



► Amélioration du Douglas et déploiement des plantations en France



Janvier 2022

Auteurs :

Leopoldo Sanchez

Jean-Charles Bastien

hal-03496829

Avec les contributions

d'Anne Jambois et Sylvie Colleu

Etude de cas du département ECODIV réalisée selon la méthode ASIRPA
(Analyse de l'impact sociétal de la recherche) mise au point par INRAE

Résumé

Le douglas est une espèce forestière originaire de l'ouest de l'Amérique du Nord, particulièrement appréciée et valorisée pour la qualité de son bois, sa vigueur et sa résistance aux maladies et aux insectes. Après le pin maritime, c'est l'essence résineuse la plus utilisée dans les reboisements français. Dès le début des années 1960, l'INRA s'est engagé dans un programme d'amélioration génétique du douglas pour, d'une part, créer des variétés adaptées aux reboisements dans les stations forestières productives de basse et moyenne altitude et, d'autre part, mettre en place des vergers à graines pour assurer la production de semences. Ces travaux de recherche ont contribué à générer les **impacts** suivants :

- Economique : plus de 100 000 ha de reboisement ont été réalisés à partir des graines améliorées issues des travaux de l'INRA. Les gains génétiques sur la production en volume de bois, par rapport à des populations sauvages, engendrent un supplément de revenu pour le massif français de douglas estimé à 15 M€ par an.
- Politique : depuis 2011, la France n'est plus tributaire d'importations pour satisfaire ses besoins en graines de douglas et est même exportatrice en Europe.
- Environnemental : le douglas tend à se substituer à l'épicéa commun qui souffre de dépérissement dans le contexte du changement climatique. Avec un impact minime sur les sols comparativement à d'autres résineux, le douglas est l'espèce forestière métropolitaine la plus performante pour la séquestration du carbone.
- Sociaux : le douglas contribue à la compétitivité et la dynamique de la filière forêt-bois dans de nombreuses régions de France. La production annuelle de bois, d'actuellement 3 Mm³, devrait atteindre 6 Mm³ en 2035; le douglas représentera alors un tiers de la production nationale de sciages de conifères. Toutefois, dans certaines régions où le reboisement n'a pas été encadré par un aménagement du territoire, la plantation de douglas a suscité des controverses au sein de la société civile.

Le travail de création variétale s'est déroulé dans un **contexte** de besoin croissant en bois résineux pour la construction, et l'industrie du panneau, pour lesquelles les qualités technologiques du bois de douglas sont particulièrement valorisées.

Les recherches ont été réalisées grâce au **partenariat** entre l'INRA, l'IRSTEA (tous deux regroupés aujourd'hui au sein d'INRAE), l'institut technologique FCBA et l'Office National des Forêts. Depuis 2020, INRAE, FCBA, ONF et l'association France-Douglas sont associés dans un consortium (Douglas-Avenir) dont la mission est de définir en lien avec la filière et mettre en œuvre la stratégie d'amélioration génétique du douglas sur le long terme.

Les huit vergers à graines de douglas en production sont gérés et exploités dans le cadre d'une mission d'intérêt général, associant l'Etat (Ministère de l'Agriculture- MAA), le GIE "Semences Forestières Améliorées" (ONF et les E^{ts} Vilmorin) et INRAE. Un réseau de dispositifs expérimentaux plantés en France entière a été mis en place pour évaluer sur le long terme les performances des variétés forestières issues des vergers. Les résultats actualisés de ces essais sont publiés dans une fiche de conseils d'utilisation disponible sur le site internet du MAA (<https://agriculture.gouv.fr/graines-et-plants-forestiers-conseils-dutilisation-des-provenances-et-varietes-forestieres>).

Contexte et problématiques initiales

Le douglas (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Fanco) est une espèce forestière majeure de l'ouest de l'Amérique du Nord, particulièrement appréciée et valorisée pour la qualité de son bois, sa vigueur et sa résistance aux maladies et aux insectes. Son introduction en Europe date de 1827, sous forme de graines récoltées par le botaniste et explorateur écossais David Douglas. En France, le douglas a été introduit vers 1840, en jardins botaniques dans un premier temps. Il faudra attendre la fin du 19^e siècle pour qu'il commence à être utilisé en reboisement.

Après la seconde guerre mondiale, pour dynamiser la gestion des forêts françaises et développer la filière bois, un plan de reboisement a été entrepris sous l'égide du Fonds Forestier National (1947 -1999)

C'est dans ce **contexte** de soutien au reboisement que des plantations de douglas ont été déployées sur le territoire. Afin de s'adapter aux besoins nationaux, ces nouvelles plantations ont dû répondre aux **problématiques** suivantes :

- être adaptées aux stations forestières productives de basse et moyenne altitude
- produire du bois d'œuvre ayant une bonne résistance mécanique.

Pour répondre à l'importante demande en semences et plants pour réaliser ces reboisements, les défis à relever étaient les suivants :

- fournir rapidement aux reboiseurs les meilleures sources de graines à importer depuis l'aire naturelle du douglas (les récoltes de semences sur les peuplements français de douglas étaient insuffisantes pour satisfaire la demande).
- mettre en place des structures de production (vergers à graines) pour fournir une quantité suffisante de semences et assurer dans les meilleurs délais l'autosuffisance nationale en Matériels Forestiers de Reproduction (MFR) de qualité.
- résoudre les problèmes phytosanitaires liés aux deux principaux insectes ravageurs attaquant les semences de douglas : *Megastigmus spermotrophus* et *Leptoglossus occidentalis*.

