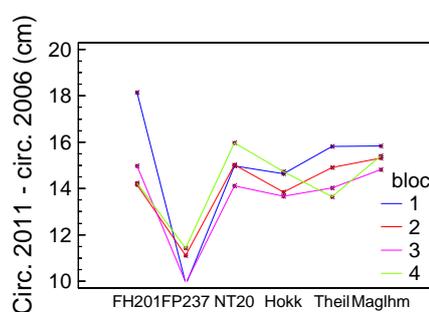
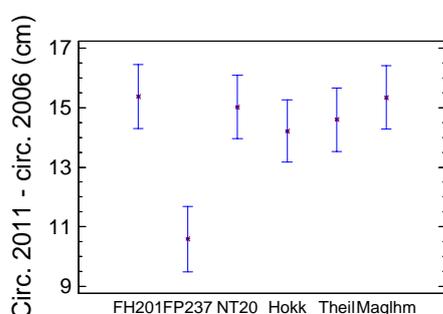
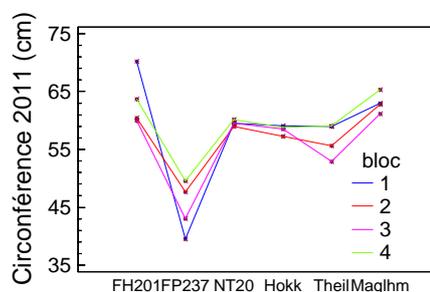
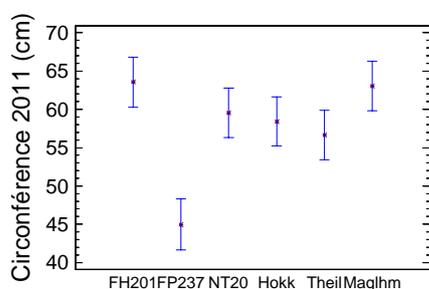
1.2.4- Croissance en circonférence

Variété	circonférence 2006 (cm)		circ. 2011 (cm)	accroissement 2006-2011 (cm)
	pops entières	pops non éclaircies		
FH 201	43.1 (c)	48.0	63.5 (c)	15.37 (b)
FP 237	29.4 (a)	34.1	45.0 (a)	10.58 (a)
NT20	42.3 (c)	44.5	59.5 (bc)	15.02 (b)
Magl	44.3 (c)	47.4	63.0 (bc)	15.35 (b)
Theil	38.6 (b)	41.9	56.7 (b)	14.60 (b)
Hokk	42.6 (c)	44.2	58.4 (bc)	14.22 (b)
Total			57,7 cm	14,2 cm

Les provenances se classent sensiblement de la même manière qu'avant l'éclaircie. Cependant, si FP 237 demeure très largement inférieure aux autres hybrides, le verger de mélèze d'Europe du Theil ne diffère plus significativement d'Hokkaido, NT20 et Maglehem.



Les interactions provenances x bloc ne sont significatives ni pour la circonférence 2011, ni pour l'accroissement en circonférence de 2006 à 2011. Néanmoins, les différences de performances entre blocs sont relativement importantes pour FH 201, FP 237 et Le Theil.



1.2.5- Forme

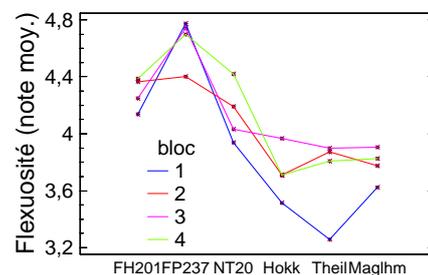
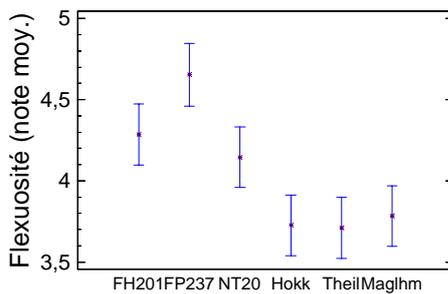
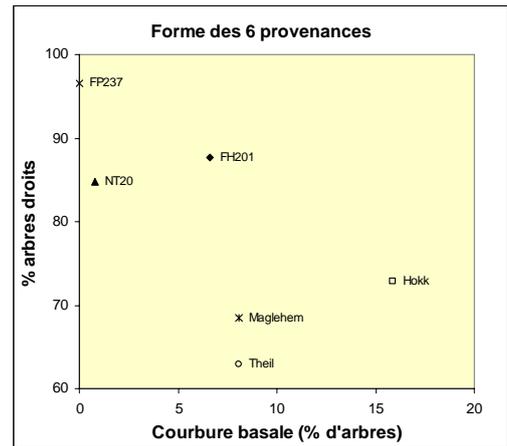
Variété	Flexuosité (1)		% arbres avec courbure basale
	note moy.	% arbres droits (2)	
FH 201	4.29 (b)	87.7 (cd)	6.6 (a)
FP 237	4.65 (c)	96.2 (d)	0 (a)
NT20	4.15 (b)	84.8 (bcd)	0.8 (a)
Magl	3.78 (a)	68.9 (ab)	8.1 (ab)
Theil	3.71 (a)	62.9 (a)	8.0 (ab)
Hokk	3.73 (a)	72.7 (abc)	15.9 (b)
Moyenne	4,05	78,9%	6,6%

(1) défaut caractérisé par une note de 0 (tronc très flexueux) à 5 (droit)

(2) notes 4+5

La variété FP 237 est nettement supérieure aux autres provenances, à la fois pour la rectitude du tronc et la courbure basale. Viennent ensuite NT20 et FH 201 qui sont elles-mêmes mieux conformées que les témoins d'espèces pures Hokkaïdo et Le Theil, mais aussi que la variété hybride Maglehem.

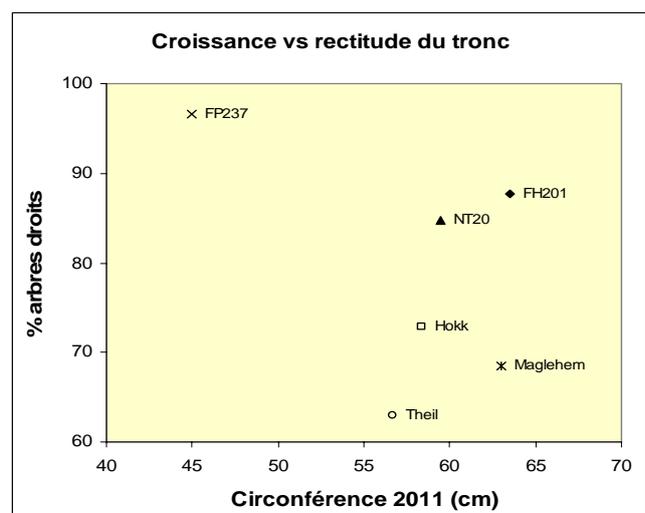
D'autre part, on observe une augmentation de la flexuosité du haut (bloc 1) vers le bas de la parcelle (bloc 4), sans que cela soit lié à un gradient de vigueur.



Les relations entre la circonférence et les caractères de forme ne sont significatives dans aucune provenance (coefficients de corrélation compris entre -0.10 et -0.01 pour la flexuosité du tronc). D'autre part, on note une légère amélioration de la forme entre 2006 et 2011 (régression des notes 3 au bénéfice de la note 5). Des défauts peu marqués s'estompent donc du fait de la croissance en diamètre mais ils n'en restent pas moins présents dans le bois.

Bilan après éclaircie

La conclusion tirée des mesures avant éclaircie reste d'actualité : FH 201 constitue le meilleur compromis vigueur x forme. Néanmoins, sa supériorité pour la croissance en diamètre est beaucoup moins nette que dans d'autres essais.



2- Hybrides F2 : évaluation du verger d'hybridation F1/F2 de Carnoët

Trente-cinq descendances (sur 54) récoltées en 2009 dans le verger brouillon d'hybridation F2 en FD de Carnoët et semées en 2011 à la pépinière INRA d'Orléans ont été repiquées et élevées à la pépinière de Peyrat-Le-Château pour une année avec quelques témoins.

Après une année d'élevage, des 3637 plants repiqués, 3157 plants étaient vivants fin 2012 et 2798 considérés comme plantables (taille suffisante). La perte de plants (23% des plants !) n'est pas expliquée mais nous observons depuis quelques années dans la pépinière de Peyrat une très forte hétérogénéité de croissance dans les parcelles de repiquage et à l'intérieur même des parcelles unitaires du dispositif, qui semble être d'ordre sanitaire (mais pas de conclusion du DSF).

Durant l'hiver 2012-2013, les plants ont été mesurés (survie, hauteur totale), puis arrachés et mis en dispositif.

Deux sites de plantation ont finalement été retenus : l'un dans les Ardennes (FD de Francois-Bryas), l'autre en Normandie en forêt privée (Carrouges, 61). Ils seront associés d'une part à un test de descendances de mélèze hybride F1 et d'autre part à une parcelle de démonstration de REVE-VERT issu de bouturage bulk.

Les caractéristiques de ces dispositifs sont données ci-dessous :

	Normandie		Ardennes	
	Familles F1	Carnoët	Familles F1	Carnoët
Nbre géotypes	51	43	36	38
Schéma expérimental	BAI	BAI	BAI	BAI
Nbre de blocs	48	52	35	44
Type pu	1 (monoarbre)	1	1	1
Nbre pu/bloc	29-30	34-35	24-25	24-25
Nbre total plants dispositif	1430	1800	868	1099
Cloisonnement (Theil)	250	350	150	200
Bordures	392		-	-
Ecartement souhaité	3 x 3 m		3 x 3 m	
Autre : démonstration (REVE-VERT)	100		Reste (+ /-200 plants ?)	

Divers témoins ont été ajoutés dont :

Mélèze du Japon (1 provenance) ; mélèze d'Europe (VG Theil, Vitkov) ; hybrides F1 (Lavercantière, REVE-VERT-bulk) ; hybrides F2 (Les Barres & Ciergnon).

La plantation est planifiée pour la fin de l'hiver 2012/13.

IMPACT DE LA PURETE SPECIFIQUE DES MFR DE MELEZE HYBRIDE SUR LES PERFORMANCES DES VARIETES EN PLANTATION

Specific purity of hybrid larch FRM: how much does it matter? (G. Philippe, S. Matz, C. Buret, L.E. Pâques – Egilsstadir, 11-14 sept. 2012)

Cette étude, non prévue dans le programme de travail initial, a été réalisée à l'occasion du colloque "Larix 2012 : Larch in a warm climate" qui s'est tenu à Egilsstadir (Islande), en septembre 2012. Elle fait la synthèse des connaissances acquises dans deux tests d'évaluation de variétés hybrides (La Courtine, Brenod), après détermination taxonomique des représentants des variétés testées. Certains résultats ont été présentés dans les rapports d'activité 2009 (pp. 100-113) et 2011 (pp. 128-140) mais d'autres sont inédits puisqu'ils résultent des dernières mesures de Brenod.

1- Contexte

Depuis leur découverte à Dunkeld (Ecosse) en 1885, les hybrides interspécifiques entre mélèzes d'Europe et du Japon ont suscité beaucoup d'enthousiasme dans la communauté des forestiers et, plus tard, des améliorateurs. Des programmes d'amélioration se sont développés dans plusieurs pays, suivis par l'installation de vergers à graines. Ces vergers ne sont pas tous bâtis sur le même modèle. Ils diffèrent de par :

- le nombre de géotypes utilisés comme males et femelles : de un à plusieurs dizaines
- l'espèce sur laquelle les cônes sont récoltés : mélèze d'Europe ME, mélèze du Japon MJ et parfois les deux espèces
- le design du verger : les clones de ME et MJ peuvent être intimement mélangés, plantés en lignes alternées ou installés dans des unités géographiquement distinctes
- la pollinisation : naturelle dans tous les vergers sauf dans le verger français de Lavercantière où la production de graines hybrides nécessite une supplémentation pollinique.

Ces vergers favorisent les croisements interspécifiques et la production de graines hybrides. Cependant, la proximité d'individus de la même espèce rend également possibles les croisements intraspécifiques, entre ramets de clones différents, ramets du même clone ou au sein du même individu. Dans les vergers constitués d'un seul clone maternel, les croisements intraspécifiques sont restreints à l'autofécondation, si tant est que ces vergers soient bien isolés des flux polliniques extérieurs.

Les récoltes des vergers d'hybridation sont donc généralement composées i) d'un mélange de graines hybrides produites intra-verger, ii) de graines d'espèces pures résultant de croisements entre clones différents et/ou d'autofécondation, et éventuellement iii) de graines issues de contamination pollinique, qui peuvent être d'espèce pures ou hybrides.

La proportion de graines hybrides dépend en théorie de plusieurs facteurs :

- le nombre de clones maternels : en raison des barrières physiologiques développées contre l'autofécondation, les graines d'espèces pures ont une plus grande probabilité de se former lors de croisements interclonaux
- les contributions respectives du ME et du MJ au nuage de pollen
- le niveau de synchronisation des floraisons des deux espèces.

Les caractères reproducteurs sont liés à des facteurs génétiques (aptitude à la floraison, à l'autofécondation, phénologie), climatiques (durant l'initiation florale, la levée de dormance) et au mode de gestion du verger (mise en œuvre ou non de la pollinisation artificielle). Le taux d'hybrides variera donc d'un verger à l'autre mais aussi, pour un verger donné, d'une année sur l'autre.

Pendant longtemps, la pureté spécifique n'a pu être quantifiée car la distinction des hybrides à l'œil nu est impossible pour les graines et difficile dans le cas des plants. Une étape a été franchie dans les années 1990 grâce aux marqueurs isozymes mais ces derniers n'étaient pas adaptés à toutes les configurations de verger (Bergmann et Ruetz 1987, Häcker et Bergmann 1991, Ennos et Tang Quian 1994). Ils sont à présent remplacés par des marqueurs développés par l'INRA, basés sur l'ADN mitochondrial et chloroplastique, qui permettent de déterminer l'espèce des deux parents (Acheré *et al.*, 2004). Les nombreuses analyses effectuées à l'aide de ces marqueurs ont mis en évidence d'énormes variations du taux d'hybrides, de moins de 10% à plus de 90% (Pâques *et al.*, 2006).

2- Objectifs - démarche

Compte tenu de ces fluctuations, il est important d'étudier l'impact de la pureté spécifique des MFR de mélèze hybride sur la productivité et la qualité des peuplements qui en résultent. Trois questions se posent en particulier :

- dans quelle mesure les hybrides sont-ils supérieurs aux individus d'espèces pures ?
- existe-t-il un seuil au-dessous duquel le taux d'hybrides ne doit pas descendre pour assurer une production convenable ?
- la pureté spécifique revêt-elle la même importance pour tous les types de verger ?

Pour répondre à ces questions, nous avons déterminé le taxon d'arbres inclus dans deux tests d'évaluation de variétés, ce qui permet de comparer les performances des hybrides et espèces pures de chaque variété et d'estimer l'évolution du pourcentage d'hybrides après éclaircies.

Dans une seconde partie, nous aborderons les difficultés engendrées par la variabilité du taux d'hybrides des MFR mis en comparaison dans le cadre de l'évaluation des vergers à graines.

3- Matériels et méthodes

3.1- Variétés étudiées

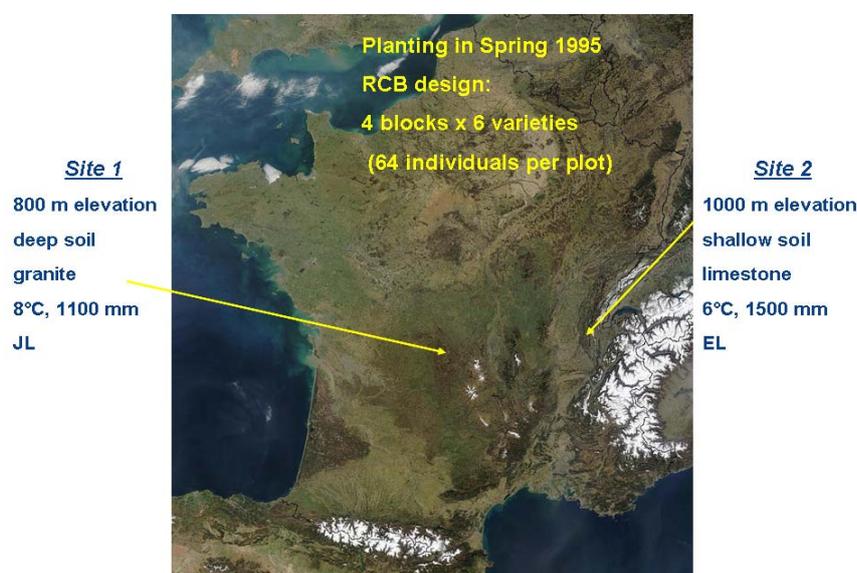
Les essais supports de cette étude comparent 6 variétés comportant un ou plusieurs clones de l'espèce maternelle qui est, selon les cas, le ME, le MJ ou les deux espèces. Les graines sont produites par pollinisation naturelle sauf pour le verger des Barres (FH201) qui fait l'objet de suppléments polliniques. Le verger de Halle est représenté par deux récoltes (1980 et 1983).

Variété	verger	année de plantation	pays	espèce mère	nb clones (ME/MJ)
Halle	Halle	1959	B	MJ (et parfois ME)	<u>15/15</u>
FP 237	Grund	1978	DK	ME	<u>1/17</u>
FH 201	Les Barres	1976	F	ME	<u>1/FS</u>

Vaals	Vaals-01	1969	NL	ME	<u>1</u> /26
Esbeek	Esbeek-01	1971	NL	ME	<u>1</u> /4
Maglehem	51 Maglehem	1956	S	MJ	8/ <u>1</u>

3.2- Les essais

Les deux tests d'évaluation étudiés ont été plantés en 1995 à moyenne altitude, dans des stations favorables à la croissance du mélèze. Le premier (La Courtine, Creuse) est caractérisé par un climat océanique qui convient bien au MJ tandis que le second (Brenod, Ain), implanté sur roche mère calcaire dans un site plus continental, est plus favorable au ME. Ces deux essais jumeaux sont constitués de 24 grandes parcelles unitaires (64 individus à la plantation x 6 variétés x 4 blocs).



Les éclaircies réalisées au printemps 2005 (La Courtine) et durant l'été 2009 (Brenod) ont réduit la densité d'environ 45%. Elles sont mixtes dans le sens où elles allient une composante systématique (élimination d'une ligne par parcelle unitaire pour faciliter la mécanisation de l'exploitation) et une composante sélective (suppression d'environ le tiers des arbres dans les lignes restantes sur des critères de vigueur, de forme et de répartition sur le terrain).

	Densité (arbres/ha)		
	plantation	avant éclaircie	après éclaircie
La Courtine	1667	1610	940
Brenod	1667	1440	790

Les arbres ont été mesurés à deux reprises avant éclaircie et une nouvelle fois après (6, 10, 16 ans après plantation à La Courtine et 6, 13, 17 ans à Brenod). Ont été pris en compte des caractères d'adaptation (survie, état sanitaire), de croissance (circonférence et hauteur à 6 ans) et de forme (rectitude du tronc, courbure basale).

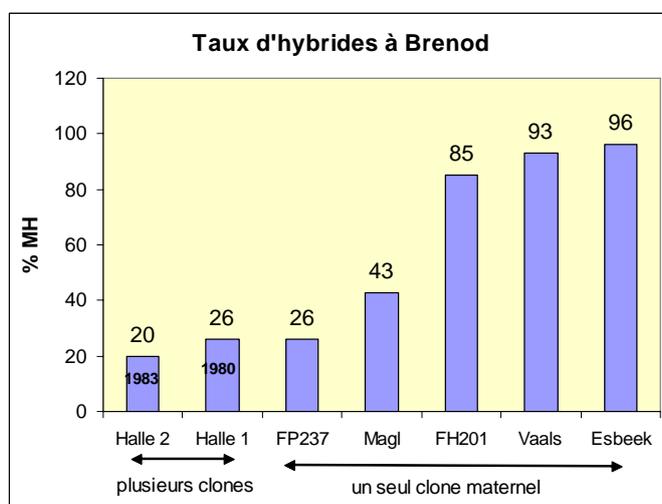
3.3- Détermination taxonomique

L'identification a été réalisée à partir de bourgeons collectés avant éclaircie (10 ou 14 ans après plantation) dans deux blocs par site, et en utilisant des marqueurs de l'ADN cytoplasmique. Ces déterminations concernaient 4 variétés à La Courtine (Halle, FH201, Esbeek, Maglehem) et les 6 variétés à Brenod.

4- Résultats

4.1- Taux d'hybrides des variétés étudiées

Le pourcentage d'individus hybrides varie beaucoup en fonction de la variété, de 20% à 96% à Brenod, de 12% à 90% à La Courtine. Les descendances de Halle, verger comprenant plusieurs clones mères, se caractérisent par de faibles taux d'hybrides, mais c'est également le cas pour FP 237 et, dans une moindre mesure, Maglehem dont les graines sont récoltées sur un seul clone. Ces résultats ne permettent donc pas d'accréditer l'hypothèse selon laquelle l'unicité du clone maternel constitue une garantie de hauts niveaux de pureté spécifique. Notons toutefois que l'origine des individus d'espèces pures (autofécondation ou contamination pollinique) ne peut être déterminée avec les marqueurs utilisés.