Contributions d'INRAE et de ses partenaires

PROGRAMME DE SELECTION ET AMELIORATION DU DOUGLAS

Dès le début des années **1960**, l'INRA s'est engagé dans un programme de sélection/amélioration du douglas. Ces activités ont été mises en œuvre par la Station d'amélioration des arbres forestiers de Nancy puis d'Orléans (suite à son transfert géographique en 1973). En 1998, ce laboratoire est devenu "Unité de recherche Amélioration Génétique et Physiologie Forestières" et, depuis janvier 2018, "Unité Mixte de Recherche INRA-ONF Biologie intégrée pour la valorisation des arbres et de la forêt".

Pour **identifier les meilleures sources de graines issues de peuplements sauvages**, un intense travail de tri de populations naturelles et artificielles françaises a été réalisé par l'INRA et l'AFOCEL (aujourd'hui FCBA) sur une durée d'environ 20 ans, aboutissant à un réseau expérimental couvrant 150 ha sur une soixantaine de sites en France entière et évaluant environ 570 populations.

Cette exploration de la diversité intraspécifique du douglas a été largement stimulée par l'initiative prise, à la fin des années **1960** par l'Union Internationale des Instituts de Recherche Forestière (IUFRO), de réaliser des récoltes contrôlées de graines dans des populations d'une dizaine d'espèces forestières nord-américaines. Concernant le douglas, 180 lots de graines collectés sur l'ensemble de l'aire naturelle ont été distribués à 19 instituts de recherche de 14 pays européens et ont permis de mettre en place près d'une centaine de sites expérimentaux en Europe (dont une quinzaine en France).

Dès le milieu des années **1970**, ces tests de provenances (pour certains structurés en descendance d'arbres individualisés) ont permis à l'INRA de formuler des recommandations sur les régions de provenances dans l'aire naturelle d'où importer les graines de douglas (Cf. Outputs).

En lien avec l'unité Irstea "Ecosystèmes Forestiers" de Nogent sur Vernisson, l'INRA a aussi valorisé les graines distribuées par l'IUFRO pour **préserver**, dans des environnements contrastés, **35 origines particulièrement performantes** sous forme de 2 à 4 placeaux chacune (dits "placeaux de provenances authentifiées"). Outre leur rôle premier de conservatoire de ressources génétiques, ces placeaux constituent également aujourd'hui de précieux observatoires sur l'adaptation et la plasticité de populations naturelles du douglas en France, notamment dans le présent contexte évolutif du climat.

SELECTION D'ARBRES ELITES ET CREATION DES VERGERS A GRAINES

Les vergers à graines de l'Etat (VGE) sont des structures de production de semences dont les matériels de base (clones d'arbres d'élite) sont issus du programme d'amélioration du douglas conduit par l'INRA. La grande majorité des arbres élite ont été sélectionnés au sein des ressources génétiques fournies par les tests de provenances/descendances mis en place pour étudier la variabilité naturelle du douglas. Les objectifs de sélection étant prioritairement orientés vers une utilisation du douglas pour une production de bois d'œuvre ayant une bonne résistance mécanique, les critères pris en compte dans la sélection des arbres d'élite ont été les suivants :

- Adaptation : Les stations forestières présentent fréquemment une ou plusieurs caractéristiques défavorables, causes de mortalité, de croissance lente ou de mauvaise forme pour les arbres qui y sont installés. La sélection de variétés à débourrement tardif a significativement réduit les dégâts causés par les gelées de printemps en pépinière.
- Vigueur : L'augmentation de vigueur se traduit dès les premières années sur la croissance en hauteur. En pépinière, elle peut permettre de gagner une année d'élevage. Après plantation, les plants sortent plus rapidement de la zone de concurrence des fougères, des ronces et des genêts; le nombre des dégagements nécessaires, est donc réduit. Ultérieurement, le peuplement produit un surcroît de bois qui, dans le cas des variétés actuelles de douglas, est d'environ 25 à 30% soit, selon les stations, un gain d'une à deux classes de fertilité des tables de production françaises. Le forestier a dès lors le choix entre une récolte accrue à un âge égal et un âge d'exploitation avancé à volume récolté égal.
- Architecture de l'arbre : Des gains appréciables ont été obtenus d'une part sur la réduction du nombre de fourches et du nombre de branches et d'autre part sur l'angle d'insertion de ces dernières (plus orthogonal au tronc). Une réduction du nombre et du volume des nœuds est attendue au niveau des sciages.
- Propriétés du bois : chez le douglas, à largeur de cerne donnée, la densité du bois est plus élevée que chez les autres résineux. C'est pourquoi, la sélection variétale s'est surtout efforcée de ne pas dégrader la densité en augmentant la croissance. En outre, liée indirectement à la résistance des arbres à la cavitation¹, la densité du bois est également utilisée comme un indicateur de la tolérance du douglas au stress hydrique.

Entre **1978 et 1989, huit vergers à graines inclus dans le programme des vergers à graines de l'Etat**, ont été mis en place dans le Lot et le Tarn, sur une surface totale de 92 ha, hors de la pollinisation exogène d'autres peuplements de douglas. Une description succincte de ces vergers est donnée ci-dessous :

Mode de sélection des clones	Vergers	Date d'installation	Surface (ha)	Nombre de clones Initial / actuel
Phénotypique au sein de provenances	Darrington (Lot)	1978	13,7	70 / 70
	Luzette (Lot)	1981	35,5	350 / 226
	Washington (Tarn)	1984	7,6	378 / 289
	Californie (Lot)	1986	5,5	116 / 108
Génétique au sein de descendances	Washington-2 (Tarn)	1983	8,5	137 / 106
	France (Lot)	1989		
	1		6,5	139 / 110
	2		5,1	151 / 138
3	9,9	153 / 150		

Environ 1500 clones mobilisés par greffage ou bouturage constituent le matériel de base de ces vergers . Le nombre élevé de clones que renferment chacun des vergers garantit une grande diversité génétique des matériels forestiers de reproduction qui en sont issus.