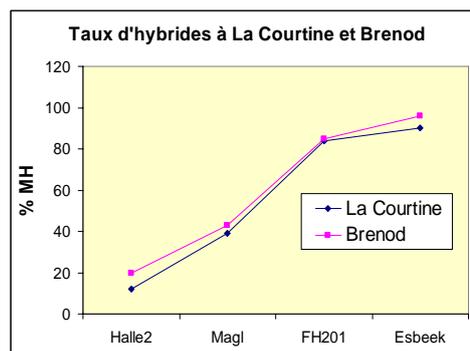


4.2- Comparaison des individus hybrides et d'espèces pures

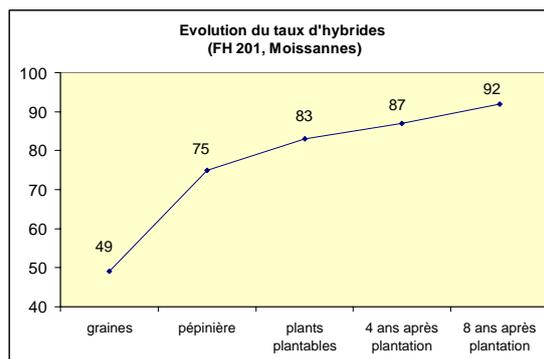
4.2.1- Adaptation

Les hybrides ne diffèrent pas des espèces pures pour la survie et l'état sanitaire. Il ne pouvait en être autrement car les dispositifs n'ont pas rencontré de problème sanitaire sérieux depuis la détermination taxonomique (effectuée juste avant l'éclaircie, donc à un âge relativement avancé).

Cependant, bien que les essais aient été plantés avec le même matériel, la proportion d'hybrides est légèrement plus élevée à Brenod, où 15% des arbres étaient morts avant identification taxonomique, qu'à La Courtine où les pertes étaient très faibles (4%). Cela suggère que la mortalité juvénile était plus prononcée dans les populations d'espèces pures que chez les hybrides.

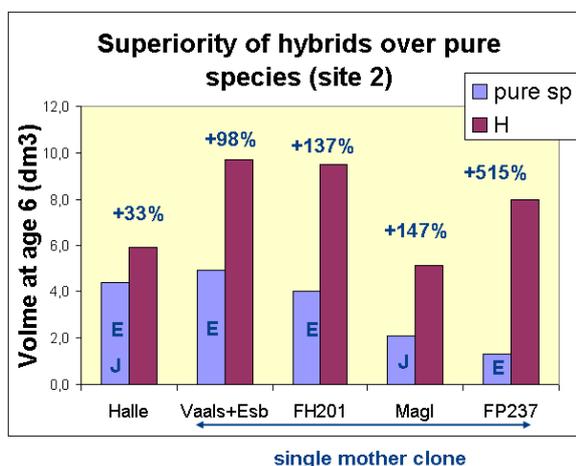


Cette hypothèse est en accord avec les résultats d'un autre essai (Moissannes), dans lequel les ME de la variété FH 201 ont un taux de survie très inférieur à celui des hybrides 8 ans après plantation (38% *versus* 86%). Par ailleurs, il est intéressant de constater que le taux d'hybrides augmente continuellement au cours du temps, du lot de graines au lot de plants et ensuite sur le terrain. Cette évolution est cohérente avec le fait que les graines autofécondées germent mal et produisent des semis peu viables et peu vigoureux.

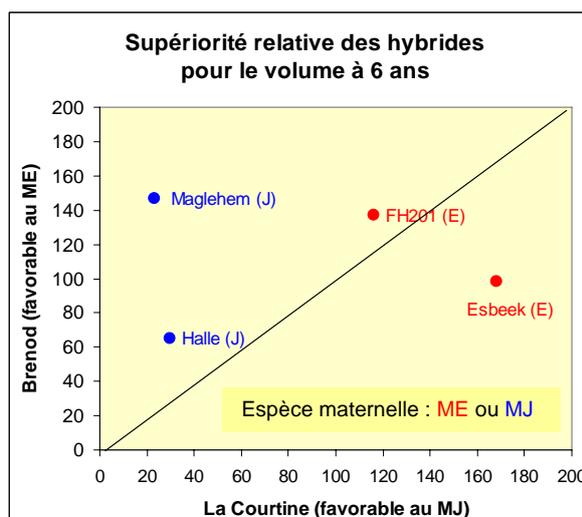


4.2.2- Croissance juvénile

Quels que soient la variété et le site, les hybrides présentent une plus forte croissance en hauteur et diamètre que les individus d'espèces pures. A 6 ans, c'est-à-dire à un âge où la concurrence est négligeable, leur volume est en moyenne plus du double de celui des espèces pures. Cependant, le degré de supériorité des hybrides varie énormément d'une variété à l'autre - de 33% (Halle) à 515% (FP 237) – et on constate que les plus grandes différences de production entre hybrides et espèces pures se retrouvent dans les populations issues de vergers contenant un seul clone maternel.



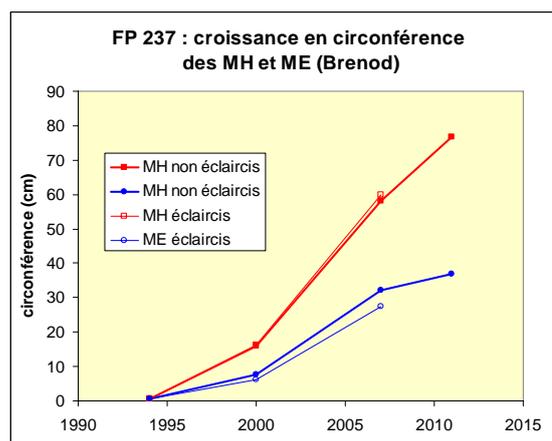
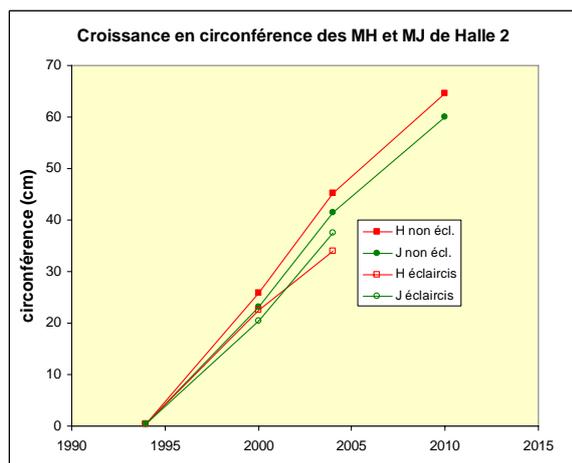
D'autre part, si l'on compare les quatre variétés communes aux tests de La Courtine et Brenod, on s'aperçoit que la supériorité relative des hybrides tend à être plus faible lorsque l'espèce utilisée comme mère est adaptée au site. Ce résultat est logique mais il nécessite néanmoins confirmation avec un ensemble de variétés plus étoffé.



En définitive, les hybrides sont toujours plus vigoureux que les espèces pures dans le jeune âge et leur supériorité semble pouvoir s'expliquer par deux facteurs : le nombre de clones maternels et l'adaptation de l'espèce mère au site de plantation.

4.2.3- Croissance ultérieure

Entre 6 ans et 16-17 ans, les hybrides demeurent plus vigoureux que les espèces pures. Cependant, le différentiel de croissance augmente ou se réduit selon les variétés. A La Courtine par exemple, les hybrides de Halle poussent un peu plus vite que les MJ mais l'écart relatif se réduit. Au contraire, la différence s'accroît considérablement pour FP 237 à Brenod. Il est cependant important de souligner qu'à ces âges la croissance observée est la résultante du potentiel de croissance des populations concernées et de la concurrence entre arbres.



4.2.4- Caractères de forme

Les hybrides sont plus trapus que les espèces pures dans la plupart des variétés. Ils sont aussi un peu moins droits en moyenne, particulièrement dans le jeune âge, mais les différences sont rarement significatives.

4.3- Impact des éclaircies sur la pureté spécifique

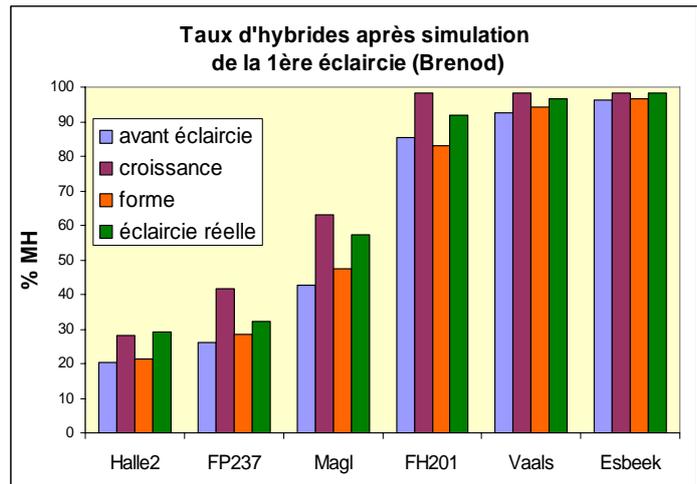
4.3.1- Première éclaircie

Les simulations d'éclaircie ont sans doute plus de sens que les résultats tirés des véritables éclaircies du fait de leur nature mixte (à la fois sélective et systématique). C'est particulièrement vrai à Brenod où, de surcroît, les consignes n'ont pas été suivies scrupuleusement par l'exploitant forestier. Nous avons donc simulé des éclaircies, basées sur la vigueur ou la forme, en nous appuyant sur les données de La Courtine et Brenod. Les résultats étant très similaires, nous ne présentons que ceux du test de Brenod, dans lequel toutes les variétés sont représentées. Tout comme l'éclaircie réelle, l'éclaircie simulée abaisse la densité de 1440 arbres/ha à 800 arbres/ha.

Lorsque l'éclaircie privilégie la vigueur, toutes les parcelles s'enrichissent en hybrides. Le pourcentage d'hybrides devient très proche de 100% pour FH201, Vaals et Esbeek. En revanche, l'augmentation est faible pour Halle (de 20% à 28%) car les hybrides de cette variété diffèrent peu des espèces pures (différentiel de 9% pour la circonférence avant éclaircie). En ce qui concerne FP 237 et Maglehem, dont les hybrides sont très supérieurs aux espèces pures (différentiels de 100% et 33% respectivement), l'amélioration du taux

d'hybrides est limitée par la petite taille de la population hybride. Pour FP 237, par exemple, tous les hybrides ont été conservés mais ils ne représentent que 42% de la population totale après éclaircie.

En revanche, le taux d'hybrides évolue peu lorsque les arbres sont sélectionnés sur la rectitude du tronc. Comme la croissance et la forme ne sont pas significativement corrélées, une éclaircie sélective basée sur ces deux caractères aboutirait à un enrichissement en hybrides intermédiaire. Et c'est effectivement conforme aux résultats du terrain.

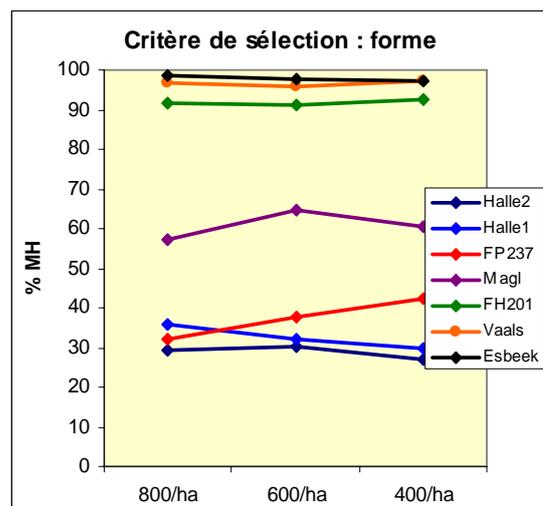
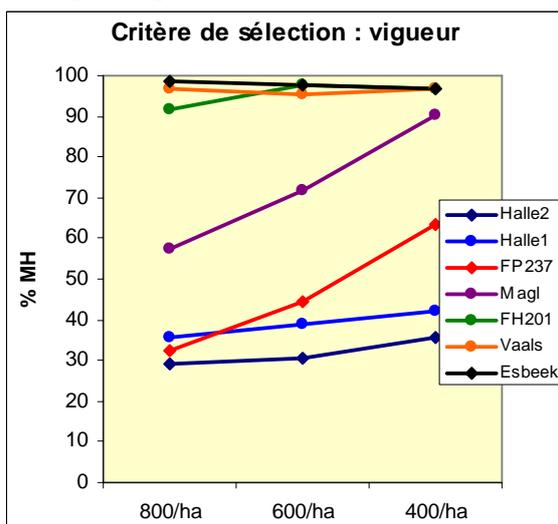


4.3.2- Simulation d'une 2^{ème} et 3^{ème} éclaircie

Des éclaircies ultérieures, abaissant la densité à 600 puis 400 tiges/ha, ont été simulées en posant l'hypothèse que le classement des individus reste inchangé. D'autre part, ces simulations ne prennent pas en compte les contraintes de répartition des tiges sur le terrain.

La sélection des individus les plus vigoureux entraîne évidemment peu de changements pour les variétés qui avaient presque atteint 100% de pureté spécifique et, pour la même raison que précédemment, Halle. Au contraire, la proportion d'hybrides augmente de façon drastique dans les parcelles représentant FP 237 et Maglehem. Elle demeure néanmoins très inférieure à 100% pour FP 237 (63%), faute d'un "réservoir d'hybrides" suffisant.

D'autre part, des éclaircies privilégiant la forme ne produisent que des effets limités sur la pureté spécifique.



4.4- Conséquences pour le propriétaire forestier

Du point de vue sylvicole, l'impact du taux d'hybrides des MFR dépend de la stratégie du propriétaire et de la variété.

Un objectif "forme" s'accommodera en théorie de n'importe quel taux d'hybrides. Cependant, le choix d'une variété hybride ne se justifie pas. Compte tenu du coût de ces variétés, mieux vaut opter pour une provenance classique de mélèze d'Europe ou du Japon.

En revanche, la pureté spécifique est de première importance pour la production de bois. Son impact varie cependant en fonction de la variété cultivée :

- Quand les hybrides diffèrent peu des espèces pures, la perte de production liée à l'utilisation de MFR pauvres en hybrides reste modérée. Dans notre étude, cela correspond à des variétés récoltées sur plusieurs clones d'une espèce adaptée au site de plantation.

- Pour les variétés dont les hybrides se développent beaucoup plus vite que les individus d'espèces pures, *i.e.* celles produites dans des vergers constitués d'un seul clone appartenant à une espèce mal adaptée à la station, le risque est potentiellement très élevé. Toutefois, les conséquences sont probablement négligeables si les MFR ont une pureté spécifique supérieure à 60-70% car, dans ce cas, la plupart des arbres d'espèces pures seront éliminés à la première éclaircie qui n'a pas ou peu de valeur commerciale. Néanmoins, le propriétaire doit être conscient du fait qu'un faible taux d'hybrides signifie moins de possibilités de compensation en cas de mortalité ou de dégâts (insectes, gibier, gel, ...) et aussi moins de latitude pour le choix des arbres au moment des éclaircies.

Enfin, un objectif de production de biomasse nécessitera une pureté spécifique aussi élevée que possible.

4.5- Conséquences pour l'évaluation des vergers

Dans les tests comparant les vergers à graines, leurs produits (variétés hybrides) sont généralement représentés par une seule récolte dont la pureté spécifique est souvent inconnue. Or, nous avons vu, d'une part, que le taux d'hybrides d'une variété est susceptible de varier d'une année sur l'autre, en fonction de l'abondance de la floraison des clones parents (et de l'importance de la contamination pollinique) et, d'autre part, que les performances des hybrides et des espèces pures diffèrent parfois de façon importante. Il est donc légitime de s'interroger sur la fiabilité du classement obtenu dans les tests d'évaluation, et donc sur la validité des recommandations faites aux propriétaires forestiers. Pour cela, nous avons comparé les variétés d'après les performances des populations entières ou restreintes aux seuls hybrides (valeur intrinsèque).

Deux cas de figure seront envisagés : de jeunes tests d'évaluation (6 ans) puis des tests plus âgés dans lesquels la compétition est susceptible de générer un biais supplémentaire.

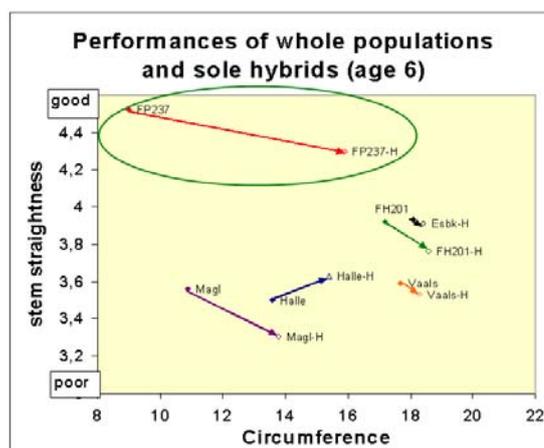
4.5.1- Jeunes tests

A La Courtine, qu'on s'intéresse aux populations globales ou aux seuls hybrides, le classement des variétés diffère peu pour la croissance et la forme. Cependant, dans ce dispositif, les taxons n'ont été déterminés que dans deux sortes de variétés :

- des variétés caractérisées par un fort différentiel de croissance entre hybrides et espèces pures mais dans lesquelles le pourcentage d'espèces pures est faible (FH 201 et Esbeek)
- des variétés ayant un faible taux d'hybrides mais ce facteur est compensé par le fait qu'hybrides et espèces pures diffèrent peu (Halle et Maglehem).



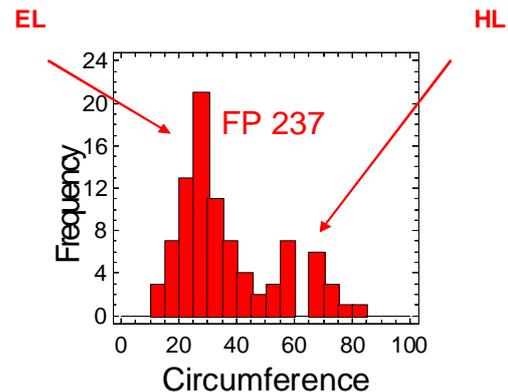
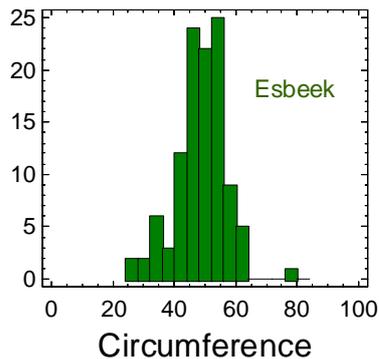
Dans le dispositif de Brenod, qui inclut FP 237, caractérisée à la fois par un faible pourcentage d'hybrides et une très large supériorité des hybrides pour la vigueur, la situation est tout autre. Les représentants de FP 237 sont, certes, très peu vigoureux mais ses hybrides font presque jeu égal avec les hybrides des meilleures variétés. La faible croissance observée à Brenod, et probablement à La Courtine, n'est donc pas une caractéristique intrinsèque de la variété FP 237 ; elle est simplement due au faible taux d'hybrides du lot de graines utilisé dans ces essais.



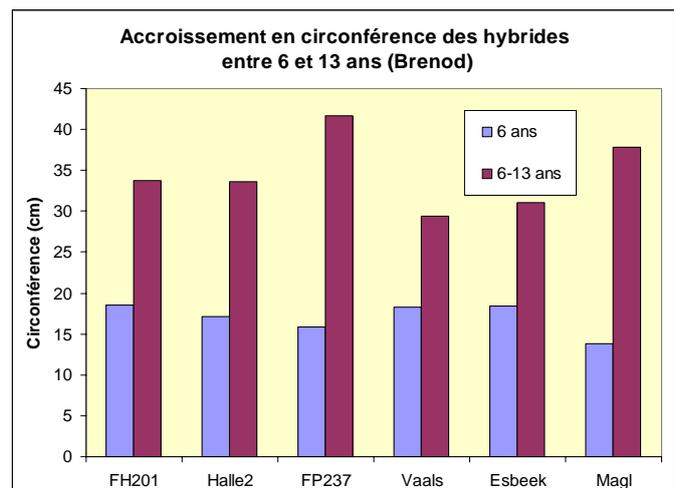
Ces résultats soulèvent une question capitale : n'avons-nous pas commis une erreur en déconseillant l'utilisation de cette variété ? Plus généralement, doit-on baser les conseils d'utilisation sur la "valeur observée" dans les tests ou, quand elle est connue mais c'est rare, sur la "valeur intrinsèque" ? Ces deux paramètres présentent des inconvénients. Un lot de graines/plants peut être atypique et il serait risqué d'asseoir un jugement sur ses performances mais, par ailleurs, la valeur intrinsèque représente un potentiel qui peut ne jamais être atteint dans certains vergers. C'est le cas de Halle, par exemple, pour lequel le taux d'hybrides s'est toujours révélé inférieur à 50%. Pour être fiables, les recommandations devraient donc être faites d'après le comportement au champ de MFR aussi proches que possible de ceux disponibles dans le commerce. Cela suppose de connaître, pour chaque verger, les variations interannuelles de la pureté spécifique des récoltes ... ou de ne commercialiser que des MFR dotés d'une pureté spécifique élevée, ce qui permettrait d'assimiler valeurs observée et intrinsèque. Une alternative consisterait à inclure dans les tests comparatifs des mélanges de récoltes, plutôt que des récoltes individualisées. On jugerait de la sorte la "valeur moyenne" des MFR produits par les vergers que l'on souhaite évaluer.