¹ Pour amener la sève au sommet des arbres, les feuilles génèrent par évaporation une dépression très forte. La pression devient alors négative, jusqu'à -200 bars ! L'eau est dans un état métastable et peut caviter, avec l'apparition brutale de bulles, provoquant une embolie dans la circulation de la sève.

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une **convention** au sein de laquelle les rôles des acteurs s'établissent comme suit :

- Ministère de l'Agriculture : financement récurrent du programme vergers à graines de l'état
- INRA : gestionnaire des populations d'amélioration et obtenteur des variétés synthétiques qui produisent les vergers à graines
- Irstea : appui du ministère en matière d'ingénierie de gestion des vergers et coordination de l'évaluation des variétés issues de ces vergers
- Office National des Forêts (ONF) : gestion opérationnelle des travaux réalisés dans les vergers
- GIE "Semence Forestières Améliorées" : valorisation commerciale des produits des vergers à graines

Cette convention (dite "Vergers à Graines de l'Etat"), reconduite par période de quatre ans, a aussi permis à l'INRA et l'Irstea d'entreprendre des travaux destinés à lever deux écueils majeurs de la production de graines :

1) L'arrivée tardive et l'irrégularité interannuelle de la floraison.

En conditions naturelles, le douglas fleurit rarement avant 15 ans. De plus, les années de bonne fructification n'ont lieu que tous les 5 à 7 ans, ce qui limite la fréquence et le volume des récoltes de graines. Sous l'impulsion de Marc Bonnet Masimbert, physiologiste de l'INRA d'Orléans, et de Gwenaël Philippe, ingénieur de l'Irstea de Nogent sur Vernisson, des avancées significatives ont été réalisées dans la compréhension des mécanismes inducteurs de la floraison chez le douglas et la mise au point de traitements permettant de hâter, réguler et augmenter la **floraison et la fructification** en vergers à graines. Ces traitements à la fois mécaniques (annélations) et chimiques (injection de Gibbérellines 4/7, hormone végétale de croissance), pratiqués au printemps, ont été transférés rapidement vers les gestionnaires des vergers qui les ont adaptés pour une utilisation à grande échelle sur plusieurs centaines d'arbres par an.

Bonnet-Masimbert M., 1987. Floral induction in conifers: a review of available techniques. *Forest Ecology and Management* 19; pp 135-146.

Bonnet-Masimbert M. 1988. Hormones végétales et floraison chez *Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco, *Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques*, 135:4, pp 7-18.

Philippe G., Baldet P., Heois B., Ginisty C. 2006. Reproduction sexuée des conifères et production de semences en vergers à graines. Ed. Quae; 570 p.

2) Le taux élevé de graines parasitées.

Le douglas est sensible aux **ravageurs** s'attaquent aux cônes et aux graines, ce qui a conduit l'unité de recherche de Zoologie Forestière d'INRA Orléans (Alain Roques) à entreprendre des travaux sur :

- la caractérisation génétique des populations européennes et américaines des deux principaux insectes ravageurs : *Megastigmus spermatrophus* et *Leptoglossus occidentalis*
- l'effet génétique (clonal) du pouvoir attracteur de l'arbre
- la modélisation prédictive des taux d'attaques en verger en fonction de la fluctuation de la ressource en graines
- la mise au point d'une typologie des dégâts en reliant le profil radiographique des graines à leur faculté germinative
- l'évaluation de l'efficacité de méthodes de gestion : identification et test de la phéromone d'agrégation, recherche de parasitoïdes dans l'aire d'origine, mise au point de pièges à émission infra-rouge.

Roques A., Raimbault JP. 2011. Potentialités destructrices des insectes ravageurs dans les vergers à graines de Douglas du Lot. R. F. F. XXXVII; pp 26-32

Les vergers à gaines français de douglas font l'objet régulièrement de travaux d'éclaircie sur la base des valeurs génétiques de leurs composants, estimées en tests de descendance. Ainsi, l'élimination de la moitié des plus mauvais géniteurs du verger de la Luzette a permis d'obtenir une amélioration significative des MFR pour le caractère « architecture des arbres ».

PRODUCTION COMMERCIALE DE GRAINES

Au milieu des années **1990**, dès que les vergers à graines de douglas sont entrés en **phase de production commerciale** de graines, il a été possible de mettre en place :

- des tests multi locaux de comportement des lots commerciaux en vue de leur certification dans une catégorie réglementaire prouvant leur niveau de performances
- des tests de comportement des descendance des clones constitutifs des vergers dans l'objectif de réaliser des éclaircies génétiques destinées à éliminer des vergers les plus mauvais géniteurs.

En **2009**, pour préciser le mode d'emploi de chaque variété, Irstea, INRA, ONF et IDF ont uni leurs forces pour installer en France entière un vaste **réseau de tests d'évaluation des lots commerciaux des vergers de douglas français**. Ainsi, entre 2009 et 2016, **43 sites d'évaluation/démonstration** ont été plantés, majoritairement dans les principales zones de reboisement (actuelles), mais aussi dans celles envisagées suite à l'évolution du climat (ex altitude). Les informations sur le comportement des MFR recueillies dans ce réseau permettront :

- d'actualiser régulièrement la fiche conseil d'utilisation des MFR de douglas, diffusée par le Ministère de l'Agriculture, qui précise les zones d'utilisation des différents vergers.
- de mieux cerner, en fonction des stations, les gains génétiques attendus sur différents traits par l'utilisation de ces variétés.
- d'évaluer à long terme l'adaptabilité des variétés de douglas dans le contexte du changement climatique.
- de fournir les données pour adapter, au cas du douglas, un outil d'aide à la décision en matière d'utilisation des variétés (projet européen B4EST).