4.5.2- Impact de la concurrence dans les tests plus âgés

L'interprétation des données collectées dans les tests d'évaluation est parfois compliquée par l'entrée en compétition des arbres lorsqu'ils vieillissent. Cette concurrence, qui conditionne fortement la croissance, est en effet plus ou moins prononcée selon le degré d'homogénéité des populations représentant les variétés. Ainsi, les hybrides d'Esbeek, entourés d'arbres de taille similaire, sont désavantagés par rapport aux rares hybrides de FP 237, qui dominent la population de ME vraisemblablement issue d'autofécondation, et qui se trouvent presque dans une situation de croissance libre.



Cette concurrence, d'intensité variable selon la variété, est susceptible d'occasionner des erreurs d'interprétation. A Brenod par exemple, le classement des hybrides a subi des remaniements inattendus entre 6 ans et 13 ans. FP 237 et, dans une moindre mesure, Maglehem enregistrent les plus fortes croissances radiales alors qu'elles étaient les moins vigoureuses à 6 ans. Dans ce changement de hiérarchie, il est malheureusement impossible de dissocier l'effet de la concurrence de la part génétique, si tant est qu'elle existe.



Conclusion

1- Les variétés étudiées présentent des niveaux de pureté spécifique extrêmement variables. Le bien-fondé de la commercialisation, en tant que "mélèze hybride", des MFR de Halle, Maglehem et FP 237 est très discutable. Cette variabilité doit questionner les gestionnaires de vergers et les législateurs. Il serait raisonnable i) de s'abstenir de récolter les cônes dans les années à risque et ii) de fixer un taux d'hybrides minimal pour la commercialisation en Europe. La pureté spécifique devra être déterminée selon une ou des méthode(s) reconnue(s).

2- Les hybrides sont toujours plus vigoureux que les espèces pures mais leur supériorité dépend de la variété. Elle semble être liée au nombre de clones de l'espèce maternelle du verger et à l'adaptation de l'espèce mère au site de plantation.

3- Le pourcentage d'hybrides augmente au fil des éclaircies mais il n'atteindra pas (ou très lentement) 100% si la pureté spécifique des MFR est faible et cela pourra se traduire par de sérieuses pertes de revenus pour certaines variétés. Le risque semble maximal dans le cas de vergers ne comportant qu'un seul clone d'une espèce mal adaptée à la station. Dans une telle situation, le propriétaire devra s'approvisionner en MFR ayant au moins 60-70% de pureté spécifique.

4- Pour qu'ils puissent contribuer efficacement à la production de conseils d'utilisation, les tests d'évaluation de vergers/variétés devront réunir des populations représentatives des MFR disponibles dans le commerce, notamment en termes de pureté spécifique. Cela implique de connaître, pour chaque verger, l'étendue des variations annuelles du taux d'hybrides. Il est donc recommandé i) de créer une base de données européenne indiquant la pureté spécifique de chaque récolte de verger et/ou ii) de représenter les variétés par des lots de graines ou plants issus de plusieurs récoltes afin de tamponner l'effet année.

DISCRIMINATION DES ESPECES PAR UN MODELE DE PREDICTION PROCHE INFRA ROUGE SUR AIGUILLIES DE MELEZE

Responsable : INRA : Vincent Ségura, Kévin Ader, Jean-Paul Charpentier, Luc Pâques

1- Matériel et méthodes

1.1- Matériel 2012

156 arbres répartis entre 67 mélèzes d'Europe (29 origines différentes des Sudètes, Centre Pologne et Alpes), 56 mélèzes du Japon (au moins 16 origines différentes) et 33 mélèzes hybrides.

Prélèvement d'aiguilles en 5 jours du 25 juin au 16 juillet 2012 à la pépinière de l'INRA à Orléans en parcs à clones. Les feuilles ont été lyophilisées puis broyées très finement au broyeur à billes.

1.2- Méthodes de prise de spectres

Les spectres Proche Infra Rouge (PIR) ont été pris selon deux méthodologies :

- dans un vial en verre contenant environ 2 gr de poudre, 64 scans ont été pris pour obtenir le spectre
- dans une coupelle en quartz contenant 15 gr de poudre avec un portoir rotatif, 64 scans ont été pris pour obtenir le spectre le temps de la rotation

1.3- Traitement des spectres PIR

La gamme de longueur d'ondes du spectre a été limitée entre 4000 et 8000 cm^{-1} .

8 modalités de prétraitements des spectres ont été utilisées puis comparées : données spectrales brutes, normalisation, dérivée 1^{ère}, dérivée 2^{nde} et des combinaisons des 3 derniers traitements.

Nous avons testé deux nouvelles méthodologies statistiques pour analyser les données spectrales et établir des modèles de prédiction, à savoir l'Analyse Discriminante sur les axes d'ACP (AD-CP) et l'algorithme Partial Least Square Discriminante (PLS-DA). Nous n'avons pas utilisé la sélection de bandes donc le spectre total obtenu sur chaque échantillon a été pris en compte. Les modèles sont validés par validations croisées selon la méthodologie suivante (dite Monte Carlo), l'échantillonnage est partagé aléatoirement en 4 lots ($k = 4$) et le tirage est réitéré 100 fois. La robustesse du modèle est qualifiée par la précision de la prédiction.

2- Résultats

Seuls les spectres obtenus avec les vials ont été analysés et les résultats présentés ici.

Sur la figure 1 illustrant l'analyse en composante principale (ACP), représentée sur les 2 premiers axes, des groupes de spectres avec (normalisation : norm, dérivée 1^{ère} : der1, dérivée 2^{nde} : der2) ou sans (raw) pré-traitements, nous pouvons voir que les trois espèces de mélèze (Japon, Europe et hybrides) peuvent être discriminées par leurs spectres PIR. Le traitement des spectres avec dérivée 2^{nde} permet une séparation encore meilleure des groupes.

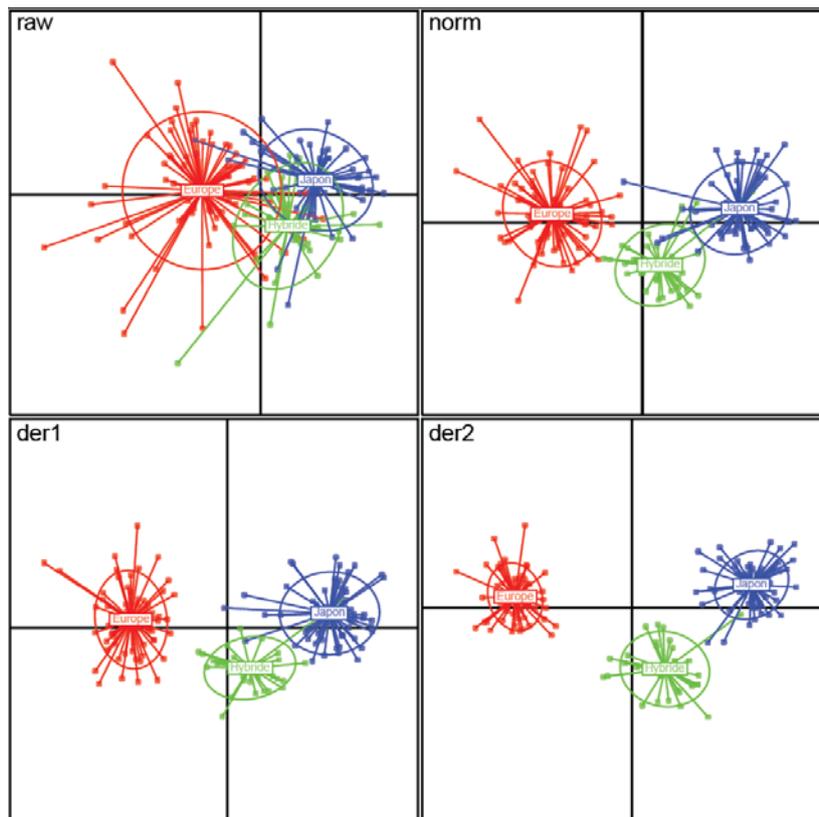


Figure 1 : ACP (2 premiers axes) montrant les groupes des 3 espèces de mélèze séparés par leurs variations spectrales Proche Infra Rouge avec ou sans traitement des spectres. (Rouge : mélèze Europe ; bleu : mélèze Japon ; vert : mélèze hybride)

2.1- Modèles de prédiction construits avec la méthodologie AD-CP : (Figure 2)

Avec cette méthode, nous arrivons à prédire l'appartenance à une espèce avec une précision de 73 % (sans traitement des spectres) à 96 % (traitement avec dérivé 1).

Dès que l'on pratique un traitement des spectres quel qu'il soit, nous avons une précision minimum du modèle de prédiction de 92 % ; ainsi le prétraitement des spectres est obligatoire pour avoir une bonne précision de la prédiction.

Pour la prédiction, l'appartenance à l'espèce mélèze d'Europe est sans aucun doute, pour les Hybrides et les mélèzes du Japon quelques mélanges (pour 2 échantillons dans notre échantillonnage) sont possibles.

La précision par espèce est la meilleure pour les mélèzes d'Europe (86 à 100% selon les traitements) et pour les mélèzes du Japon (91 à 93%). Les hybrides sont les plus difficiles à prédire (82 à 92 %).

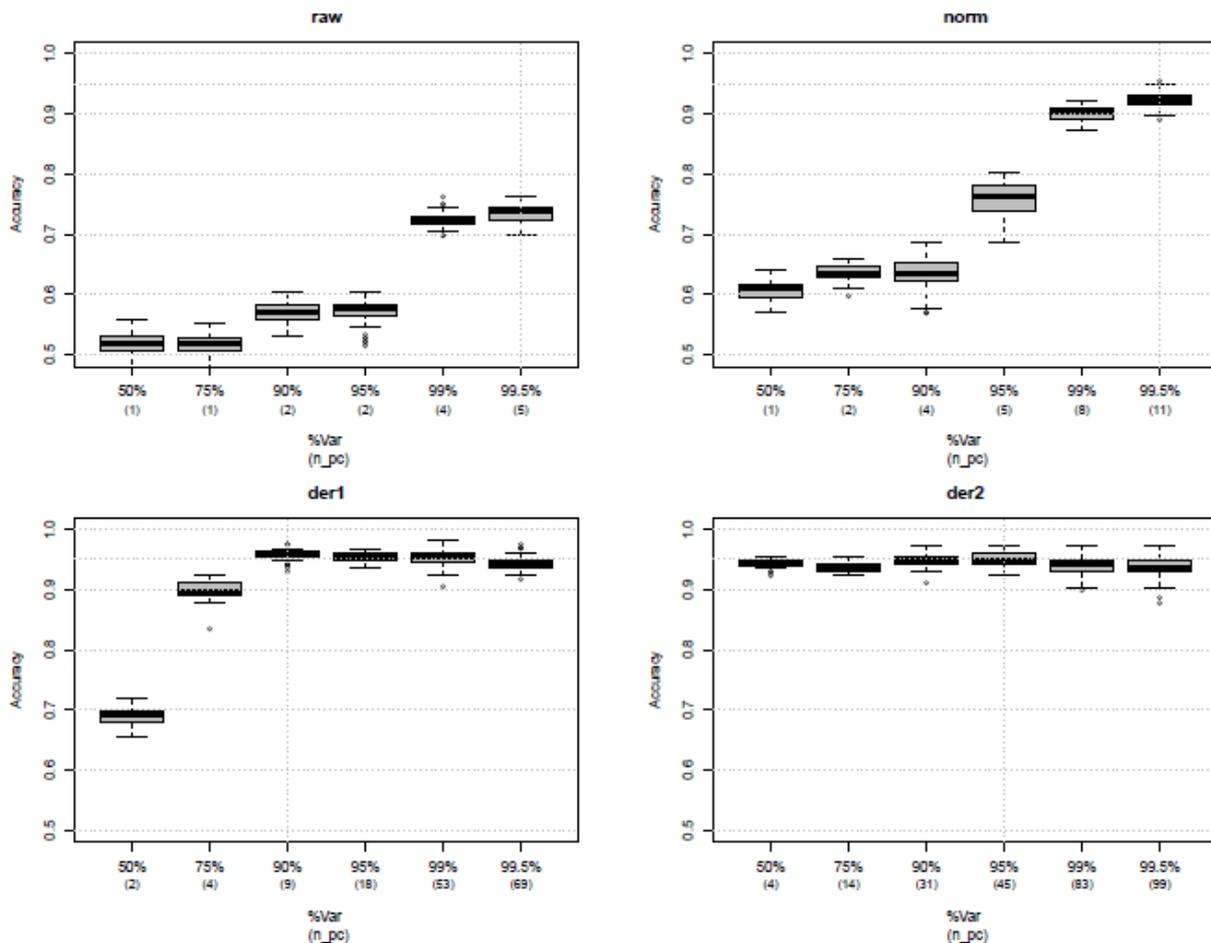


Figure 2 : Précision de la prédiction (Accuracy) de chaque modèle obtenu selon le type de prétraitement des spectres et les % de la variance et le nombre d'axes pris pour l'ACP dans l'analyse discriminante sur les axes d'ACP (DA-PC)

2.2- Modèles de prédiction construits avec la méthodologie PLS-DA (améliorée) : (Figure 3)

Notre choix du modèle avec la meilleure précision de prédiction se fait selon le nombre de composantes pris pour établir le modèle avec la PLS. Nous privilégions les modèles avec peu de composantes et donnant une précision minimum de 95 %.

La précision de prédiction varie entre 94 et 97 % et le nombre de composantes varie entre 2 et 10 selon le prétraitement des spectres.

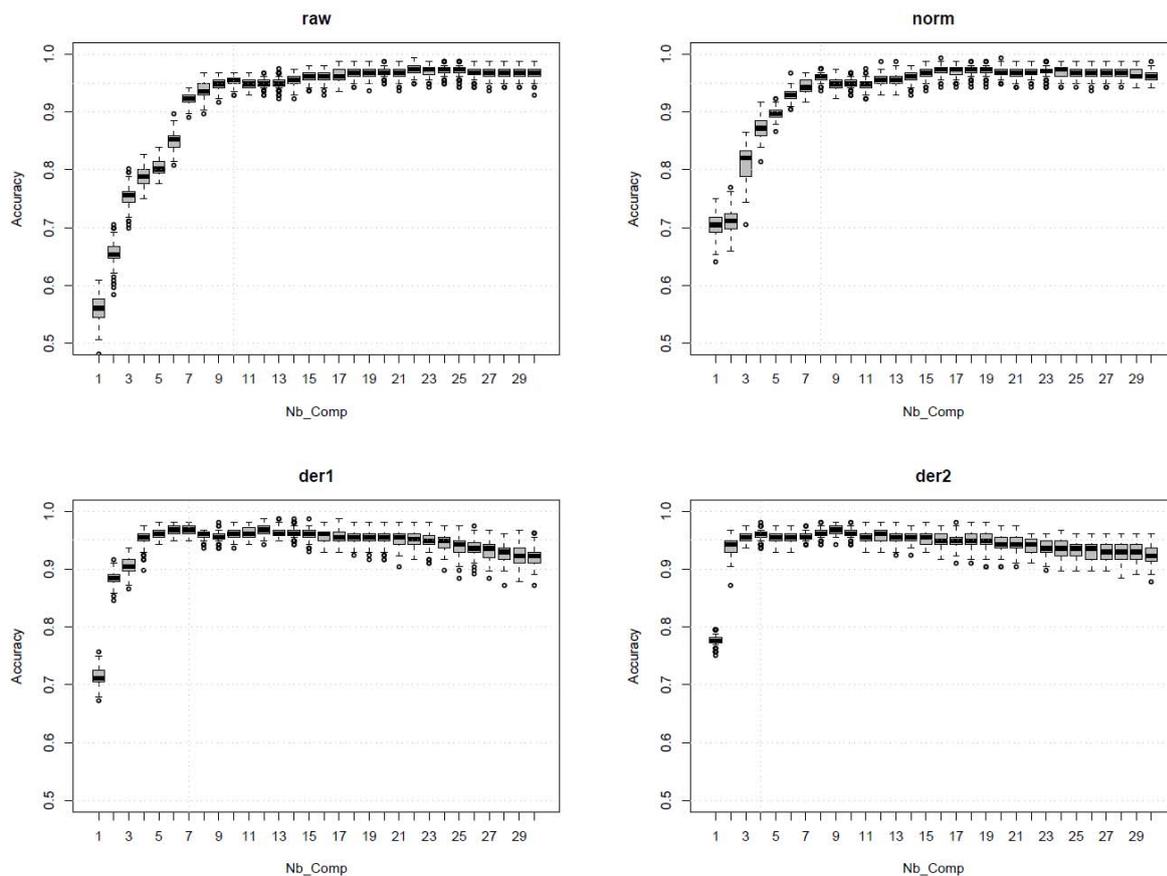


Figure 2 : Précision de la prédiction (Accuracy) de chaque modèle obtenu selon le type de prétraitement des spectres et le nombre de composantes de l'équation du modèle avec l'analyse Partial Least Square Discriminante (PLS-DA).

Conclusions

Avec les deux méthodes utilisées pour établir les modèles de prédiction, nous obtenons des résultats plus qu'encourageants pour prédire l'appartenance des échantillons de feuilles de mélèze aux 3 espèces M. Europe, M. Japon et M. Hybride. Les précisions de prédiction obtenues avec les meilleurs modèles incluant des prétraitements des spectres les plus pertinents pourraient permettre d'envisager l'utilisation de la SPIR pour discriminer ces trois espèces de mélèze. Ceci confirme notre première expérimentation de 2011.

Des essais complémentaires pour valider cette méthodologie doivent encore être mis en œuvre.

Perspectives et poursuite des travaux pour 2013

- Pour les traitements des spectres : afin de rendre plus robustes les modèles de prédiction, nous allons traiter ensemble les spectres obtenus en 2011 et en 2012 sur deux échantillonnages différents et prendre en compte à la fois les spectres obtenus en vials et obtenus en coupelle pour ajouter plus de variation dans le modèle.

Nous pourrions essayer de voir si la sélection de bandes dans le spectre améliore encore la précision de la prédiction.

- En 2013, nous allons effectuer un nouvel échantillonnage de nouvelles feuilles en début de végétation pour prendre en compte l'état physiologique des feuilles. Nous prévoyons également de prélever des feuilles sur de très jeunes arbres (2 à 3 ans).

- A partir d'un échantillonnage de bois de cœur (poudre de bois très fine) qui comprend des mélèzes des trois espèces, issu d'un plan de croisement factoriel et qui a servi pour des analyses des extractibles du bois et une étude de génétique (publication), nous allons prendre les spectres de 300 échantillons environ avec une répartition d'échantillons sur les 3 espèces et vérifier qu'un modèle de prédiction pour la discrimination des espèces est possible à partir du bois.

(La préparation des échantillons et les spectres Proche Infra Rouge ont été faits et obtenus par le plateau technique GénoBois de l'INRA Val de Loire Orléans)

PINS LARICIO DE CORSE ET CALABRE

BORE ET NOTES DE FORME SUR LES DISPOSITIFS DE LAMOTTE BEUVRON, CHARNIZAY ET SAINTE MONTAINE (IRSTEA)

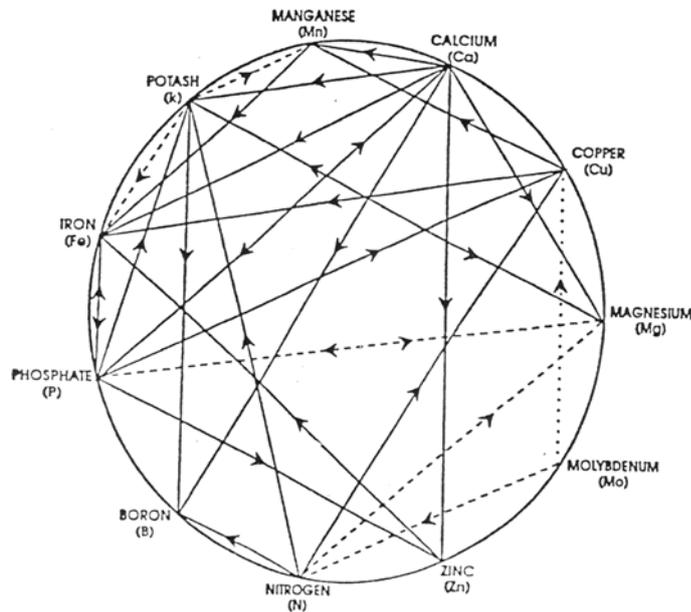
1- Arbres forestiers et bore

L'impact négatif des carences ou des excès de bore (B) sur la croissance des arbres forestiers résineux a été largement démontré sur un grand nombre de sites à travers le monde (Stone, 1990). Les carences sont en particulier responsables de déformations ou anomalies de croissance des pousses terminales qui peuvent être interprétées comme des défauts liés à l'origine génétique du matériel de reboisement. Beudoin (2004) a démontré dans un mémoire de recherche de la DRF (Québec) l'impact des carences en Bore sur la croissance végétative du pin sylvestre avec en particulier une augmentation de l'occurrence de fourches et autres défauts de forme. Une concentration en Bore de l'ordre de 1.1 à 1.5 ppm est nécessaire pour assurer une croissance optimale des arbres résineux. Les apports de Bore font depuis des décennies partie intégrante des plans de fumure de cultures fruitières à noyaux ou à pépins comme les cerises ou les pommes. Les apports de Bore dans les plantations forestières ou les pépinières sont par contre d'une pratique beaucoup moins fréquente. Le Bore a également un rôle améliorateur de la résistance à la sécheresse des plantes, le déficit en bore augmente en effet la transpiration et diminue l'efficacité de l'utilisation de l'eau; l'action bénéfique du bore sur la résistance à la sécheresse bien que non évaluée ne peut être que favorable aux arbres de nos dispositifs d'évaluation de pins noirs justement destinés à la valorisation de stations difficiles et très sèches en saison estivale. Le maintien d'une concentration adéquate de bore dans les boisements serait en conséquence un facteur à prendre en compte pour améliorer la résilience des peuplements les plus exposés aux conséquences des changements climatiques.