LE PROJET DOUGLAS-AVENIR

Le programme d'amélioration du douglas en France a pris un nouvel essor avec le **projet Douglas-Avenir**, qui associe INRAE, FCBA et ONF. Financé sur 6 ans (**2015-2020**) par le ministère de l'Agriculture, ce projet a eu pour objectif de valoriser une collection de 1000 descendance maternelles récoltées par l'INRA en **1985** sur arbres individualisés dans les états de Washington et d'Oregon. Partagée entre INRA et FCBA, cette collection a été plantée au début des années 1990 en tests de descendance sur 3 à 5 sites forestiers en France. À ces 193 ha de tests de descendance, s'ajoutent 5 ha de tests de provenance californiennes. Le projet Douglas-Avenir a permis de réaliser l'analyse globale de ce vaste réseau expérimental et de sélectionner 330 clones élites qui constitueront une nouvelle population de base pour un programme d'amélioration à long terme du douglas en France.

Le projet Douglas-Avenir a également fourni à l'INRA, l'Irstea et FCBA l'opportunité de conduire avec la filière semences forestières une réflexion sur les besoins en graines pour les prochaines décennies. Les principales conclusions concernant la **stratégie d'installation des nouvelles générations de vergers à graines de douglas** sont :

- une production annuelle visée de **1000 kg/an** pour assurer les besoins nationaux et anticiper des besoins à l'export
- prévoir pour les futurs vergers une **durée de vie moyenne de 35 ans**. Cette durée représente un compromis technique et économique entre la longueur de la période de production et l'intervalle de temps entre deux générations biologiques au sein du schéma de sélection.
- déployer en continu le gain génétique issu du programme de sélection par une implantation des nouveaux vergers sous forme de tranches de **20 ha tous les cinq ans** incorporant l'information la plus

à jour sur les meilleurs géniteurs. A terme, l'emprise totale des vergers à graines de douglas français sera d'environ 140 ha.

Outputs / Research outputs

ENSEIGNEMENTS TIRES DES TESTS DE PROVENANCE

Les tests de provenance ont montré l'intérêt, pour les reboisements, de choisir des Douglas adaptés aux régions françaises. Dès **1980**, soit environ 10 ans après la mise en place des tests de provenances en France et en Europe, l'INRA a pu mettre en évidence l'adaptation et les performances des douglas originaires de différents sites nord-américains :

- les provenances des états de Washington et d'Oregon originaires de l'ouest des Cascades à basse altitude (<500m) se montrent adaptées à la plupart des régions françaises.
- quelques provenances du sud de l'Oregon et du nord de la Californie ont donné également de bons résultats en région méditerranéenne.

Les résultats fournis par les tests de provenances ont permis d'optimiser les zones d'importation depuis l'aire naturelle des semences de douglas destinées aux reboisements français (seuls MFR disponibles jusqu'au début des années 1990).

Ces résultats peuvent être valorisés pour réimporter des graines depuis l'aire naturelle en cas de pénurie de graines de douglas en provenance des vergers à graines de l'état (situation rencontrée exceptionnellement en 2021) ou quand il devient nécessaire de s'approvisionner en graines de nouvelles populations (méridionales notamment).

En outre, certains tests de provenances, structurés en descendance maternelles ont permis à l'INRA d'approfondir ses connaissances sur les paramètres génétiques des populations en vue d'augmenter l'efficacité de la sélection en fonction des héritabilités des caractères et des corrélations génétiques existant entre ces derniers (projet Européen EUDIREC 1996-2000).

Bastien JC., Roman-Amat B. 1997. Le Douglas. *In* Amélioration des espèces végétales cultivées - Objectifs et critères de sélection (Coord. A. Gallais et H. Bannerot). INRA Ed.; pp 710-719.

Biot Y., Christophe C. 1983. Genetic structures and expected genetic gains from multitrait selection in wild populations of Douglas-fir and Sitka spruce. *Silvae Genet.* 32:141-151.

Boiffin J., Badeau V., Breda N. 2017. Species distribution models may misdirect assisted migration: insights from the introduction of Douglas-fir to Europe. *Ecological Applications* 27(2): 446–457.

Konnert M., Bastien JC. 2019. Geneecology of Douglas-fir and tree improvement strategies. *In* Douglas-fir – an option for Europe. What Science Can Tell Us; pp 46-56.

Roques A, 1981. Biology and distribution of *Megastigmus spermatrophus* Wachtl. (Hymenoptera Chalcidoidea Torymidae) and other insects related to cones in forest stands and seed orchards of Douglas fir *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. *Acta Oecologica, Oecologia Applicata*, 2(2):161-180

Circulation des connaissances et intermédiaires

LA COMMUNICATION SUR LE DOUGLAS PAR L'ASSOCIATION INTERPROFESSIONNELLE FRANCE-DOUGLAS

France-Douglas est une association interprofessionnelle créée en novembre 1993 qui fédère la filière et qui est promotrice du douglas en France. Pour ses actions de communication, diffusion de connaissances et recueils de besoins concernant le futur programme de sélection du douglas, le projet Douglas-Avenir compte s'appuyer sur cette association. L'arrivée de France-Douglas comme partenaire du projet Douglas-Avenir est représentative d'une grande

attente de la filière du reboisement avec de nouvelles variétés qui soient davantage couplées aux attentes des sylviculteur (plasticité) et des transformateurs (propriétés du bois). Dans cet objectif, France-Douglas met en œuvre un dynamique programme de communication contribuant ainsi à la structuration d'une filière qui affirme chaque année davantage son potentiel de développement économique.

Dans le domaine des variétés forestières améliorées, le délai de **transmission de messages** est structurellement long : délai d'obtention d'information sur les performances des variétés, rareté des tests de démonstration et des relais de transmission des informations sur le territoire national, inertie au changement du monde forestier. Le réseau d'évaluation des vergers à graines de douglas français mis en place par le groupe multipartenaire démontre aujourd'hui avec un recul d'une douzaine d'années, que, tant en termes de performances que d'adaptation, ces variétés sont plus performantes que les variétés qui étaient autrefois récoltées sur peuplements sauvages américains et que celles issues des vergers à graines étrangers (US, Européen, Néo-Zélandais). **Grâce à France-Douglas** ce message est maintenant bien connu des reboiseurs de douglas, qui dans leur très grande majorité, sont demandeurs des MFR issus des VG français.

LE CTPS ET LE CTC DES VERGERS, DEUX INSTANCES D'EXPERTISE SCIENTIFIQUE ET DE COMMUNICATION SUR LES VARIETES FORESTIERES

- **CTPS (Comité Technique Permanent de la Sélection des plantes cultivées)-Section "Arbres Forestiers"**

Comme pour toutes les espèces réglementées par le code forestier (66 espèces ou hybrides) toute inscription, modification, conseils d'utilisation concernant les variétés de douglas sont soumises à une **validation par la section "Arbres forestiers" du CTPS**. Cette section, **présidée depuis par INRAE**, est composée de représentants de l'administration, d'instituts de R&D, de semenciers et d'établissements de la filière forêt ainsi que d'experts invités.

Les décisions prises au plan réglementaire par le CTPS sur les variétés de douglas se traduisent d'une part par l'édition de **décrets d'application par le MAA** et d'autre part la mise à jour de la fiche "**Conseil d'utilisation des MFR**" (déjà citée), disponible en ligne sur le [site du ministère](#) et régulièrement mise à jour par INRAE. Outre cette fiche, principalement destinée aux propriétaires forestiers reboiseurs, il convient de souligner le rôle non négligeable joué par le **GIE "Semences Forestières Améliorées"** qui édite ses propres plaquettes et catalogues à destination 448 entreprises exerçant le commerce des MFR sur le territoire français.

- **CTC (Comité Technique de Coordination) des vergers à graines**

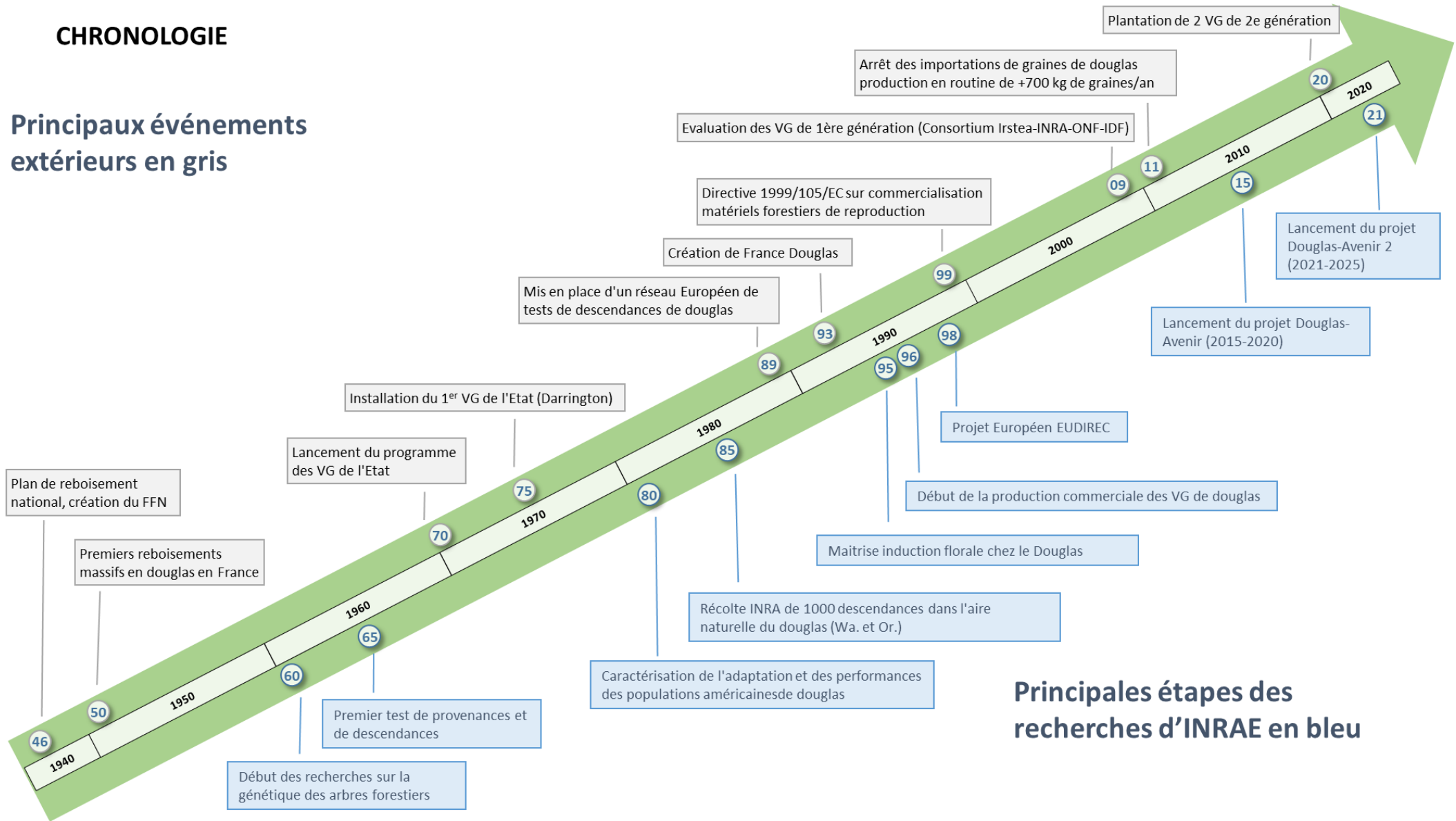
Comme pour tous les autres vergers à graines, en France, la gestion courante des vergers à graines de douglas est soumise à l'avis d'un **Comité Technique de Coordination, animé par INRAE**. Ce comité est composé de représentants de l'administration, des instituts de R&D et de la filière semences forestières. Cette instance est décisionnaire en matière d'installation de nouveaux vergers (choix de site, emprise, composition, calendrier) et de gestion technique des vergers existant (fertilisation, induction florale, éclaircies génétiques, suivi phytosanitaire, etc.) . Elle s'appuie sur les informations les plus récentes produites par le programme d'amélioration Douglas-Avenir. Comme le CTPS, le CTC des vergers, est une structure de **diffusion de connaissances** directement utilisables par les gestionnaires des vergers et par les diffuseurs des variétés.