Des facteurs aggravants, induits involontairement par le gestionnaire, peuvent également accroître les effets négatifs d'une carence en Bore, c'est en particulier le cas lorsque qu'une fertilisation est apportée à l'aide de macro éléments comme N, P et K (Aronsson, 1983; Saarsalmi & Tamminen, 2005). Ce cas peut se rencontrer également sur les boisements réalisés sur d'anciennes terres agricoles ayant bénéficié d'une fertilisation abondante et régulière, ces macro éléments fertilisants favorisent alors globalement le métabolisme des arbres ou plantes induisant de ce fait des besoins encore plus importants en micro éléments comme le bore. Les effets d'une carence initiale mineure sont alors majorés et ceci semble être confirmé par les observations des sylviculteurs qui rapportent que les occurrences de défauts de forme sont plus importantes sur les stations les plus riches. Le même phénomène d'accroissement "involontaire" de carence est observé sur les stations forestières acides ayant fait l'objet d'un chaulage. La capacité d'échange cationique (CEC) des sols est accrue, la disponibilité des éléments minéraux est plus favorable à un bon métabolisme, une carence en bore initialement mineure se manifeste alors de façon plus prononcée. Ces phénomènes sont très bien décrits dans la charte de Mulder qui présente les antagonismes et les stimulations qui existent entre les différents éléments chimiques du sol. Le bore est par exemple beaucoup moins disponible pour les plantes si la concentration en N, Ca ou K est élevée.

Interactions entre éléments nutritifs des plantes

Mulder (1953) illustre très clairement à l'aide de son graphe ci-dessous certaines des interactions, de type antagonisme ou stimulation, entre les principaux nutriments du sol.



ANTAGONISME →→ Une réduction de disponibilité vers la plante par l'action d'un autre élément (selon direction de la flèche)

STIMULATION - - - - - Une augmentation des besoins de la plante d'un élément causé par une forte concentration d'un autre élément.

Antagonisme

Des niveaux élevés d'un nutriment en particulier dans le sol peuvent interférer avec la disponibilité et l'absorption par la plante d'autres éléments nutritifs. Ces nutriments qui interfèrent entre eux sont censés être antagonistes. Par exemple, les niveaux élevés d'azote peuvent réduire la disponibilité du bore, du potassium et de cuivre ; des niveaux élevés de phosphate peuvent également influencer l'absorption du fer, du potassium, du calcium, du cuivre et du zinc ; des niveaux de potassium élevés peuvent réduire également la disponibilité de magnésium. Ainsi, à moins de veiller à assurer un approvisionnement adéquat et équilibré de tous les éléments nutritifs par l'utilisation des résultats d'une analyse de sol, l'application des niveaux toujours plus élevés d'azote, de phosphore et de potassium dans les engrais composés peuvent induire des carences en autres éléments nutritifs essentiels de la plante.

Stimulation

La stimulation se produit lorsque le niveau élevé d'un nutriment particulier augmente la demande de la plante pour un autre élément nutritif. Une concentration accrue d'azote crée une demande pour plus de magnésium. Si une quantité supplémentaire de potassium est utilisée alors plus de manganèse sera nécessaire et ainsi de suite. Bien que la cause de la stimulation diffère notablement de celle de l'antagonisme, le résultat est le même car il induit des carences au niveau de la culture à moins que des apports équilibrés soient réalisés.

La fertilisation ou l'amendement des sols forestiers doivent donc absolument être considérés par le sylviculteur en regard de la disponibilité en micro éléments tels que le bore et prévoir le cas échéant une remise à niveau de ce micro élément au rôle majeur.

Les sites destinés à la culture d'arbres résineux présentant une carence avérée en bore (bore < 1 mg kg⁻¹) peuvent être améliorés par des apports de bore de l'ordre de 2 kg ha⁻¹ d'élément bore sous la forme de borax. Les arbres en place conservent généralement longtemps une capacité à bénéficier des effets favorables du bore et retrouver un état physiologique correct. Les défauts de forme induits par la perte de dominance apicale ou les défauts internes du bois demeurent toutefois acquis définitivement.

2- Les analyses de sol des dispositifs

Tableau de synthèse des analyses de sol réalisées sur les trois sites de Lamotte Beuvron, Sainte Montaine et Charnizay.

	Site						Unités
	Lamotte 1	Lamotte 2	Montaine D	Montaine G	Charnizay 1	Charnizay 2	
Carbone organique	6	9.1	44.5	18.8	9.45	10.6	g/kg
Azote total	0.258	0.424	1.63	0.67	0.805	0.774	g/kg
C/N	23.2	21.5	27.4	28.1	11.7	13.7	
Matière organique	10.4	15.7	76.9	32.6	16.3	18.4	g/kg
Matière organique (%)	1.0%	1.6%	7.7%	3.3%	1.6%	1.8%	
pH eau	4.45	4.64	4.02	4.21	6.9	5.51	
pH KCl	3.76	3.97	2.95	3.45	5.87	4.24	
Diff. pH	-0.69	-0.67	-1.07	-0.76	-1.03	-1.27	
Calcaire total	<1	<1	<1	<1	<1	<1	g/kg
Phosphore (P2O5)	<0.01	<0.01	0.016	<0.01	0.377	0.404	g/kg
Capacité échange CEC	1.8	3.14	8	4.96	8.57	6.09	cmol+/kg
Potassium (K)	0.0936	0.113	0.18	0.174	0.201	0.249	cmol+/kg
Potassium (K2O)	0.0441	0.0531	0.0846	0.0818	0.0948	0.117	g/kg
Potassium (K)	0.0366	0.0441	0.0702	0.0679	0.0787	0.0972	g/kg
Estimation K Kg/Ha	88	106	168	163	189	233	
Cuivre (Cu)	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.802	<0.5	mg/kg
Fer (Fe)	106	147	201	262	276	418	mg/kg
Manganèse (Mn)	0.858	1.73	0.814	<0.5	9.76	3.05	mg/kg
Zinc (Zn)	0.86	0.924	2.05	0.893	0.832	0.715	mg/kg
Bore (B)	0.053	0.094	0.142	0.132	0.197	0.161	mg/kg
% des besoins en bore	4%	7%	11%	10%	15%	12%	

	Carence++		Convenable		Riche
	Carence				Très riche ou toxique

Commentaires analyses :

- Le taux de matière organique est considéré comme très pauvre en dessous de 2%, pauvre de 2 à 3.5%, moyen de 3.5 à 6.5%, riche de 6.5 à 8% et très riche au-delà.
- Un différentiel de plus de 0.5 pH entre pH eau et pH KCl révèle un fort potentiel d'acidification naturelle rapide, ceci est un facteur négatif
- Pour le Phosphore, méthode Dyer utilisée car adaptée aux sols acides, carence marquée en dessous de 0.060 g/kg.
- Conversion des ppm de potassium en kg à l'hectare selon le barème du guide canadien de fertilisation : ppm X 2.4 = kg/ha
- L'excès de phosphore au-delà de 400 mg/kg peut bloquer l'assimilation des éléments Zn, Cu, Fe, Ca...

- La concentration optimale d'un sol forestier (résineux) en Bore est de 1.1 à 1.5 mg/kg, valeur moyenne retenue de 1.3 mg/kg.
- L'unité de la CEC est la mole (p+) kg⁻¹ et la mole (e-) kg⁻¹. Auparavant était utilisé le milliéquivalent par 100 grammes (mé ou mEq/100 g) de sol. La correspondance entre le centimole de charge positive par kilogramme et le milliéquivalent par 100 grammes se fait à l'aide de la formule suivante : 1 cmole(+)/kg = 1 meq/100g. La CEC est très dépendante du rapport C/N et du pH du sol.

Valeurs typiques de CEC sur sols agricoles :

Catégories de sol	Fertilité du sol				
	Très faible	Faible	Moyenne	Élevée	Très élevée
	CEC (meq/100 g. sol)				
Sols légers (à pH >6)	< 4	4 – 6	6 – 8	8 – 10	> 10
Sols francs (loams)	< 10	10 – 15	15 – 20	20 – 25	> 25
Sols lourds	< 25	25 – 30	30 – 35	35 – 40	> 40
Sols organiques	< 50	50 – 100	100 – 150	150 – 200	> 200

Source : Tableau 12.9 : Normes de fertilité des différents types de sols (Doucet, 2006. p. 328)

Tables de niveaux de fertilité des sites forestiers résineux et feuillus : Source : Présentation du logiciel Regesol par C. Nys (INRA Centre de Nancy) en janvier 2007

HETRE

	↔ Diagnostic	Norme de déficience (kg.ha ⁻¹)	↔ Diagnostic	Norme de base (kg.ha ⁻¹)	↔ Diagnostic	Norme de réserve (kg.ha ⁻¹)	↔ Diagnostic
K ₂ O	Réserves insuffisantes	377	Réserves insuffisantes	520	Réserves optimums par rapport aux besoins	858	Pas de problème
CaO	Risque de carence à court terme	581	Risque de carence à moyen terme	840		2310	
MgO		210		308		532	
P ₂ O ₅		378		540		1026	

RESINEUX

	↔ Diagnostic	Norme de déficience (kg.ha ⁻¹)	↔ Diagnostic	Norme de base (kg.ha ⁻¹)	↔ Diagnostic	Norme de réserve (kg.ha ⁻¹)	↔ Diagnostic
K ₂ O	Réserves insuffisantes	290	Réserves insuffisantes	400	Réserves optimums par rapport aux besoins	660	Pas de problème
CaO	Risque de carence à court terme	415	Risque de carence à moyen terme	600		1650	
MgO		150		220		380	
P ₂ O ₅		280		400		760	

3- Synthèse des analyses de sols par site

3.1- Lamotte Beuvron

Le site de Lamotte Beuvron est une station très pauvre, très acide avec un taux très faible de matière organique. La CEC est de 2 à 3 cmole(+)/kg ce qui, pour un sol léger très sableux, ne représente qu'une capacité d'échange qualifiable de très faible. La fertilité globale de ce site est donc très basse avec un rapport C/N défavorable. Aucun des macro éléments ou oligo éléments ne sont présents en quantité suffisante à l'exception du Fer qui de plus ne pose

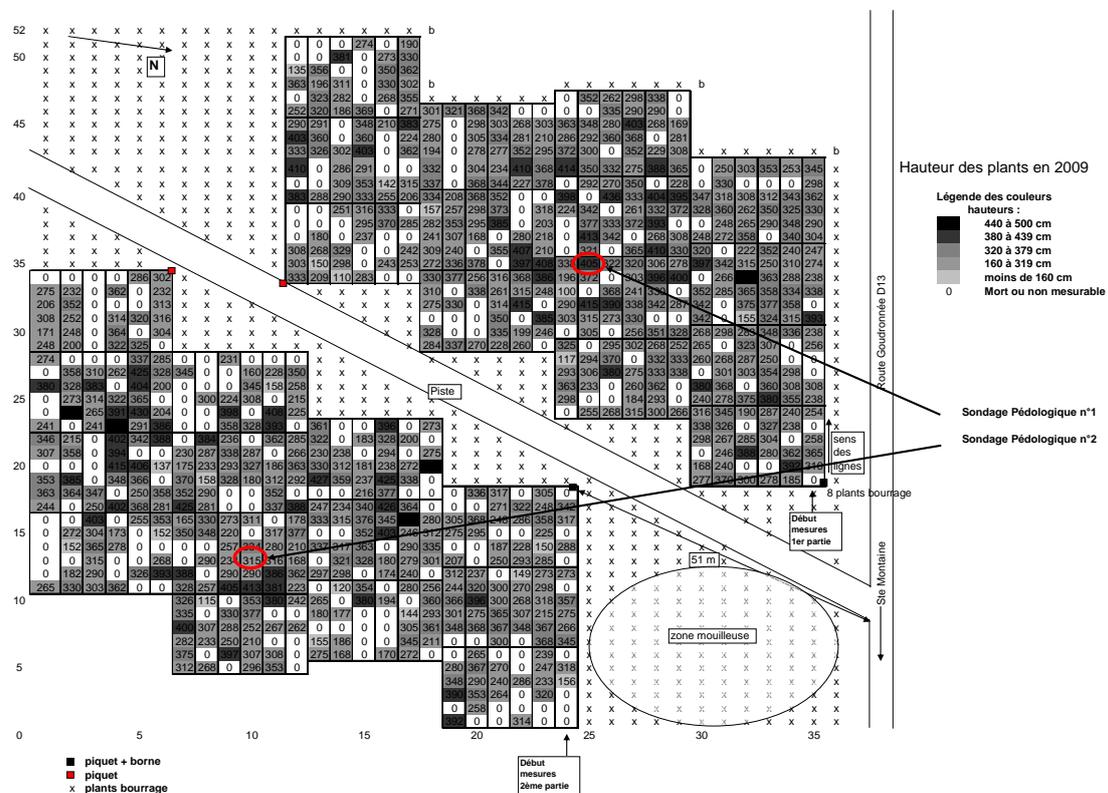
généralement aucun problème de carence sur sols acides et peu exposés à la lumière. Le Bore est présent en très faible quantité et ne couvre que environ 5% des besoins moyens de ce type de boisement, l'acidité importante de cette station et la sécheresse estivale en été sont des facteurs aggravants de cette carence très marquée. Une part de l'occurrence des défauts de forme observés est donc très probablement imputable à cette carence très importante en Bore.

3.2- Sainte Montaine

Le site de Sainte Montaine est un sol très sableux caractéristique de la Sologne, son pH est très bas avec une valeur de pH 4, de plus le différentiel entre le pH "eau" et le "pH KCl" indique un fort potentiel d'acidification naturelle. La CEC de 5 à 8 cmole(+)/kg pour les deux prélèvements reste pour un sol léger une capacité d'échange faible à moyenne.

Cette station est plutôt bien pourvue en matière organique ce qui induit un rapport C/N défavorable. Seuls le zinc et le fer sont présents en quantité suffisante en particulier en partie ouest de l'essai, cette station est tout de même sensiblement plus fertile que celle de Lamotte Beuvron. Le Bore est, comme sur le site de Lamotte Beuvron, présent en quantité très insuffisante et ne couvre que environ 10% des besoins moyens de ce type de boisement, le pH moyen à l'eau de 4 ainsi que le déficit hydrique estival de ce type de station sont des facteurs aggravants de cette carence très marquée. Cette station est également un petit peu mieux dotée en azote et en potassium, ce qui peut également renforcer la demande en bore et accroître encore les effets du déficit. En conséquence, partie des défauts de forme observés est donc très probablement induite par la carence majeure en Bore constatée dans cet essai.

Points de prélèvements des échantillons de sol (N°1 = droite, N° 2 = gauche) et représentation graphique des classes de hauteur et de la mortalité.



3.3- Charnizay

Le site de Charnizay est une ancienne parcelle agricole, il s'agit seulement d'une station moins pauvre que les deux sites de Sologne précédents, le taux de matière organique y est en effet très faible et comparable à celui du site de Lamotte Beuvron. Le macro élément azote y est toutefois suffisant pour obtenir un rapport C/N satisfaisant et très différent des deux sites précédents, la CEC de 6 à 8,5 cmole (+)/kg pour les deux prélèvements est pour un sol léger qualifiable de moyenne à élevée. Globalement ce site est bien pourvu en phosphore et potassium, ainsi qu'en éléments secondaires comme le cuivre, le fer et le manganèse, il convient toutefois de noter que la richesse en phosphore peut limiter la disponibilité en oligo éléments. Il s'agit globalement d'une station assez riche pour une plantation de pins noirs dans laquelle un apport de fumier a été réalisé à la plantation. Les besoins moyens en bore ne sont, par contre, malheureusement pas satisfaits avec seulement 12 et 15% des besoins moyens en bore relevés, la disponibilité correcte en macro éléments K et N de cette station peut induire une aggravation du manque de bore (Saarsalmi & Tamminen, 2005). En conséquence, cette parcelle bien que plus fertile et un peu mieux dotée en bore ne se distingue donc pas en termes de carences en bore des deux stations plus pauvres de Lamotte Beuvron et de Sainte Montaine. Le pH n'est pas sur cette parcelle un facteur aggravant de la carence en bore; il n'y a toutefois aucun doute que la carence marquée en bore soit responsable pour partie des défauts de forme et de croissance observés sur cet essai de provenances de pins noirs.

4- Niveaux de déficit en bore et occurrence des défauts de forme

Les trois stations étudiées présentent sensiblement les mêmes niveaux de déficit en bore avec des taux relevés de bore couvrant seulement de 4% à 15% des besoins moyens pour un peuplement d'arbres résineux. Le niveau global de fertilité de la station de Charnizay peut aggraver le déficit en bore, les trois sites ne sont pas en conséquence différents vis-à-vis de la disponibilité réelle en bore pour les arbres. Ces trois stations sont en conséquence susceptibles d'induire par leur manque de bore des défauts de croissance et de forme des arbres ainsi qu'une moindre résistance à la sécheresse.

Tableau récapitulatif des défauts de forme et de la mortalité par site :

	Variétés comparées	Note moyenne forme / âge (1)	Mortalité / âge	Taux de bore versus besoins
Charnizay	Corses 201, 203, Elite, RP 04 et Rebutinière	88 (11 ans)	6% (11 ans)	13.5 %
Lamotte B.	Corses 201, 203, Elite, RP 04 et Rebutinière	94 (12 ans)	15% (12 ans)	5.5 %
Sainte Montaine	Corses: 202, 204, 211, Calabre: Bout, Sivens et Trentacoste	98 (7 ans)	25% (7 ans)	10.5 %

NB- Sainte Montaine planté en 2002, Lamotte et Charnizay plantés en 1994

(1) Plus la note est basse, plus les fourches et ramicornes sont fréquentes

Conclusions

Deux niveaux de conclusion résultent de cette étude bore :

- Un premier niveau à l'échelle des essais étudiés

Les trois sites sont en situation de déficit très marqué en bore, c'est toutefois le site de Charnizay qui a la note de forme moyenne la plus défavorable probablement en raison de la fertilité de cette parcelle qui présente globalement le même déficit en bore que Lamotte et Sainte Montaine. Les deux sites de Lamotte et Charnizay peuvent être comparés avec fiabilité car ils contiennent les mêmes origines de matériel et ont le même âge. Toutefois, il n'y a globalement pour chaque site aucune différence significative de note de forme entre les provenances ce qui tend à démontrer la prépondérance de l'effet station sur l'effet variété. Les niveaux de carence en bore démontrés limitent très sérieusement la validité des interprétations de ces essais comparatifs entre provenances en termes de croissance en hauteur et en diamètre ainsi qu'en notation de forme. Les carences en bore observées pourraient également être pour partie responsables des fortes mortalités des sites de Lamotte Beuvron et Sainte Montaine qui sont très sèches en période estivale, le bore permet en effet lorsqu'il est présent en quantité suffisante d'améliorer la résistance à la sécheresse des plantes.

- Un second niveau plus généraliste

L'installation d'un dispositif agronomique de comparaison de provenances devrait idéalement être précédée d'une analyse du sol afin d'y détecter d'éventuelles carences comme dans le cas du bore susceptibles d'interférer gravement sur les paramètres étudiés. Lorsque l'information relative à la fertilité du sol n'est pas connue il peut en résulter des interprétations erronées attribuant telle ou telle qualité ou défaut à une catégorie de matériel testé alors qu'il ne s'agit que d'une interaction accidentelle; plus certainement encore l'expérimentateur ne pourra constater aucune différence significative entre les variétés testées si celles-ci ne bénéficient pas des conditions stationnelles normales requises pour l'espèce. Il semble donc indispensable pour une interprétation et valorisation correcte des essais de comparaison de provenances de réaliser un diagnostic de fertilité de la station, y compris pour les oligo-éléments, il s'agira ensuite en cas de carence grave avérée soit d'y remédier par des apports adaptés soit de renoncer à l'implantation d'un essai. L'intention de l'expérimentateur ne consiste pas en effet à tester la résistance des variétés à une carence comme celle du bore, surtout si celle-ci n'est même pas identifiée. Les essais de fertilisation et d'amendements en bore ont depuis longtemps démontré l'efficacité des pratiques de correction de fertilité sur les peuplements résineux, les différentes variétés ou espèces testées peuvent alors y exprimer leur plein potentiel.

Références bibliographiques :

Aronsson, A., 1983. *Growth disturbances caused by boron deficiencies in some fertilized pine and spruce stands on mineral soils*. Comm. Inst. For. Fenn., 116:116-121.

Beaudoin, R., 2004. *Perte de dominance apicale sur le pin sylvestre : Symptômes visuels et microscopiques de carence en bore*. Gouv. du Québec, min. des ress. nat., Dir. de la rech. For. Mémoire de recherche N° 144, XII + 43 p.