Chronologie

Date (ou période)	Evènement	Type d'évènement		
		INRA directement impliqué	Contextuel	Un partenaire de l'INRA est impliqué
1960-1967	Début des recherches sur la génétique des arbres forestiers et premières récoltes de provenances commerciales de douglas	oui		
1965-1981	Tests de provenances/descendances des aires naturelle (USA) et artificielle française	oui		
1970-1989	Programme vergers à graines de l'Etat déclenché par le déficit de la balance commerciale bois après-guerre-installation de 100 ha de vergers	oui	oui	oui
1985-1986	Récolte de 1000 descendances maternelles dans l'aire naturelle	oui		oui
1989-1996	Mise en place d'un réseau européen de tests de descendances	oui	oui	oui
1993	Création de France-Douglas		oui	oui
1995	Maitrise de l'induction florale chez le douglas	oui		
1996	Début de la production commerciale des graines des VG de 1ère génération	oui		oui
1998	Projet Européen EUDIREC	oui		oui
1999	Directive 1999/105/EC sur commercialisation des matériels forestiers de reproduction		oui	
2009	Consortium Irstea-INRA-ONF-IDF pour l'évaluation des MFR issus des VG de 1ère génération	oui		oui
2011	Arrêt des importations de graines de douglas depuis l'aire naturelle		oui	
2015-2019	Lancement du projet Douglas-Avenir (2015 - 2020) et signature d'un consortium INRA-FCBA-ONF pour création des vergers à gaines de 2 ^e génération	oui	oui	oui
2020	Plantation de deux vergers à graines "Douglas-Avenir" (20 ha)	oui	oui	oui
2021	Lancement de Douglas-Avenir-2 (2021 - 2025)	oui		oui

CHRONOLOGIE

Principaux événements extérieurs en gris



Principales étapes des recherches d'INRAE en bleu

Annexe : historique de l'évolution des plantations de Douglas

Dans les années 1970, le bois de douglas était principalement utilisé en substitution du bois de pin. Les années qui ont suivi la tempête de 1982 ont significativement augmenté les volumes de bois de douglas transformés et ont même permis de développer un marché de sciages à l'exportation. La tempête de 1999 a une nouvelle fois mis sur le marché une quantité abondante de bois de douglas, permettant à l'industrie de placer les sciages sur de nouveaux débouchés : bois d'ossature, bois reconstitués ou lamellés collés et bois pour les aménagements extérieurs. L'évolution des dix dernières années a confirmé les besoins de l'industrie dans des catégories de bois moyens (diamètre <50 cm) au détriment des gros bois.

De nombreuses campagnes d'études ont montré, dès les années 1980, qu'à largeur de cerne égale, le douglas disposait d'un meilleur niveau de performance mécanique que l'ensemble des autres espèces résineuses nationales. D'autres études, conduites sous l'impulsion de l'association France-Douglas, ont permis d'inscrire en 1998 le douglas au sein du référentiel normatif national NF B 52 001 relatif au classement visuel pour l'emploi en structure des principales essences résineuses et feuillues et de proposer un classement spécifique pour les sciages destinés à une utilisation en bois collés. En complément de ces propriétés de résistance mécanique, le bois de cœur du douglas dispose de propriétés de durabilité naturelle reconnues, comparables à celles du bois de Mélèze. Les propriétés de résistance mécanique et de durabilité naturelle se conjuguent pour offrir au douglas un positionnement privilégié dans les projets architecturaux complexes pour lesquels le bois doit répondre à des sollicitations exigeantes : architecture de plein air, ouvrages d'art, mise en œuvre dans des enceintes à forte hygrométrie, ...

Avec une surface moyenne reboisée par an de 7 000 ha environ (moyenne sur 10 ans), le douglas se place en seconde position derrière le Pin maritime (17 000 ha par an). Après un niveau historiquement bas atteint en 2011 avec 5,5 millions de plants de douglas vendus, le marché, depuis 2016, dépasse les 10 millions de plants dont 700 000 sont exportés. Pour produire les plants de douglas destinés aux reboisements en France et dans quelques pays limitrophes, la filière consomme entre 500 et 700 kg de graines par an. Auparavant importées massivement depuis l'aire naturelle du douglas, les semences de douglas consommées en France sont, depuis 2011, produites en totalité sur le territoire national principalement dans les vergers à graines de l'Etat et pour une très faible part (2%) par des récoltes dans des peuplements sélectionnés.

Selon les données de l'IGN-IFN, en 2021, le douglas couvre en France 420 000 ha (2,6% de la surface forestière métropolitaine), ce qui représente néanmoins la moitié de son aire européenne estimée à 830 000 ha. A l'exception des Landes de Gascogne, de la région méditerranéenne et des zones d'altitude au-dessus de 1200 m, le douglas est utilisé à peu près partout en France, notamment dans le Beaujolais, le Morvan, le Massif Central et la Normandie.