Mulder, D., 1953. 'Les éléments mineurs en culture fruitière', *1o Convegno Nazionale de Frutticoltura, Montana de Saint Vincent*, pp. 188-198.

Saarsalmi, A. & Tamminen, P. 2005. *Boron, phosphorus and nitrogen fertilization in Norway spruce stands suffering from growth disturbances*. *Silva Fennica* 39(3): 351–364.

Stone, E.L., 1990. *Boron deficiency and excess in forest trees : A review*. *For. Ecol. Manage.* 37 : 49-75.

MESURES DE DISPOSITIFS

1- Dispositifs Irstea

Les mesures programmées en 2012 n'ont pu être réalisées en raison d'un manque de personnel de terrain, celles-ci sont reportées sur l'année 2013. Seules deux visites ont été réalisées dans les tests de Lamotte Beuvron et de Sainte Montaine, les informations relatives au test de Charnizay ont été obtenues directement auprès du propriétaire.

1.1- Eclaircie du test de Charnizay

L'éclaircie désignée par Irstea n'a pas été prise en compte par le propriétaire du site de Charnizay. Au contraire le choix des tiges à enlever a été réalisé par le chauffeur de la machine d'abattage conformément au souhait du propriétaire de travailler au profit des tiges avec une forme satisfaisante, ce qui correspondrait le plus fréquemment aux arbres parmi les moins gros. 150 tiges d'avenir par hectare ont été désignées et élaguées à 5 mètres de hauteur. La décision est prise de ne plus faire de mesures dans ce dispositif.

1.2- Test de Lamotte Beuvron

La visite réalisée en février 2013 a permis de constater qu'une mesure de circonférence des arbres était encore possible et exploitable car les arbres, peu vigoureux, ne sont pas en situation de forte concurrence. Les mesures et conclusions qui seront réalisées dans cet essai devront intégrer les résultats d'analyse du sol et en particulier des problèmes de carence en bore.

1.3- Test de Sainte Montaine

Cet essai a été visité en février 2013, des semis naturels sont présents dans l'essai et devront être éliminés pour réduire les risques d'erreur de mesures et la concurrence. Les dégâts de gibier semblent aujourd'hui se stabiliser et se limitent à de rares arbres frottés en bordure d'essai. Cet essai est globalement bien venant, les bornes de repérage de cet essai sont toujours présentes et accessibles.



Le site de Sainte Montaine en 2005 à gauche et 2010 à droite, à noter sur la photo 2005 la tâche plus sombre en haut au milieu de l'essai (polygone blanc) et sa superposition avec la zone de bonne venue de la parcelle en 2010. Source des images Google Earth®.

1.4- Analyse des notations de défeuillaison/dépérissement effectuées fin 2011 dans le test des Barres réunissant 15 origines de Pinus nigra

Les pertes d'aiguilles, observées dès la saison de végétation 2011 ont fait l'objet d'une évaluation exhaustive en fin d'année 2011. Un taux global de défeuillaison a été attribué à chaque ramet. Ces défeuillaisons, assez massives pour certains arbres, concernent principalement la parcelle unitaire « TREV » qui est un pin laricio de Calabre d'origine « Trentacoste » et dont les graines ont été fournies par la société 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.

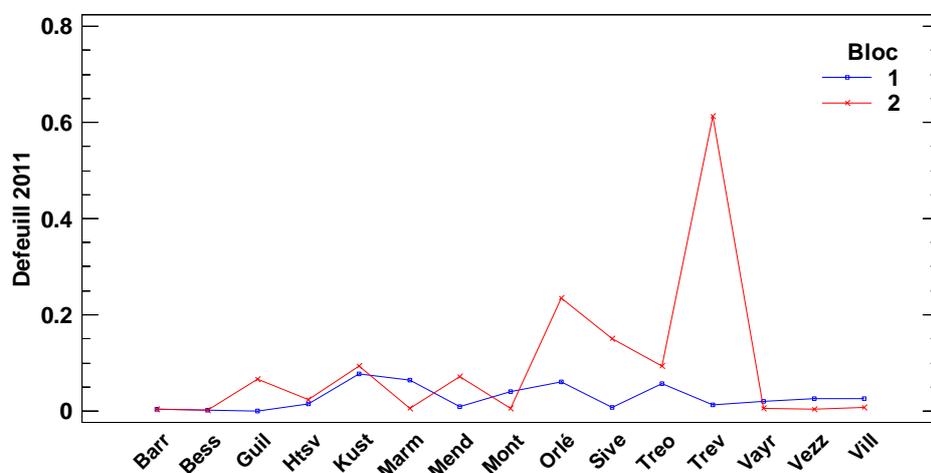
Analyse de variance pour Defeuill 2011 - Somme des carrés de type III

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
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.

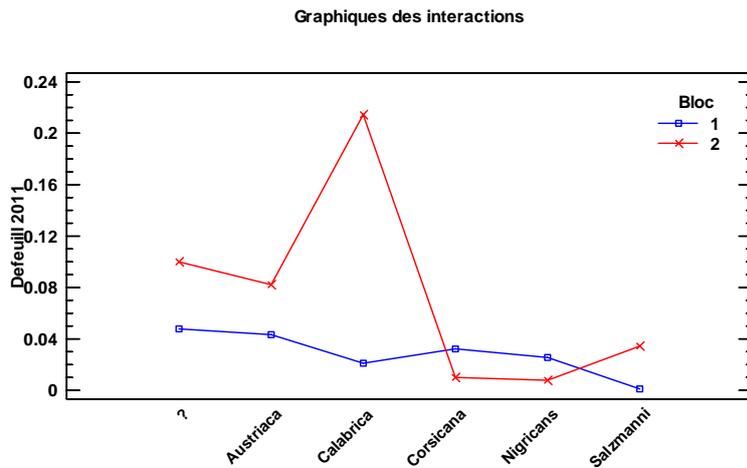
Modalité	Bloc	Nb arbres	Tx_Defeuill
Barr	1	26	0%
Bess	1	27	0%
Guil	1	26	0%
Htsv	1	26	2%
Kust	1	26	8%
Marm	1	27	6%
Mend	1	26	1%
Mont	1	25	4%
Orlé	1	15	6%
Sive	1	26	1%
Treo	1	26	6%
Trev	1	27	1%
Vayr	1	24	2%
Vezz	1	25	3%
Vill	1	26	3%
Barr	2	26	0%
Bess	2	26	0%
Guil	2	27	7%
Htsv	2	26	2%
Kust	2	24	9%
Marm	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%

Graphiques des interactions



Les résultats présentés ci-dessus mettent en évidence au plan pratique un effet bloc bien supérieur à l'effet modalité, les défeuillaisons observées sont probablement la conséquence conjuguée de l'éclaircie systématique d'une ligne sur deux qui avait été réalisée un an plus tôt et d'effets stationnels dans le bloc N°2. Le bloc 2 situé au sud du dispositif comporte des zones d'hydromorphie due à la présence d'un horizon argileux à 40/50 cm de profondeur. 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 important qui se poursuit d'ailleurs en 2012, cette mortalité n'est pas liée à l'origine elle-même car la même provenance se comporte bien dans le bloc N°1.

Graphique des interactions groupe d'origines et blocs



Le graphe ci-dessus présente les résultats par groupes géographiques d'origines (un seul nigricans!), ce graphe montre l'origine Calabre du bloc 2 comme principale victime des défeuillaisons. Cela démonte très clairement que le principal facteur responsable de la défeuillaison est la nature du sol dans le bloc N° 2. Les origines Calabre semblent donc mal supporter l'hydromorphie hivernale constatée dans la partie sud de ce dispositif. N'ayant pas d'information sur l'origine réelle "Orléans" on ne peut attribuer sa sensibilité à la station hydromorphe à l'appartenance à un groupe géographique.

2- Dispositifs ONF

Les deux essais de Bercé et de Sillé-le-Guillaume ont été mesurés respectivement les 30-31/10/2012 et les 6-7/11/2012. Toutes les circonférences à 1,30 m ont été mesurées et les hauteurs ont été mesurées uniquement sur un sous-échantillon. Les données seront analysées en 2013 et les résultats seront présentés dans le compte rendu d'activité 2013.

EPICEA COMMUN

Les trois essais ONF de Saint-Sauves, Anzat et Murat ont été mesurés en novembre 2012 : mortalité, circonférence à 1,30 m de tous les arbres et hauteur sur un sous-échantillon. Les deux essais restants (Moussesey et Villard/Boege) seront mesurés au printemps 2013, une fois que les terrains seront devenus plus accessibles.

Les données seront analysées en 2013 et les résultats seront présentés dans le compte rendu d'activité 2013.

MERISIER

Responsable : INRA Orléans

RESUME

Les 3 cultivars de merisier habituels ont été multipliés mais avec peu de succès, peu de plantations participatives ont été réalisées. La première série des descendances des vergers à graines Avessac et Cabrerets a été plantée (ou engagée), et une 4ème série a été initiée. Nous avons propagé l'idée de la démarche participative (publications, réunions, enquêtes, nouveau site internet) et l'avons étendue à un nouveau public (pépiniéristes).

OBJECTIFS ET DESCRIPTION GLOBALE DU PROGRAMME

L'objectif est de comparer dans des conditions pédo-climatiques variées les MFR de merisier présents sur le marché ou disponibles à court terme : vergers à graines français ou étranger, cultivars homologués et des peuplements classés français.

Multiplication végétative et élevage des cultivars français

Ces multiplications et élevages sont délégués aux pépinières Lemonnier. Les boutures insérées tôt au printemps donnent des jeunes plants dès l'automne. La multiplication a concerné les cultivars Gardeline, Monteil et Ameline, mais n'a pas abouti aux résultats espérés, en raison notamment d'un décalage du début des insertions de boutures et des conditions climatiques. Cependant, il a été convenu de mettre de côté des plants de Gardeline pour les utiliser comme témoins en sélection participative (120 plants étiquetés en octobre 2012). Les nouveaux cultivars n'ont pas été multipliés.

Elevage 2012 des plants des vergers à graines Cabrerets et Avessac

Cela correspond à la suite de l'élevage des plants issus des graines des vergers de Cabrerets et Avessac qui ont été récoltées et traitées en 2010, et semées en 2011 (1ère série, correspondant à la récolte de 3 ramets par composant). Composition des semis effectués en juillet 2011 : pour chaque composant, trois descendances (correspondant à trois ramets) avaient été choisies de façon à ce que les trois ramets sur lesquels les graines ont été récoltées soient bien répartis à l'intérieur du verger à graines, afin que le nuage pollinique global soit homogène. Pour certains composants, peu de plants ont été obtenus : les deux triploïdes d'Avessac, mais aussi les composants 294, 140 et 267. De plus, les plants obtenus n'étaient pas très grands, aussi avait-il été décidé fin 2011 que la plupart des plants seraient encore en élevage en 2012, mais sans repiquage, afin qu'il n'y ait pas de décalage de classe de hauteur avec les jeunes plants de Gardeline à obtenir en 2012. Le dénombrement effectué par l'INRA en octobre 2012 a porté sur les plants >40cm (Tableau 1) : hors descendances des triploïdes, 1/3 des descendances des vergers comportaient très peu (0 à 16) de plants >40cm. Les autres descendances comportaient 20 à 87 de tels plants.

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 mars 2012	>40cm en oct 2012	Composant	Nb pots semés	Nb plants étiquetés	Total mars 2012	>40cm en oct 2012	Composant	Nb pots semés	Nb plants étiquetés	Total mars 2012	>40cm en oct 2012	
119	45	38	122	60	311	75	41	67	48	140	105	2	3	0	
	45	28				75	9				105	1			
	60	56				75	17				105	0			
125	60	54	153	76	326	75	47	122	58	157	60	44	142	63	
	60	45				75	37				60	51			
	75	54				75	38				75	47			
153	60	38	56	11	327	105	78	166	44	182	105	19	63	13	
	60	8				90	33				105	11			
	90	10				90	55				105	33			
184	90	25	106	64	333	90	47	140	57	205	105	8	66	27	
	90	35				105	61				105	2			
	90	46				75	32				105	56			
196	60	22	41	20	334	90	36	111	77	230	135	24	51	16	
	75	13				60	26				105	19			
	75	6				60	49				120	8			
212	45	36	73	14	351	60	50	139	73	247	90	5	31	10	
	45	7				60	43				45	9			
	45	30				60	46				90	17			
246	90	8	38	9	383	90	55	112	67	253	60	44	143	28	
	60	18				90	52				90	54			
	60	12				90	5				75	45			
249	60	23	55	22	406	60	54	132	61	267	105	2	5	0	
	45	17				60	34				105	1			
	45	15				60	44				90	2			
288	75	45	169	87	438	75	49	134	67	Verger à Graines d'Avessac - triploïdes					
	75	53				60	45			120	2	12	0		
	90	71				60	40			195	1				
294	30	6	14	7	287	45	7	15	0	15	0			15	0
	45	7				15	0			195	0				
	30	1				195	0			135	1				
296	45	18	44	14	296	45	18	15	0	295	15	0	20	1	
	60	8				60	3				60	3			
	75	27				105	4				105	4			
308	60	39	89	45	308	60	23	75	2	285	2	2	2	2	
	60	23				150	3				75				2
	60	23				150	3				150				3

Tableau 1 : Comptages début et fin 2012 à partir des semis individualisés de lots de graines de 3 ramets de composants des vergers à graines de merisier de Cabrerets et Avessac.

Récolte et semis d'une 4^{ème} série de graines du verger Avessac

La 2^{ème} série de graines issues des récoltes 2010 n'a pas été mise en pré-traitement, car nous préférons attendre que la première série soit plantée (et évaluer le résultat de cette plantation, d'un point de vue méthodologique). Par contre, vu le bilan pour les parents triploïdes (récolte partielle mais semis complet, Tableau 1), pour lesquels tous les ramets avaient été récoltés et semés, une nouvelle récolte (4^{ème} série) a été effectuée par l'INRA en juillet 2012 (toutes les merises de tous les ramets des composants 287 et 295 ont été récoltées), et semée en caisses en septembre dans la pépinière d'Orléans, sans prétraitement. En effet, il est curieux que les récoltes de ces triploïdes, qui avaient produit des plants quand la récolte a été faite sur les ramets en collection à Orléans, en aient produit si peu à partir de la récolte 2010 à Avessac. S'agit-il d'un problème de traitement des merises ou de prétraitement en 2010 ? Or ces triploïdes ont de l'importance dans le verger : ils enrichissent potentiellement la production du verger en descendants triploïdes (80% de la descendance maternelle produite est triploïde, et une proportion non mesurée des descendances côté paternel). Des individus triploïdes ont un meilleur potentiel de croissance.

Plantations d'évaluation des variétés de merisier sous forme participative

Les descendances individualisées des vergers à graines Avessac et Cabrerets sont plantées en partie (les plus grands plants), le reste étant repiqué chez le même propriétaire (Mr De Boissieu) pour une plantation définitive en 2013-2014, le tout en utilisant des témoins Gardeline et un schéma simplifié de plantation de type participatif (Figure 1). Nous avons

inséré des modules de plantation de type participatif dans une plantation agroforestière déjà prévue, suivie par l'association Prom'haies.

Aucune plantation agroforestière de type participatif n'a été réalisée avec le bureau d'études Agroof, car leurs nombreuses plantations prévues en association avec les agences de l'eau ont été décalées d'un an (montages administratifs). Un montage partenarial était prévu cette année avec l'ONF pour des plantations en forêts soumises, la cellule responsable désignée étant justement le CGAF associé à notre unité. En effet le fonctionnement de l'ONF ne permet pas aux responsables locaux de s'engager localement dans une démarche de type participative sans appui hiérarchique. Les retours du terrain de l'année précédente conduisaient à envisager une répartition des témoins par lignes entières, ce qui « consomme » beaucoup de témoins. Le nombre de plants disponibles étant très faible, il était impossible d'envisager ce type de plantations cette année, ce qui les décale d'un an.

Plantation avril 2013 Mr De Boissieu, 5 descendances, plants les plus grands																	
6 lignes dont une courte																	
17 points de plantation par ligne dont 3 témoins et 14 de descendance																	
28 plants par descendance (2 par point de plantation)																	
28+16=44 plants par descendance (2 par point de plantation) pour les lignes 3 et 6																	
17 plants de témoins Gardeline "G" (1 plant par point de plantation)																	
marquage du début de l'expérience à un bout de la ligne 1 par ex ici, mais ce peut être de l'autre côté / place de l'allée marquage avec piquet par ex																	
nb de mètres entre lignes																	
ligne 1	326	326	326	G	326	326	326	326	G	326	326	326	326	G	326	326	326
7m																	
ligne 2	333	333	333	G	333	333	333	333	G	333	333	333	333	G	333	333	333
7m																	
ligne 3	334	334	334	G	334	334	334	334	G	334	334	334	334	G	334	334	334
7m																	
ligne 4	311	311	311	G	311	311	311	311	G	311	311	311	311	G	311	311	311
7m																	
ligne 5	327	327	327	G	327	327	327	327	G	327	327	327	327	G	327	327	327
7m																	
ligne 6								334	G	334	334	334	334	G	334	334	334
7m																	
largeur mi 28	m																112 m
largeur mi 35	m																

Figure 1 : plantation comparative de 5 descendances, 1^{er} volet, formule participative

Evaluation de la démarche participative pour le merisier

En amont, la démarche avait été bien reçue par les acteurs forestiers (présentations aux réunions CTC vergers de l'état et CTPS arbres forestiers) et agroforestiers (Agroof, AFAF et AFHAC, présentations aux cours de réunions), mais il convenait d'évaluer tôt les premiers retours, pour réorienter l'action. La plupart des plantations effectuées sous forme participative ont été l'objet de visites au cours de l'année 2012 (11 entretiens-questionnaires), à fin d'évaluation et de prospective, selon le programme de travail de Jonathan Migeot (post-doctorat financé par la Fondation de France, appel d'offres « Agroforesterie »). Certains acteurs du développement ont également été visités (Tableau 2). Des acteurs potentiels importants (CA, lycées agricoles, agents ONF ...) doivent encore être contactés pour une évaluation plus approfondie. A partir des réactions et commentaires aux premières enquêtes, un nouveau site a été créé, le format INRA ne donnant pas satisfaction. Aucune source de financement spécifique n'étant disponible pour cela en 2012, nous avons choisi le système gratuit Joomla. www.selection-participative-arbres est en ligne depuis le 20 décembre 2012.

Les plantations agroforestières conviennent encore essentiellement à des agriculteurs innovants ou à des structures confrontées aux problèmes de qualité de l'eau. Les problèmes réglementaires liés à la PAC ne sont qu'imparfaitement réglés et sont encore en cours de négociations pour la PAC 2014. De ce fait, les densités de plantation sont encore très faibles (souvent < 50 plants / ha). Comme certaines associations recommandent un mélange important d'espèces, le nombre total de plants par espèce plantés par an est pour l'instant très faible. Le gain génétique étant proportionnel à l'intensité de sélection, il est illusoire de pouvoir créer des variétés rapidement à partir de ces plantations. Par contre, une évaluation de variétés existantes est possible, l'effet étant cumulatif : à terme, on devrait voir de nombreux points d'évaluation des vergers à graines de merisier. Un deuxième frein est la tradition établie par des militants, surtout dans le sud-ouest, « le matériel local est nécessairement le meilleur », qui aboutit à la réticence envers les témoins, qui sont des cultivars, et surtout une incohérence avec les plans de financement mis au point localement (exemple, <http://www.agroforesterie.fr/documents/programme-agroforesterie-trogne/programme-agroforesterie-trogne-financement-plantation-decembre-2012-description-projet.pdf>).

De nombreuses publications ont été rédigées en 2012, ce qui a été l'occasion de populariser notre démarche :

Dufour J., Santi F., Migeot J., Rondouin M., Le Bouler H., 2012. Des plants de merisiers issus des vergers à graines disponibles ! Forêt Entreprise 204 : 50-54.

Liagre F., Santi F., Vert J., 2012. L'agroforesterie en France : intérêts et enjeux. Forêt Entreprise 205 : 21-26.

Santi F., Migeot J., Dufour J., 2012. Types de plants et leur répartition en agroforesterie : maximiser les gains, préparer l'avenir ! Forêt Entreprise 205 : 36-39.

Dufour J., Santi F., Migeot J., Dowkiw A., 2012. Tailles de formation et élagages du merisier et du frêne. Forêt Entreprise 207 : 26-30.

Migeot J., Santi F., 2012. La sélection participative des feuillus précieux. Forêt de France 557 : 5.

Migeot J., Vallée B., Gauthier A., Dufour J., Santi F., Gavaland A., (proposé à Forêt entreprise et à proposer à La France Agricole). Produire du merisier en 30 ans, c'est possible ! Forêt Entreprise.