Les volumes de douglas sur pied en France en 2021 sont estimés à environ 130 millions de m³ (4,7% du volume total sur pied de la forêt française et 13,4% du volume sur pied des essences résineuses), ce qui le rapproche progressivement du pin maritime (143 millions de m³), mais loin encore de l'Epicéa commun ou du Sapin pectiné (215 millions de m³ pour chacune des deux espèces). Au regard de l'accroissement annuel, estimé à 4,8 millions de m³, le douglas va progressivement devenir une ressource résineuse majeure en France. La récolte de grumes de bois d'œuvre est en augmentation constante depuis 30 ans. Elle est passée de 250 000 m³ à plus de 3,2 millions de m³ aujourd'hui et devrait continuer à augmenter pour atteindre environ 6 millions de m³ vers 2035, puis se stabiliser autour de 5 millions de m³ par an vers 2050.

Impacts

Les impacts engendrés par l'utilisation de variétés améliorées de douglas sur cette filière peuvent s'évaluer sur quatre plans: politique, économique, environnemental et social.

Politique

La gestion d'une forêt qui se veut à la fois durable et rentable passe, au moins sur une partie du territoire, par une sylviculture dynamique, intégrant la plantation, couplée à une industrie de transformation elle aussi dynamique. Comme pour un certain nombre d'espèces forestières à croissance rapide, le douglas s'insère dans cette **politique de reboisement** contribuant ainsi à la vitalité d'une chaîne d'opérateurs de la filière forêt bois. Un des facteurs clé de réussite et de rentabilité de ces reboisements est la disponibilité en matériels forestiers de reproduction adaptés et performants.

En attribuant depuis 2015 des crédits spécifiques au programme d'amélioration et de diffusion du progrès génétique du douglas (Douglas-Avenir), **le ministère de l'Agriculture manifeste ainsi son soutien affirmé** pour cette espèce forestière dont la production de grumes va doubler d'ici 15 ans et atteindre presque celle du pin maritime. Comme pour le pin maritime, la part prise par le douglas dans le renouvellement de la forêt résineuse française, justifie en effet la poursuite, sur le long terme, d'un programme d'amélioration ambitieux apte à **garantir la souveraineté nationale** en variétés améliorées.

En parallèle, **INRAE fournit en continu une expertise** sur la diffusion et l'utilisation de **matériels réglementés** de Douglas. A l'origine, les résultats fournis par les tests de provenances ont servi de support aux **directives** formulées par le ministère de l'Agriculture pour importer depuis l'aire naturelle les semences de douglas destinées aux reboisements français. INRAE est également responsable de l'identification, modification ou radiation de peuplements sélectionnés de douglas en France. Ces peuplements, bien que peu récoltés constituent néanmoins une source potentielle de semences en cas de pénurie de production des vergers et contribuent à la conservation des ressources génétiques de l'espèce sur le territoire national. Enfin, avec l'ONF et le CNPF, INRAE est partenaire du réseau des tests d'évaluation des variétés améliorées de douglas issues de vergers à graines (performances et plasticité). Les informations provenant de ces tests permettent d'actualiser les conseils d'utilisation des MFR de Douglas aux acteurs de la filière du reboisement.

Economique

AU NIVEAU DE LA FILIERE DES SEMENCES ET DES PLANTS

Dès le début des années 1970, les résultats des tests de provenances ont permis de définir les régions de provenances américaines autorisées pour l'importation des semences depuis l'aire naturelle du douglas. Cela a permis d'améliorer significativement la qualité des matériels forestiers de reboisement de douglas mis sur le marché (croissance, forme, évitement des gelées tardives de printemps).

A partir de 1995 et surtout après 2000, avec l'entrée en production commerciale des vergers à graines français (principalement Darrington et Luzette), la part des graines importées depuis l'aire naturelle ne cesse de décroître, jusqu'en 2011. A cette date, en effet, les huit vergers à graines français sont entrés en régime de croisière avec une production commerciale d'en moyenne 700 kg de graines par an. La production des vergers de douglas excède même sensiblement les besoins nationaux puisque depuis une dizaine d'années, **la France exporte** entre 100 et 200 kg de semences par an (essentiellement au sein de l'UE).

Depuis l'entrée en production commerciale des vergers à graines de douglas, le coût des travaux d'entretien et d'induction de la floraison n'est plus supporté par l'Etat mais est pris en charge par le GIE "Semences Forestières Améliorées". De plus, chaque année, dans le cadre d'une convention, le GIE reverse à l'état une redevance équivalente à 3% de son chiffre d'affaire sur les ventes de graines. Le montant de cette redevance, varie, selon les années, entre 20 000 et 30 000 € (**soit un CA entre 700 k€ et 1 M d'€ par an**).

En 10 ans, le nombre de plants de douglas commercialisés par la France a presque doublé, passant de **6,6 millions en 2009 à 12 millions en 2019**. Le nombre de plants exportés évolue peu et varie selon les années entre **700 000 et un million de plants**. Grâce aux informations issues du réseau multipartenaire INRAE / ONF / IDF d'évaluation des vergers à graines de douglas (précédemment

évoqué) les variétés commercialisées sont assez bien caractérisées. Les pépiniéristes sont à présent en mesure de choisir au mieux ces variétés en fonction des conditions pédoclimatiques de leurs pépinières et des sites de reboisements de leurs clients.

Les gros efforts portés par les améliorateurs de l'INRAE sur la sélection pour la tardiveté du débourrement végétatif lors de la sélection des clones géniteurs de vergers à graines se sont manifestés très rapidement dans les pépinières forestières par une réduction significative des dégâts de gelées tardives de printemps sur les plants de douglas en élevage (et ultérieurement dans les plantations). Hormis le verger Californie, destiné aux reboisements en région méditerranéenne, tous les vergers à graines de douglas sont au moins aussi tardifs que les populations tardives importées de l'aire naturelle. Les plants issus de certains vergers comme Washington 2 ou Luzette débourrent même deux semaines plus tard que ces populations.