Santi F., Dufour J., Migeot J. La sélection variétale en agroforesterie. Assemblée générale de l'Association Française d'Agroforesterie, 4 avril 2012. (exposé)

Santi F., Dufour J., Migeot J. Sélection participative pour les arbres, contexte forestier et agroforestier. Atelier AFORCE, 4 octobre 2012. (exposé)

Exploration du potentiel de la démarche pour d'autres espèces

Nous n'avons pas encore de témoins récurrents pour les autres espèces. Comme souvent, en forêt comme agroforêt, il arrive que les personnes volontaires pour les plantations de merisier aient un projet de plantation multi-espèces, nous pouvons leur proposer d'utiliser les témoins récurrents « merisier » de façon multiple, d'une part, comme prévu de toute façon, pour évaluer les variétés de merisier qu'elles ont choisi de planter, d'autre part, pour permettre éventuellement l'évaluation des variétés des autres espèces. Les ormes « Lutèce » pourraient potentiellement également jouer ce rôle. Une plantation ancienne de merisiers, qui avaient été co-plantée avec d'autres espèces, n'a pas encore été analysée (comme prévu) pour évaluer ce potentiel. Par contre, nous avons exploré le potentiel de création variétale à partir de sélection participative avec les pépiniéristes. Cette démarche exploratoire pour cette période (proposition d'essai avec les pépinières Naudet, contact avec la pépinière Bauchery pour un

projet région Centre, présentation aux réunions CTC vergers de l'état et CTPS arbres forestiers) sera approfondie dans les 3 prochaines années, grâce à l'accueil enthousiaste réservé à cette idée par tous et l'appui financier régional (projet « SPEAL »). Le projet SPEAL permettra aussi de financer le développement de témoins pour de nouvelles espèces.

Evaluation de la résistance à la cylindrosporiose des cultivars

Une première évaluation de la résistance à la cylindrosporiose des cultivars étrangers, comparés aux cultivars français (pépinière d'Orléans, pépinière de Guéméné-Penfao) n'a pas été réalisée en 2012, car les arbres sont encore trop petits (l'expérience montre qu'ils sont alors mal évalués, probablement en raison des réserves en inoculum du sol trop proches de la majorité du feuillage).

RESULTATS ATTENDUS ET VALORISATIONS ENVISAGEES

Pour le merisier, le réseau de plantations mis en place récemment grâce à la formule de sélection participative est encore modeste. De très nombreuses plantations sont attendues dans les années à venir, dans le réseau agroforestier comme forestier grâce à une meilleure visibilité du réseau participatif (nouveau site en décembre 2012, publications en 2012), ce qui permettra d'évaluer les variétés (françaises comme certaines étrangères) et d'en préparer une bonne acceptation. L'élargissement de la démarche à d'autres espèces se fera prioritairement en direction du public des pépiniéristes forestiers, en attendant que des témoins soient développés.

FRENE

Responsable : INRA Orléans

Le point sur les mesures et observations effectuées et prévues

Le tableau ci après résume l'état d'avancement des mesures et observations prévues dans le cadre du programme frêne.

Année	Dispositif	Mesure	Statut
2011	Paulhiac	hauteur et circonférence, fourchaison	Fait
	Saint-Salvi	hauteur et circonférence, forme	Reporté 2012 Annulé 2013
2012	Devecey	<i>Chalara</i>	Fait 2012
	Esnes	<i>Chalara</i> , hauteur, circonférence, forme	Fait 2012
	Le Nouvion	<i>Chalara</i> , hauteur, forme	Mesures non faites (croissance trop faible)
	Fontenois lès Montbozon	<i>Chalara</i>	Fait 2012 (supplément)
2013	Devecey	<i>Chalara</i>	Convention 2013 (supplément)
	Le Tourneur	<i>Chalara</i> , hauteur, forme, phénologie	Convention 2013
	Moulins sur Yèvre	<i>Chalara</i> , hauteur, forme, phénologie	Convention 2013 (remplace Castillon)
	Grainville-Ymauville	<i>Chalara</i> , hauteur, forme	Convention 2013

Pour l'année 2012, les mesures prévues à Devecey et Esnes ont été réalisées. La mesure de Saint-Salvi a été annulée (dispositif « très sale » selon UE INRA Pierroton). Un dégagement est prévu pendant l'été 2013 permettant d'effectuer les mesures à l'automne de la même année. Le dispositif du Nouvion planté en 2009 a un démarrage très lent. Les mesures de hauteurs et surtout de forme prévues n'aurait pas été d'un grand intérêt et elles ont donc été reportées à la fin 2013 si les arbres affichent une croissance significative.

Un dispositif supplémentaire a été mesuré en 2012 vis-à-vis de *Chalara*, il s'agit du dispositif de Fontenois-Lès-Montbozon qui est en Haute-Saône, zone d'initiation des épidémies de *Chalara* en France.

Pour 2013, nous avons choisi de remplacer le dispositif de Castillon initialement prévu par celui de Moulins-sur-Yèvre. En effet, l'expansion de Chalara pourrait très bientôt concerner celui-ci. Nous souhaitons en particulier y effectuer un suivi de phénologie (feuillaison et chute des feuilles) avant et après Chalara.

Pour l'année 2013, ce sont au total 4 dispositifs que nous envisageons de mesurer. Les crédits alloués au frêne dans le cadre de cette convention ne nous permettent évidemment pas de couvrir l'ensemble de ce programme. Nous sommes de plus dépendants des programmes de travaux des différentes Unités Expérimentales INRA et de l'accessibilité des dispositifs (cf. Saint Salvi). Il nous semble cependant utile d'indiquer au Ministère quelles sont nos ambitions sur cette espèce et le capital que constitue ce réseau de dispositifs INRA face à la nouvelle menace Chalara.

Quelques résultats préliminaires concernant l'expansion de Chalara en 2012

Trois dispositifs ont été mesurés :

Devecey: dispositif de comparaison de familles de demi-frères issus de trois peuplements de frêne francs-comtois, installé dans le Doubs à une dizaine de km au Nord de Besançon (date de plantation; Janvier 1995). Des observations concernant les attaques de Chalara ont été effectuées en 2010, 2011 et 2012 sur ce dispositif.

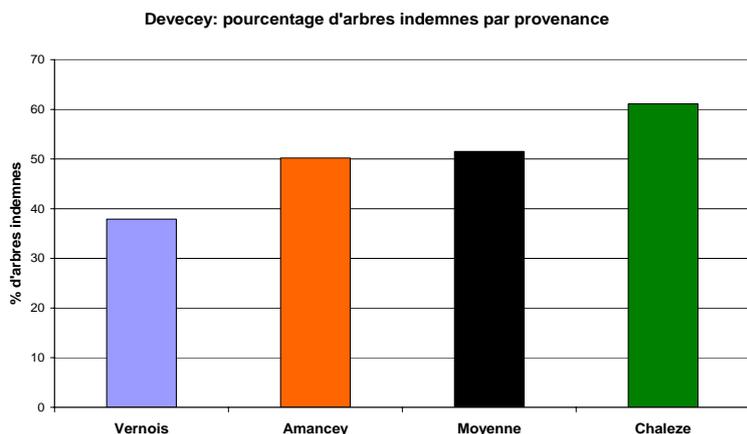
Fontenois-lès-Montbozon: dispositif de comparaison de 9 provenances françaises de frêne issues de récolte commerciale, installé en Haute Saône 18 km au sud-sud-est de Vesoul. Cette plantation installée en janvier 1992 se trouve dans la zone où la maladie a été signalée pour la première fois en France. Une première quantification des attaques de la maladie a été effectuée en 2012.

Esnes: dispositif de comparaison de 16 provenances françaises de frêne structurées en familles de demi-frères (récolte des graines effectuées par l'INRA). Ce dispositif a été installé dans le département du Nord à 10 km au sud est de Cambrai en Février 2003. Les premières notations concernant Chalara ont été effectuées en 2012.

Résultats

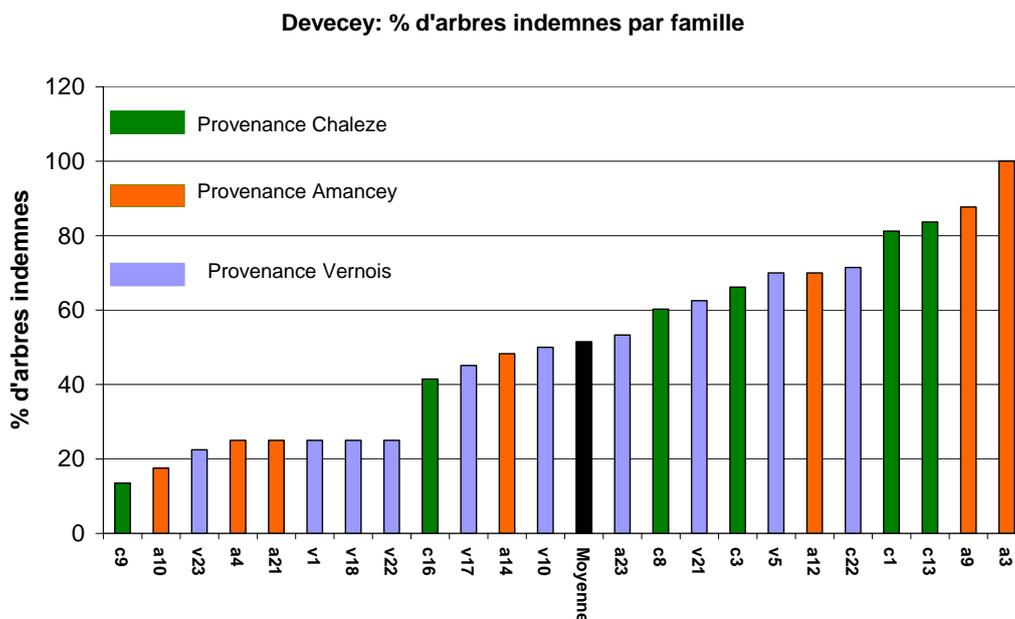
Dispositif de Devecey

Le graphique n° 1 ci après montre qu'il y a des différences importantes entre les trois provenances testées pour la sensibilité à Chalara puisque la provenance Vernois, la plus sensible, n'a que 38% de plants indemnes contre 61% pour la provenance Chaleze.



Graphique n° 1

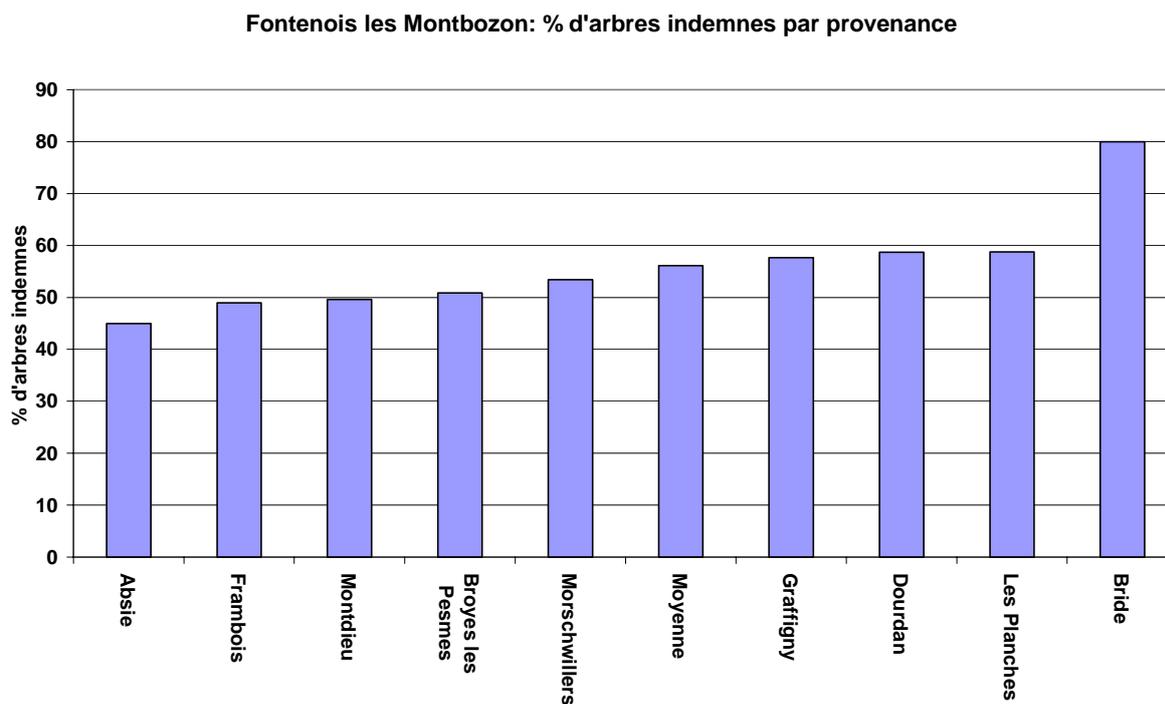
Ces différences de sensibilité sont beaucoup plus importantes au niveau famille de demi frères qu'au niveau provenances. En effet on observe (graphique n°2) une variation continue et extrêmement importante entre la famille la plus sensible (Chalèze 9) pour laquelle le pourcentage de plant indemne n'est que de 13% et la famille Amancey 3 qui est totalement indemne.



Graphique n° 2

Dispositif de Fontenois les Montbozon

Le graphique n° 3 ci après résume les observations faites dans cette plantation. Les différences entre provenance sont importantes. La provenance Bride en particulier apparaît comme nettement moins sensible que toutes les autres avec un pourcentage d'arbres indemnes de 80% alors que la moyenne au niveau de l'ensemble de la plantation est de 53% et que la provenance la plus sensible (Absie) n'a que 45% d'arbres indemnes.

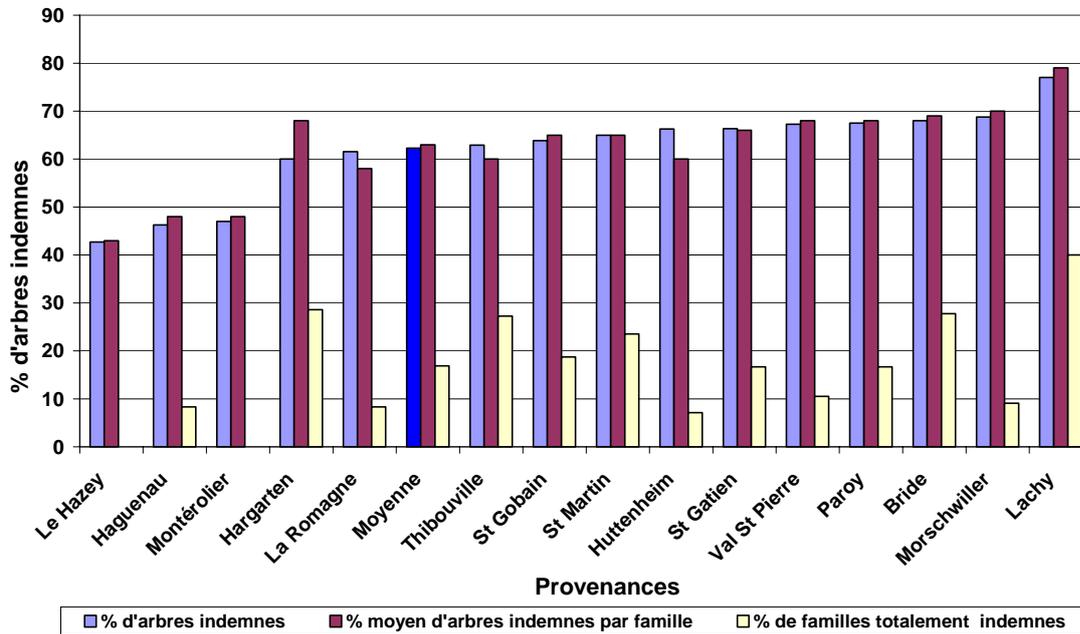


Graphique n° 3

Dispositif d'Esnes

Le graphique n° 4 ci après montre de nouveau la grande variabilité entre les provenances testées dans ce dispositif. Le pourcentage moyen d'arbres indemnes toutes provenances confondues est relativement élevé (62%) probablement parce que la maladie est apparue plus récemment dans la région Nord Pas-de-Calais. Les différences entre provenances sont cependant notables puisque l'on passe de 43% d'arbres indemnes pour la provenance Le Hazey la plus touchée à 77% d'arbres indemnes pour la provenance Lachy, la moins sensible. Le pourcentage moyen d'arbres indemnes à l'intérieur d'une provenance (en violet sur le graphique) est très lié à la sensibilité moyenne de la provenance. Par contre, le pourcentage de familles totalement indemnes à l'intérieur d'une même provenance ne semble pas strictement lié à la sensibilité globale de cette provenance (il y a en tout 36 familles totalement indemnes sur les 213 testées). On notera cependant que 40% des familles appartenant à la provenance Lachy la moins sensible sont totalement indemnes. Il n'y a par contre aucune famille indemne pour les provenances Le Hazey et Montérolier globalement très sensibles.

Notation Chalara à Esnes: % d'arbres indemnes par provenance



Graphique n° 4

Conclusion

On ne peut évidemment pas tirer de conclusion définitive de ces premières observations concernant le développement de la Chalarose dans ces dispositifs de comparaison de provenances et de provenances-descendances (déjà trois années de recul cependant à Devecey). Malgré tout, il est clair qu'une variabilité génétique existe au sein de l'espèce frêne commun pour la sensibilité à cette maladie. L'existence de familles totalement indemnes ou très peu sensibles à Esnes et surtout à Devecey où la maladie se développe depuis plusieurs années laisse entrevoir la possibilité d'une sélection efficace pour une faible sensibilité à cette maladie.

TESTS INDIRECTS : TELEDETECTION

Responsable : Irstea

1- Mélèzes

Cette partie présente une analyse préliminaire des clichés pris en 2009 dans le verger pour hybridation du Talonet (Domaine des Barres).

Objet: caractériser et différencier à l'aide d'un index de végétation les deux espèces Mélèze d'Europe (monoclonal) et du Japon

Comme tous les clichés captés en 2009, le verger de mélèzes du Talonet a été capté à trop grande hauteur ce qui a dégradé la résolution finale souhaitée. L'étude de la zone verger a en conséquence nécessité que chaque couche raster R, V, B etc...soit coupée à l'aire réduite du verger et renommée sous un nouveau nom. La couche rouge a été corrigée du gain par un coefficient de 1 sur 2.7, facteur de correction dont la valeur a été validée sur plusieurs peuplements captés en 2009 sur le domaine. Un ensemble de polygones a été créé pour délimiter 5 parties de lignes de mélèze du Japon et trois lignes d'Européens afin d'extraire selon une matrice de points les valeurs des différents canaux et calculs d'index.

Calcul des index de végétation: deux index ont été retenus pour tester la discrimination entre les deux espèces, le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) et GI (Greenness Index)

1.1- Analyse des données NDVI

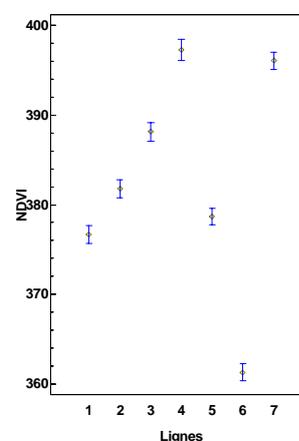
Les modalités 1 à 4 sont des lignes de japonais et les 5 à 7 des mélèzes d'Europe.

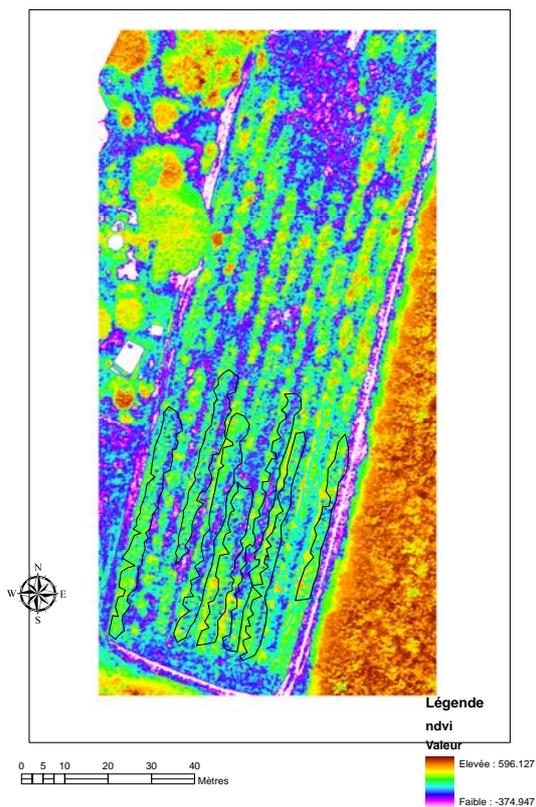
Tests des étendues multiples pour NDVI par lignes

Méthode: 95.0 % LSD

Lignes	Effectif	Moyenne MC	Ecart-type MC	Groupe homogène
6	4001	361.319	0.68979	X
1	3673	376.636	0.719931	X
5	4438	378.679	0.654949	X
2	3403	381.781	0.747946	X
3	3454	388.114	0.742404	X
7	4203	396.04	0.67301	X
4	2562	397.264	0.862009	X

Moyennes et intervalles de confiance à 95.0% de Fisher LSD



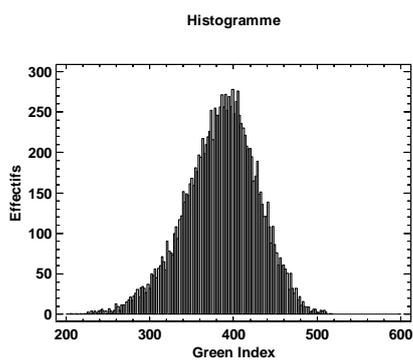


Représentation graphique des index NDVI du verger de mélèze

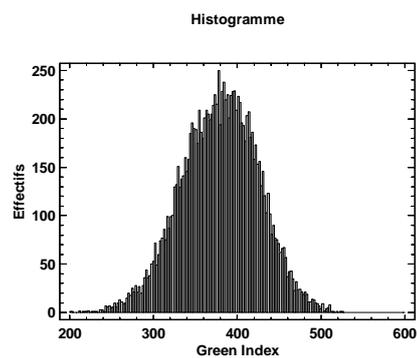
1.2- Analyse des données GI classées par polygone affecté à une ligne de mélèzes

Les modalités 1 à 4 sont des lignes de japonais et les 5 à 7 des mélèzes d'Europe.

Histogrammes de distribution des valeurs d'index GI pour les deux essences mélèze d'Europe et mélèze du Japon.

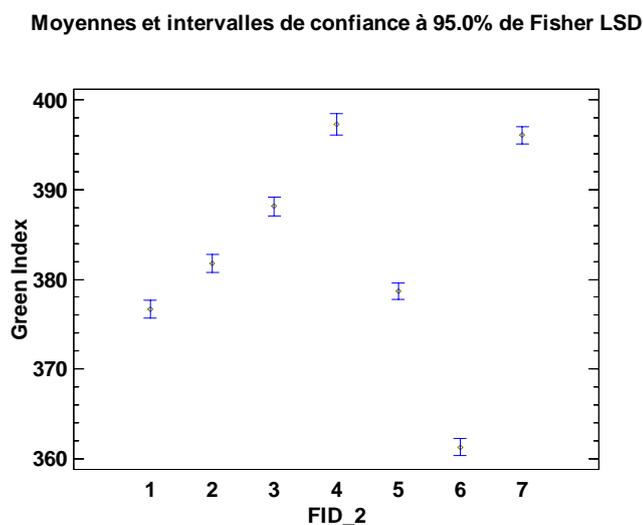


Mélèzes du Japon



Mélèzes d'Europe

Graphique de comparaison de moyennes d'index GI pour les différentes lignes dans le verger.



Conclusion

Qu'il s'agisse du NDVI ou de l'index GI les différences significatives observées entre lignes sont dues au grand nombre de données, les distributions de valeurs sont toutefois totalement superposées comme le montrent les deux histogrammes relatifs au GI. Il n'est en conséquence pas possible de détecter une différence significative réelle à partir des calculs d'index entre les deux essences mélèze d'Europe et mélèze du Japon. Le découpage manuel des zones d'étude est également un facteur d'imprécision important, l'étude d'un couvert complet et fermé avec un minimum de zones d'ombre et/ou de sol auraient certainement facilité ce type d'étude.

2- Douglas

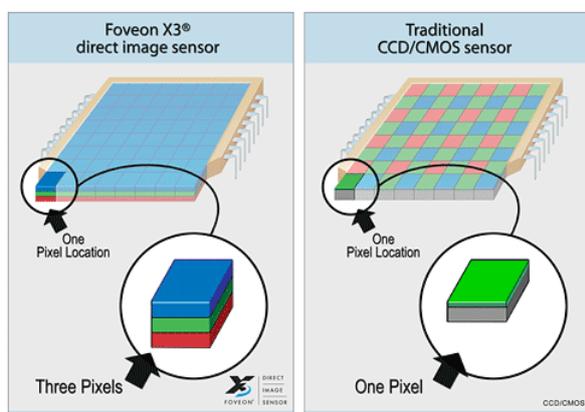
2.1- Quantifier les conséquences d'un stress hydrique par la télédétection

Un essai de mesure de tolérance à la sécheresse de deux origines de douglas a été mis en place en 2012 sous serre sur le domaine des Barres (cf partie "essai en conditions contrôlées" de ce rapport). Nous avons souhaité pouvoir évaluer le potentiel de la télédétection très rapprochée également nommée "proxy détection" pour confronter ces nouvelles données aux mesures dendrométriques et observations biologiques relevées sur un tel dispositif.

La télédétection permet de qualifier les couverts végétaux et de donner des éléments chiffrés tels que différents index de végétation. Les index de végétation sont en particulier très utilisés pour qualifier des régimes hydriques différents appliqués à une même culture. La proxy détection met en œuvre le même type de capteurs que la télédétection à basse altitude (drones ou ULM). Nous avons choisi de capter les spectres Rouge, Vert, Bleu et proche infra rouge qui permettent de calculer différents index de qualification des couverts végétaux dont le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

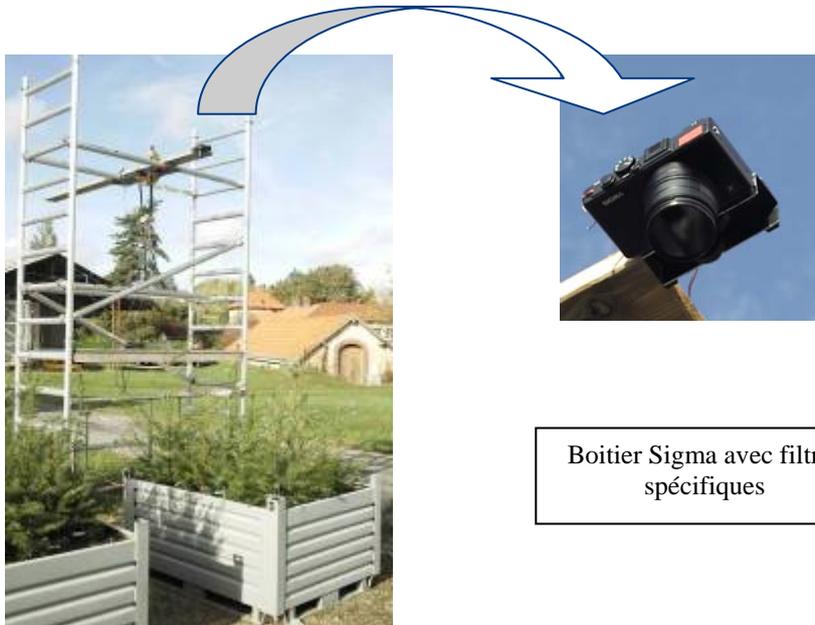
2.2- La télédétection à très faible hauteur ou "proxy-détection"

L'équipe TETIS a bien voulu prêter à l'équipe Geedaaf deux boîtiers "Sigma" modifiés pour capter les spectres R, V, B et proche infra rouge. Des essais de prise de vues ont été réalisés en octobre 2012 sur les 12 caisses de l'essai comparatif de résistance à la sécheresse de deux provenances de Douglas (La Luzette et Californie). Ces boîtiers sont dotés d'une nouvelle technologie de capteurs "Fovéon 3X®" présentés ci-dessous et qui permettent d'obtenir une matrice de pixels complète pour chaque spectre capté, la matrice d'un capteur classique consacre 50% de ses micro détecteurs au spectre vert, 25% au spectre bleu et le solde de 25% au rouge, une intégration logicielle interne au boîtier lisse ensuite la prise de vue pour recomposer une image cohérente.



Technologie de la prise de vues du boîtier Sigma équipé du capteur Foveon 3X®

Les deux boîtiers ont été montés sur une potence portée par un échafaudage mobile au dessus des caisses de culture de douglas. Trois séries de clichés ont été réalisées les 12, 15 et 16 octobre afin de définir les meilleurs paramètres de vitesse et ouverture d'objectif. En effet, le boîtier "classique" des spectres R, V et B s'utilise très classiquement et bénéficie des automatismes de gestion de la lumière, par contre le boîtier modifié pour le proche infra rouge ne fonctionne qu'en mode manuel et ce n'est qu'après vérification de la répartition du spectre sur histogramme que l'on peut valider ou ajuster les valeurs de prise de vue. Cette démarche était nouvelle pour nous, elle a en conséquence demandé de nombreux essais et apprentissages. Les fichiers générés sont propres au fabricant du boîtier et sont lus et traités avec une application logicielle spécifique permettant en particulier d'accéder à des fonctions statistiques de bas afin de vérifier la qualité de l'exposition. Les fichiers produits et utilisés en télédétection sont des fichiers de type "raw" ou "bruts" qui n'ont subi aucun ajustement logiciel intrinsèque au boîtier afin de respecter strictement le spectre lumineux reçu lors de la prise de vue et pouvoir comparer différents clichés, leur taille est assez importante avec environ 20 Mo par cliché. Pour une visualisation rapide ou à des fins de simple illustration, une copie en format photo classique retouchée est également délivrée par le boîtier. Afin de bénéficier de conditions de lumière constantes durant la prise de vues des 12 bacs de culture c'est l'échafaudage qui était rapidement déplacé par deux opérateurs d'une unité de culture à une autre selon un cheminement constant.



Boîtier Sigma avec filtres
spécifiques

Vue générale du dispositif de prise de vues et des caisses d'élevage de l'essai "Douglas"

2.3- Le traitement des images

Le traitement des images est en cours au sein de l'équipe TETIS qui nous prête son assistance sur cette action. Le traitement comporte très classiquement des étapes d'ortho rectification, de dé-vignetage et ensuite de superposition des prises de vues simultanées des deux boîtiers. Les premiers traitements ont été réalisés et font apparaître un différentiel d'angle de prise de vue entre les deux boîtiers, pourtant adossés l'un à l'autre, qui perturbe très sérieusement la superposition des images et en particulier des cimes de sujets les plus proches des objectifs. Pour les prochaines prises de vues nous réaliserons et testerons un module de portage des deux boîtiers avec une partie coulissante permettant de positionner successivement les deux boîtiers exactement dans le même axe de prise de vue. La résolution de prise de vue actuelle est de l'ordre du millimètre, il est probable que celle-ci soit volontairement dégradée pour simplifier la superposition des clichés et rendre possible le calcul des index de végétation et les représentations graphiques de ces derniers. Les clichés traités sont attendus pour le milieu du printemps 2013.



Cliché proche infrarouge



Cliché R, V et B

3- Pins noirs

Essai PL 04: Recherche de corrélations entre les différentes notes d'index de végétation (calculées d'après les prises de vues aériennes d'août 2009) et les taux de défeuillage observés à l'automne 2011.

Nous avons étudié la relation entre le taux moyen de défeuillage de chaque parcelle unitaire et les valeurs moyennes des différents index de végétation.

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

Table des résultats de régression multiple et seuils de probabilités

Aucun des paramètres (index de végétation Greenness Index (GI), Green NDVI, NDVI ou Photosynthetic Index (PRI)) calculés à partir des clichés pris en 2009 n'est corrélé au taux de défeuillage 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 n'a pu être observée. Les prises de vues faites en 2009 par télédétection et analysées par parcelle unitaire entière à cause de la résolution insuffisante n'ont pas permis de prédire la défeuillage observée deux ans après. Les défeuillages observés sont concentrés dans le bloc présentant des traces d'hydromorphie, elles suivent l'éclaircie qui a été réalisée en 2010 et semblent avoir été causées par la sécheresse du printemps 2011. Il est donc possible qu'aucun signe annonciateur de ces dégâts n'ait été visible deux ans auparavant.

4- Perspectives

Les prises de vues réalisées en 2009 présentent toutes une résolution suffisante pour les calculs des différents index de végétation au niveau de parcelles unitaires ou groupes d'arbres. La résolution est par contre insuffisante pour des analyses plus fines au niveau de chaque individu, que ce soit pour le calcul d'index de végétation ou plus encore pour les travaux de segmentation d'images pour détecter automatiquement les contours des houppiers et individualiser ainsi les résultats au niveau individuel "arbre".

Les travaux d'analyse réalisés jusqu'à présent se heurtent maintenant à une limite technique relative à la nature même des clichés captés à une altitude supérieure à celle attendue. En conséquence, nous avons sollicité la collaboration des équipes de Irstea Montpellier (Tetis) pour réaliser en juin et en août 2013 de nouveaux clichés à très haute résolution à l'aide d'un drone. Ce sont les dispositifs d'évaluation de pins noirs, PL04 et PL03.1, ainsi qu'un dispositif d'évaluation de Douglas qui seront l'objet de ces deux campagnes de prises de vues. Les efforts d'analyse d'images se concentreront donc à l'avenir sur ces nouvelles séries de clichés qui seront optimisés avec l'expérience acquise sur la série de prises de vues 2009.

Comportement des variétés de douglas face aux aléas climatiques

S. Girard*, G. Philippe**, J.-Ch. Bastien***, B. Chopart****

Les évolutions réglementaires et commerciales de ces dernières années, en supprimant certaines catégories de matériel et en mettant sur le marché des variétés de douglas jusqu'alors inconnues, ont pu dérouter les reboiseurs. S'ajoutent à cela les incertitudes sur la capacité du matériel planté aujourd'hui à surmonter demain les épisodes secs et chauds plus nombreux et intenses, prévus par les scénarios d'évolution du climat. Cet article revient sur les récentes évolutions et présente les résultats des premières plantations réalisées avec les nouvelles variétés.

Pendant des décennies, l'approvisionnement de notre pays en graines de douglas a reposé très largement sur l'importation de semences issues de l'aire naturelle de l'espèce et en particulier du piémont occidental de la chaîne des Cascades, au Nord-Ouest des États-Unis, essentiellement dans l'État de Washington.

Des importations désormais inutiles

Cette dépendance n'était pas sans poser problème: coût en devises élevé mais aussi qualités sanitaire⁽¹⁾ et génétique irrégulières des graines, fructification irrégulière, exploitation progressive des peuplements américains sélectionnés par les scientifiques européens dans les années 80... La recherche d'une autonomie

dans ce domaine est à l'origine de la sélection de peuplements porte-graines sur le territoire français et de l'installation d'une centaine d'hectares de vergers à graines. Ces derniers sont progressivement entrés en production et ont, petit à petit, remplacé le matériel américain. Un arrêté d'octobre 2003⁽²⁾ a mis fin définitivement aux importations en interdisant la vente de douglas ne présentant pas un minimum de garantie quant à leur qualité génétique. Le matériel américain, vendu sous étiquette jaune avec pour seule garantie l'origine géographique du peuplement récolté – et non sa qualité – devenait de fait inutilisable.

Du matériel français qui gagne en qualité

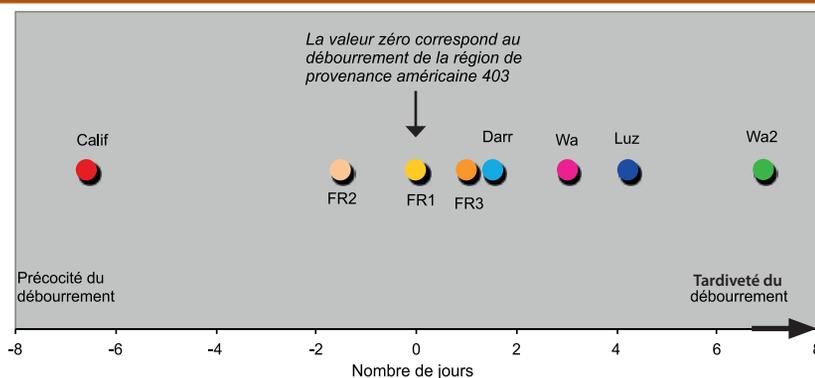
Dans la recherche de l'indépendance commerciale, la première étape fût de repérer, sur le territoire, de beaux peuplements pouvant être utilisés comme sources de graines. Dans cette démarche, la sélection concerne l'ensemble des arbres composant le peuplement. La qualité génétique des descendants de ces



© S. Girard, CNPF-IDF

Les plants au centre de la photo ont été impactés par le gel (pousses rouges), il s'agit de la variété 'Californie' (Pépinière Naudet d'Autun en avril 2010).

Fig. 1 : classement des variétés françaises de douglas selon la tardiveté de leur débournement. Graphe synthétique établi à partir des données recueillies sur 4 sites différents en 2010 et 2011 par IRSTEA.



FR1 : France1, FR2 : France 2, FR3 : France3, Darr : Darrington, Luz : La Luzette, Wa : Washington, Wa2 : Washington2, Calif : Californie.

peuplements est *a priori* inférieure à celle de plants issus de parents sélectionnés chacun individuellement. Elle représente néanmoins une amélioration indéniable face aux pratiques de récoltes de graines anarchiques.

Les premières variétés françaises issues de vergers à graines ont été commercialisées dans les années 1980 (Bout24, Eu, Ingrannes, Les Barres...). Elles correspondaient au croisement de copies d'arbres « + »⁽³⁾ sélectionnés pour leur vigueur et leur forme dans des peuplements forestiers français adultes au cours des années soixante. C'est sur ce même schéma, qu'a été réalisé le verger de Darrington (PME-VG-001). Mais, dans son cas, les arbres « + » ont été sélectionnés au Danemark dans les années soixante-dix. Cette première génération de vergers est composée d'arbres sélectionnés individuellement certes, mais dans des conditions de milieu variables (classes de fertilité, âge, sylviculture, etc. différents). Un cran d'amélioration supplémentaire a donc été franchi lorsqu'il a été possible de sélectionner, dans des tests comparant des provenances ou des descendances, des individus supérieurs aux autres, toutes influences extérieures étant égales par ailleurs. C'est avec de tels arbres « ++ »⁽⁴⁾ qu'ont été constitués les vergers La Luzette-VG (PME-VG-002), Washington-VG (PME-VG-003) et Californie-VG (PME-VG-006). Les arbres composant les vergers les plus récents que sont France1-VG (PME-VG-004), France2-VG (PME-VG-007), France3-VG (PME-VG-008) et Washington 2-VG (PME-VG-005) ont fait l'objet d'un niveau de sélection supplémentaire (arbres ++++) dans la me-

sure où leur qualité a été jugée non seulement à partir de leurs performances propres mais aussi de celles de leur famille au sein d'une provenance. L'efficacité de la sélection est ainsi accrue.

De nouvelles variétés en cours d'évaluation...

Actuellement, 8 variétés de douglas sont commercialisées (voir Tableau 1, p. 26-27). La Luzette est celle que le sylviculteur trouve le plus couramment en pépinière, Darrington est également bien présente cette année ainsi que France1 (voir article p. 12 de ce numéro). Si La Luzette et Darrington sont utilisées depuis longtemps et bien connues des sylviculteurs – elles sont d'ailleurs commercialisées en catégorie testée sous étiquette bleue – ce n'est pas le cas des autres variétés récoltées pour la première fois, il y a moins de 5 ans. Nous ne décrivons pas, dans cet article, chacune de ces variétés, le lecteur intéressé pourra consulter les fiches de présentation éditées par le marchand de graines Vilmorin en 2011⁽⁵⁾. Nous essaierons plutôt de les positionner les unes par rapport aux

autres vis-à-vis de différents critères et notamment de l'adaptation au changement climatique. Nous considérerons, pour ce faire, les qualités de leurs géniteurs ainsi que les résultats des plantations comparatives réalisées avec les tous premiers plants disponibles.

... y compris en zones sèches et en altitude

Par le passé, lorsque le changement climatique n'était pas encore une préoccupation majeure, les nouvelles variétés étaient évaluées dans des dispositifs expérimentaux situés dans les zones où la variété devait être plantée. C'est ainsi que, dans le cas du douglas, les tests d'évaluation ont été principalement installés dans le Limousin, le Morvan ou/et en Auvergne. Face aux questions posées par l'évolution du climat, il devenait indispensable d'évaluer les nouvelles variétés dans une gamme plus large de climats, plus chauds et secs, pour anticiper un réchauffement, mais aussi plus froids pour appréhender les conséquences de plantations à des altitudes plus élevées. Irstea, l'Inra, l'ONF et le CNPF se sont donc

Tableau 1 : principales caractéristiques des variétés de douglas actuellement commercialisées en France

Nom usuel des variétés	Darrington	La Luzette	Washington	
Code	PME-VG-001	PME-VG-002	PME-VG-003	
Catégorie réglementaire	Testé (étiquette bleue)			
Niveau d'amélioration	+	++	++	
Provenance des arbres du verger	USA Washington SZ 403	17 % de peuplements français, le reste du NE américain (78 % du Washington, 2 % de l'Orégon et 3 % de Colombie britannique)	USA, 16 Seed Zones de l'ouest du Washington (dont 30 % de SZ 030 et 12 % de SZ 403)	
Lieux de sélection des arbres du verger	En plantation de plus de 20 ans au Danemark	Dans 10 plantations comparatives en France (Vosges, Hte Vienne, Meurthe et Moselle, Dordogne)	En pépinière à Orléans	
Age des arbres au moment de la sélection	+ 20 ans	10 ans	3 ans	
Critères de sélection	Vigueur, tardiveté du débourrement, qualité du bois	Vigueur, tardiveté du débourrement, qualité de la branchaison	Tardiveté du débourrement + hauteur à 3 ans	
	Le plus : prise en compte de la qualité du bois		Sélection précoce => la forme n'a pu être prise en compte	
Caractères améliorés*	Tardiveté du débourrement	Tardiveté du débourrement		
	Branchaison, Fourchaison Rectitude du tronc	Croissance en hauteur et en circonférence		
Zone d'utilisation conseillée	France, hors zone supra-méditerranéenne			

* uniquement pour les variétés commercialisées en catégorie testée. Il s'agit des caractères pour lesquels la supériorité des variétés a été mesurée dans des tests âgés de 12 ans en comparaison avec du matériel issu de peuplements français.

associés dans le cadre d'une action financée par le ministère en charge des forêts pour définir, mettre en place et gérer en commun un réseau de plantations comparatives dont le but est de préciser les potentialités et les limites climatiques des différentes variétés de douglas (voir encart ci-contre). Les premières plantations ayant été installées à l'automne 2009, le recul est encore très insuffisant pour atteindre cet objectif. Il nous a néanmoins paru important de présenter certains résultats qui pourront aider le sylviculteur dans son choix.

Sensibilité aux gelées tardives

La fréquence des gelées de fin de printemps est relativement élevée dans un certain nombre de régions et augmente avec l'altitude. Pour y échapper, un débourrement tardif est préférable. Ce caractère est stable dans le temps, ce qui signifie que l'ordre dans lequel débourent différentes variétés à l'âge adulte est le même qu'au stade de jeune plant. Des observations ont ainsi pu être faites sur les premières plantations comparatives du réseau. Elles ont permis de classer les variétés selon le caractère plus ou moins tardif de leur

débourrement (Fig. 1, p. 25).

'Californie' est de loin la variété la plus précoce, elle ne doit donc pas être utilisée dans des zones où des gelées tardives de printemps sont fréquentes. Dans les sites où le phénomène est très courant et en altitude, la variété 'Washington2' semble, en l'état des connaissances, la plus sûre, car la plus tardive. Précisons toutefois que, dans les 26 sites que compte le réseau, les gelées de printemps ont été responsables de la destruction des jeunes pousses latérales ou terminales mais n'ont qu'exceptionnellement conduit

Washington2	France 1	France 2	France 3	Californie
PME-VG-005	PME-VG-004	PME-VG-007	PME-VG-008	PME-VG-006
<i>Qualifiée (étiquette rose)</i>				
+++	+++	+++	+++	++
USA Washington 9 Seed Zones différentes (dont 30 % de SZ 202, 22 % de SZ 412 et 18 % de SZ 403)	150 arbres de 23 peuplements français situés dans les départements 71, 69, 42 et 34 entre 350 et 750 m d'altitude			USA, 10 Seed zones différentes, californiennes essentiellement
Dans 1 test de provenances/descendances en Dordogne	Dans 2 tests de descendances en Hte Vienne (450 m d'altitude) et en Creuse (720 m d'altitude)	Dans 1 test de descendances situé en Ariège près de St Giron à 900 m d'altitude	Dans 1 test de descendances situé près d'Epinal dans les Vosges	Dans 4 tests de provenances installés en climat méditerranéen entre 540 et 1200 m d'altitude
16 ans	10 ans	10 ans	10 ans	8 et 16 ans
Vigueur, tardiveté du débourrement, densité du bois et forme	Vigueur, tardiveté du débourrement et forme			Vigueur, forme, tardiveté du débourrement
le plus: prise en compte de la qualité du bois				
	France, hors zone supra-méditerranéenne, altitude inférieure à 800 m			Zone supraméditerranéenne et sud du massif central (PACA, Languedoc-Roussillon, Ardèche, Aveyron, Tarn et Lot)

Le réseau national de plantations comparatives de variétés de douglas :

Huit variétés évaluées: Darrington, Luzette, Washington, France1, France2, France3, Washington2, Californie et un témoin:

Origine américaine SZ 403

Vingt-six sites:

- 8 dans le « cœur de l'aire » à des altitudes inférieures à 800 m : Morvan, Limousin, Auvergne ;
- 6 installés en altitude entre 1 000 et 1 300 m (Puy-de-Dôme, Loire, Hte-Loire, Lozère) ;
- 9 dans des zones où le douglas a donné jusqu'à présent des résultats satisfaisants mais où des dépérissements ont eu lieu suite à 2003 et 2005 (Sud du Massif central: Aveyron, Tarn, mais aussi Beaujolais, Clunyois...), zones regroupées sous le vocable « marge sèche » ;
- 3 sites se trouvent dans des zones à climat méditerranéen, convenant *a priori* mal au douglas, du moins aux provenances habituellement utilisées (Aude, Alpes-Maritimes, Lot).

Trois types de dispositifs: en parcelles unitaires monoarbre, en grandes parcelles unitaires et en placeaux de démonstration.

Pour un descriptif plus complet, se reporter à l'article « Un réseau national de plantations comparatives pour évaluer les vergers à graines français de Douglas », de Philippe et *al.*, paru en janvier 2012 dans la revue Sciences Eaux et Territoires et téléchargeable à l'adresse: <http://www.set-revuefr/un-reseau-national-de-plantations-comparatives-pour-evaluer-les-vergers-graines-francais-de-douglas>



© Th. Guyot, Pépinières Naudet

À droite la variété 'Californie' dont le débourrement est bien avancé puisque les nouvelles pousses sont visibles, à gauche 'Washington 2' dont les bourgeons sont encore fermés (Pépinière Naudet d'Autun, en avril 2011).

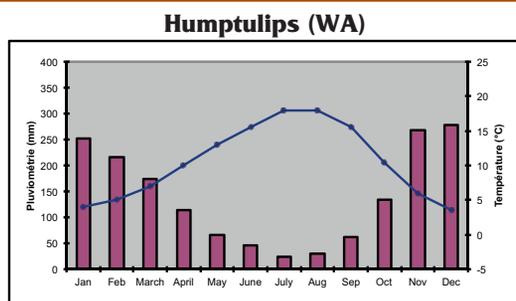
L'expérience de Th. Guyot, chef de culture de la pépinière Naudet d'Autun (71)

« Depuis 2009, la pépinière produit la plupart des variétés de douglas inscrites au registre national. À notre niveau, nous n'avons pas remarqué de grandes différences entre les nouvelles variétés et les anciennes à l'exception toutefois de 'Californie'.

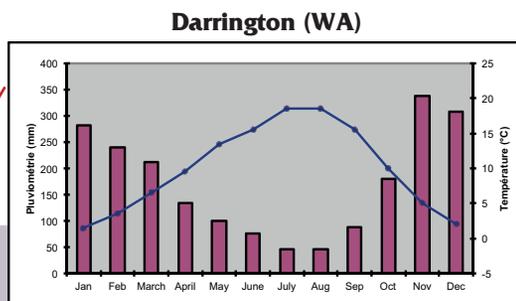
En effet, lors des deux dernières saisons, cette variété a été touchée par le gel non seulement au printemps (car elle débourre plus tôt que les autres) mais aussi à l'automne. Par exemple, à l'automne 2011, les premières gelées n'ont pas été trop fortes (-1 °C le 15 octobre puis -2 °C le 20) mais les plants de 'Californie' de 2 ans qui venaient d'être repiqués ont été affectés par ce gel contrairement aux plants des autres variétés. De 5 à 10 % d'entre eux ont rougi mais ne sont pas morts pour autant.

Les -21 °C du mois de février 2012 ont eu les mêmes conséquences, les plants ont rougi, quelques aiguilles sont tombées mais nous n'avons déploré qu'une très faible quantité de plants morts. En revanche, ces dégâts de gel ont dégradé la qualité des plants dont une quantité plus importante a dû être éliminée lors du tri. Les plants restants ont nécessité un ou deux coups de sécateurs et donc un temps de préparation en salle de tri plus long. »

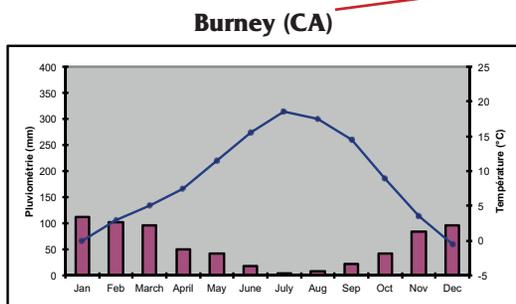
Figure 2 : données climatiques de quatre stations météorologiques des États-Unis.



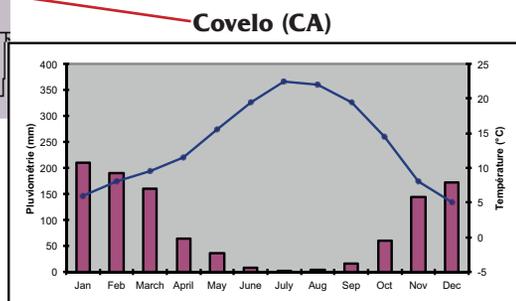
Altitude: 43 m
 T° annuelle moyenne: 10,6 °C
 Précipitation moyenne annuelle: 1 669 mm
 Précipitation moyenne de mai à septembre: 232 mm



Altitude: 168 m
 T° annuelle moyenne: 10 °C
 Précipitation moyenne annuelle: 2 058 mm
 Précipitation moyenne de mai à septembre: 358 mm



Altitude: 975 m
 T° annuelle moyenne: 8,7 °C
 Précipitation moyenne annuelle: 683 mm
 Précipitation moyenne de mai à septembre: 97 mm



Altitude: 430 m
 T° annuelle moyenne: 13,4 °C
 Précipitation moyenne annuelle: 1 072 mm
 Précipitation moyenne de mai à septembre: 70 mm



La totalité des arbres du verger Darrington-VG est originaire de la région éponyme, tandis qu'une forte proportion des arbres des vergers Washington-VG et Luzette-VG sont originaires des régions de Humptulips et/ou Darrington.

Dans le cas du verger Californie-VG, 21 % des arbres le constituant sont issus de la région de Burney, 19 % de celle de Covelo.

à la mort du plant, y compris pour la variété 'Californie'.

Sensibilité aux gelées d'automne

Pour juger de ce caractère, il faut suivre l'aoûtement des pousses de l'année, phénomène qui leur permet de supporter les basses températures de l'hiver (on parle d'ailleurs d'endurcissement au froid). Un tel suivi nécessite des moyens techniques qui n'ont pu jusqu'à présent être mobilisés. Précisons que des dégâts de gel d'automne n'ont été observés que dans un seul des sites du réseau analysés⁽⁶⁾ où toutes les variétés testées ont été touchées avec la même inten-

sité. En revanche, en pépinière, où le phénomène s'est produit en 2011, il semble avoir davantage impacté la variété 'Californie' que les autres variétés (voir témoignage ci-contre). Le sujet reste donc à approfondir.

Adaptation à la sécheresse: ce que dit la généalogie

À l'exception de 'Californie', créée en prévision de plantations en zone supra-méditerranéenne, l'ensemble des variétés disponibles est constitué quasi exclusivement d'arbres originaires de l'état de Washington. Même les peuplements français, qui ont servi de « pied de cuve » aux vergers « France » et à La Luzette-VG,

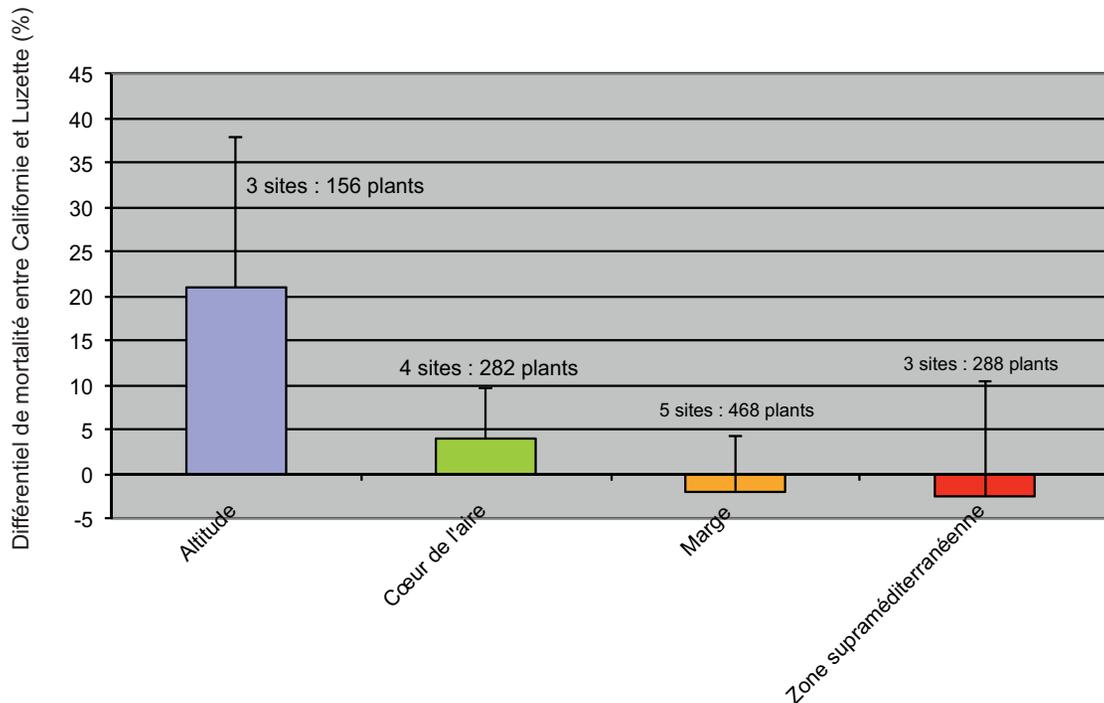
sont très probablement originaires de cette zone⁽⁷⁾.

De ce fait, il est peu probable que de grosses différences existent entre ces variétés pour la sensibilité à la sécheresse, d'autant que ce caractère n'a jamais été pris en compte lors du choix des arbres « + ».

En revanche, la variété 'Californie', dont les constituants sont originaires de la zone sud de l'aire du douglas vert, plus chaude et sèche, pourrait se comporter différemment (Fig. 2). Ces hypothèses devront néanmoins être vérifiées par des études spécifiques.

Source des données météorologiques : USDC, NOAA

Figure 3 : comparaison du taux de mortalité, 3 ans après plantation, des variétés Californie et La Luzette dans 15 sites du réseau national d'évaluation regroupés par zones climatiques.



Le différentiel correspond au taux de mortalité de la variété Californie soustrait de celui de la variété Luzette, il est donc positif lorsque le taux de mortalité de la variété Californie est supérieur à celui de la variété Luzette. Les barres sont les écarts-types à la moyenne. Le nombre de sites concernés ainsi que le nombre de plants pris en compte sont mentionnés au-dessus des barres.

Variété Californie-VG : premières observations

Sur les plus anciens dispositifs du réseau national, nous avons comparé le taux de survie et la croissance de la variété 'Californie' à ceux de la variété 'La Luzette'. Avec seulement 3 années de recul, ces résultats sont à considérer avec précaution. Néanmoins, à partir des observations et mesures réalisées sur plus d'un millier de plants, deux tendances apparaissent assez nettement.

La mortalité de la variété 'Californie' est du même ordre que celle des « valeurs sûres » que sont 'La Luzette' et 'Darrington', sauf en altitude où elle est nettement plus forte (Fig. 3). Outre le décalage du débourrement et de l'aoûtement de cette variété que nous avons déjà signalé et qui limitent son installation en altitude,

cette variété pourrait présenter une moindre résistance aux froids hivernaux, hypothèse qui reste néanmoins à vérifier.

Par ailleurs, elle présente quasiment partout une croissance en hauteur plus faible que 'La Luzette' (Fig. 4). Le différentiel semble toutefois diminuer lorsque les conditions deviennent plus sèches. Ainsi, dans le cœur de l'aire du douglas et en altitude, le différentiel est d'environ un quart, il se réduit en marge sèche et s'annule et s'inverse même sur un des sites les plus secs.

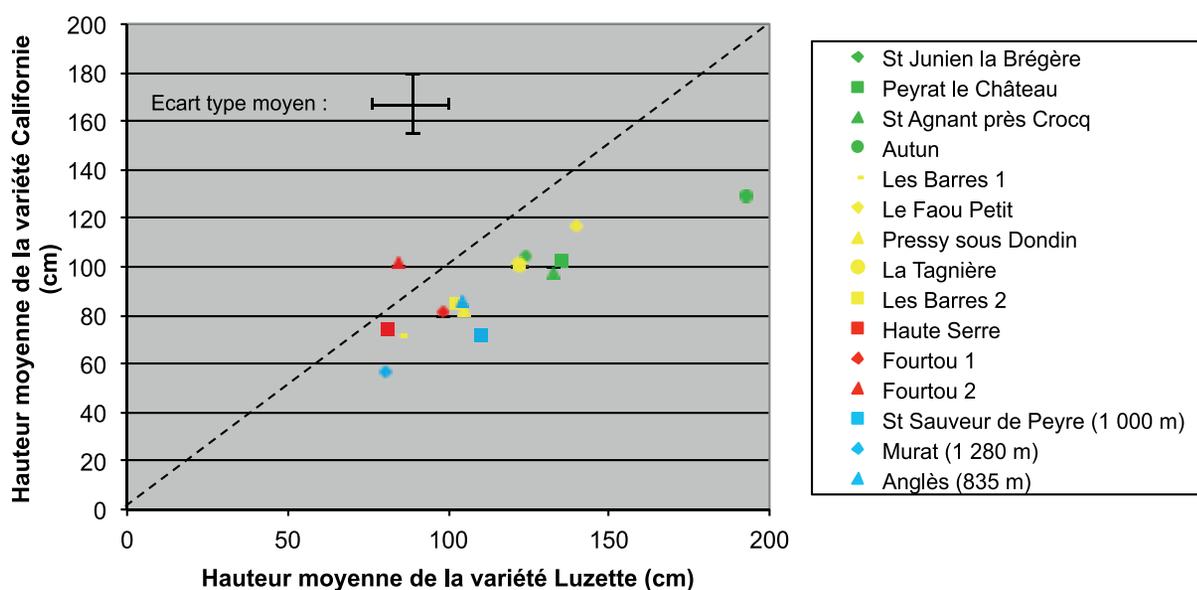
Des travaux à poursuivre

Mise à part la sensibilité aux gelées de printemps, le comportement des variétés actuellement plantées face aux aléas climatiques que sont la sécheresse, les fortes chaleurs ou au

contraire les basses températures, est encore mal connu. Le suivi des dispositifs comparatifs installés sous une large gamme de conditions climatiques doit bien entendu se poursuivre. Il devrait permettre assez rapidement de préciser leur sensibilité aux gelées d'automne et, à moyen terme, d'évaluer leur adaptation à des milieux variés.

Néanmoins, pour mieux appréhender leur vulnérabilité à des aléas climatiques dont certains devraient être plus fréquents à l'avenir, des études complémentaires en conditions partiellement ou totalement contrôlées⁽⁸⁾ pourraient permettre, à relativement court terme, de préciser la sensibilité de ces variétés au froid hivernal et à des épisodes secs plus ou moins intenses, longs ou précoces...

Figure 4 : hauteur, 3 ans après plantation, des variétés Californie et La Luzette dans 15 sites du réseau national d'évaluation.



L'axe horizontal correspond à la hauteur moyenne de la variété Luzette sur le site concerné, l'axe vertical à celle de la variété Californie. Les symboles de même couleur correspondent à des sites situés dans les mêmes types de milieu : vert pour le cœur de l'aire de l'espèce, jaune pour les marges plus sèches, rouge pour la région supra méditerranéenne et bleu pour les sites d'altitude.

Par ailleurs, alors que les critères de sélection qui ont présidé à la création des variétés de douglas actuellement plantées concernaient surtout la vigueur, les futures variétés devront être capables de produire en conditions plus sèches. De nouveaux critères de sélection devront donc être appliqués et de nouveaux outils développés. En effet, comment juger de la tolérance d'un individu à la sécheresse? Les récents travaux sur la densité du bois du douglas et ses liens avec la capacité de résister à la sécheresse ouvrent des perspectives très intéressantes (Rozenberg et al., 2012). ■

* IDF- CNPF, Lyon, courriel: sabine.girard@cnpf.fr
 ** Irstea, (ex-Cemagref) Groupe d'Etude et d'Expertise Diversité Adaptative des Arbres Forestiers, Nogent-sur-Vernisson.
 *** Inra, U.R. Amélioration, Génétique et Physiologie Forestières, Orléans.
 **** ONF, DTCEB, R & D Dole.

- 1) Par exemple, *Megastigmus spermotrophus* est un insecte hyménoptère dont la larve se développe dans les graines de douglas.
- 2) Arrêté du 24 octobre 2003 relatif à la commercialisation des MFR (J.O N°248 du 25 octobre 2003).
- 3) Des greffons étaient prélevés sur les arbres sélectionnés et greffés en pépinière. Les plants dont les greffes avaient réussi étaient ensuite plantés tous ensemble pour constituer un verger à graines.
- 4) Cette terminologie arbre +, arbre ++ et arbre +++ est tirée de Héois et Bastien 1996.
- 5) Ces fiches sont téléchargeables sur le site de France Douglas à l'adresse suivante: <http://www.france-douglas.com/2012-05-11-20-03-13/l-arbre/sylviculture>.
- 6) À Soussat dans le Puy-de-Dôme à 1 080 m
- 7) Pas de certitude (il ne reste pas de trace de l'origine des vieux peuplements) mais de fortes présomptions corroborées par les sources anciennes d'approvisionnement de graines et par des similitudes de comportement dans les tests de provenances entre peuplements français et provenances de Washington (et nord Orégon) en particulier au niveau de la date de débournement.
- 8) En serre ou en chambre climatisée par exemple.

Bibliographie

■ Rozenberg, Sargent, Dalla-Salda, Martínez-Meier, Marin, Ruiz-Díaz, Bastien, Sanchez, Bréda, 2012. Analyse rétrospective de l'adaptation à la sécheresse chez le douglas. *Schweiz Z Forstwes*, 163, 3 p. 8895.

Résumé

La mise en place d'un réseau d'évaluation national et multi-organismes à partir de 2009, a permis d'établir que la variété 'Californie' était la plus précoce des 8 variétés actuellement commercialisées et 'Washington2', la plus tardive. À terme, ce réseau permettra également de mieux appréhender les réponses des différentes variétés aux aléas climatiques que sont la sécheresse, les fortes chaleurs ou au contraire les basses températures.

Mots-clés: douglas, variétés commercialisées, évaluation.