AU NIVEAU DE LA FILIERE FORET BOIS

Les premiers plants de douglas issus de semences produites par les vergers à graines de l'état sont arrivés sur le marché en 1995. Pendant environ 10 ans, jusqu'en 2005, ces semences provenaient de deux vergers situés dans le Lot : Darrington et La Luzette. Habités aux matériels forestiers de reboisement identifiés par région de provenances de l'aire naturelle, les reboiseurs et gestionnaires ne se sont pas précipités sur les plants de douglas issus des vergers à graines français. Par ailleurs, les premiers reboisements avec les plants du verger Luzette ont montré une architecture souvent défectueuse : branches nombreuses et fréquence élevée de fourches. Ces défauts, malheureusement non pris en compte dans la sélection initiale des géniteurs du verger Luzette, ont été corrigés en 2006 par l'élimination d'un tiers des clones les plus mal conformés.

Valeur économique du gain génétique sur le supplément de volume produit par les peuplements créés à partir des MFR issus des VG de douglas.

Une estimation de ce gain peut être tentée par une approche empirique inspirée des travaux réalisés dans le sud-est des Etats Unis et repris par le GIS Pin maritime. Les hypothèses sont les suivantes :

- Les statistiques sur le nombre de plants commercialisés chaque année en France permettent d'estimer à **100 000 ha** la surface reboisée en douglas depuis 1995 (entrée en production des vergers à graines de douglas l'Etat).
- La production moyenne du douglas en France mesurée par l'IFN-IGN est de **15 m³/ha/an**, soit un volume total attendu par ha de **750 m³ à 50 ans**
- Le prix du m³ de grume de douglas en 2019 varie selon le volume unitaire de 40 € (0,5 m³) à 70 € (2 m³ et plus). Pour tenir compte d'une fluctuation des prix, nous retiendrons un prix "prudent" de **45 / 55 € par m³**.
- Les gains génétiques sur le volume estimés en conditions expérimentales à mi-révolution (30 ans) sont comprises, selon les vergers, entre 15% et 40% par rapport à une population représentative des provenances importées depuis l'aire naturelle jusqu'au début des années 2000. Dans la suite du raisonnement, pour tenir compte de la diversité des stations reboisées en douglas, nous considérerons une valeur "prudente" de **20% pour le supplément de volume** procuré par les variétés améliorées de douglas.

Sur la base des hypothèses ci-dessus on peut raisonnablement estimer que pour les reboisements réalisés avec les variétés améliorées de douglas, la production moyenne est passée de 15 m³/ha/an à 18 m³/ha/an, soit un supplément de volume de bois par ha d'environ 150 m³ (supplément de revenu de 6 750 / 8 250€) en fin de révolution. A l'échelle du massif de 100 000 ha reboisé avec les variétés améliorées de douglas, on peut estimer que ce supplément de production de 3 m³/ha/an engendra un supplément de revenu de 13,5 / 16,5 M€ par an, soit (en euros constants) sur une révolution de 50 ans, un supplément de revenu **de 675 / 825M€ (pour un revenu total de 4 050 / 4 950 M€)**.

Ces chiffres sont évidemment à considérer avec beaucoup de prudence compte tenu des risques d'aléas climatiques, écologiques, économiques, etc. qui peuvent survenir sur la durée (pourtant considérée comme courte) d'une révolution de douglas.

Faute de données disponibles ces chiffres seraient à mettre en perspective avec les investissements humains et matériels consentis pour la sélection du matériel de base des vergers à graines de douglas et la création, l'ingénierie et la gestion de ces derniers. Une véritable économie s'est maintenant bien établie autour de la valorisation du bois de douglas dans les quatre régions qui totalisent 75% de la surface du massif français de douglas : Auvergne-Rhône Alpes, Nouvelle Aquitaine, Bourgogne-Franche Comté et Occitanie. Cette activité économique est appelée à s'intensifier puisque, rappelons-le, le volume de bois de douglas commercialisé par an va presque doubler d'ici 15 ans (2035) pour atteindre 6 Mm³ par an.

Environnemental

Impact du douglas sur le sol : La plantation de douglas conduit à une acidification et à un lessivage des nutriments dans les horizons supérieurs du sol. Cependant, contrairement à l'épicéa, la litière de douglas n'entraîne pas une acidification du sol supérieure à celle du chêne ou du hêtre. En outre, les aiguilles du douglas se décomposent plus rapidement que celles du sapin, de l'épicéa et même du mélèze. Par ailleurs, les sols sous douglas (ou épicéa) sont plus secs que sous chêne ou hêtre. Les exportations minérales du sol sous peuplement de douglas (notamment calcium, magnésium et potassium) sont comparablement faibles en regard de la production de bois. Les exportations en phosphore sont en revanche supérieures à celle observées sous peuplements feuillus. Pour limiter ou compenser ces exportations, les recommandations les plus fréquemment formulées sont les suivantes : favoriser le mélange du douglas avec d'autres essences (feuillues notamment), récolter les arbres à un âge assez avancé (>50 ans), laisser sur coupe les écorces et menus bois, apporter un amendement Calco- magnésien (environ 1,5t/ha) une fois par révolution (en général avant la coupe définitive).

Séquestration du carbone : La quantité de carbone fixée par unité de volume de bois dépend de la densité du bois sec, alors que le taux de carbone relatif dans la biomasse ligneuse sèche ne dépend (presque) pas de l'espèce et s'élève en moyenne à 0,475. La densité du bois sec de douglas est en moyenne de 0,45 t/m³. Par conséquent, 1 m³ de bois massif de douglas fixe 0,214 tC, soit 0,78 tCO₂ ; ce qui est, avec le mélèze, le taux de fixation le plus élevé parmi les conifères tempérés. En comparaison, 1 m³ de bois de chêne fixe 1,0 tCO₂ et 1 m³ de bois de peuplier 0,57 tCO₂ seulement. A l'échelle d'une forêt, Martel et al (2015) ont pu montrer qu'un peuplement de douglas de 55 ans ayant produit au total 1100 m³ de bois, a séquestré, sur la durée de l'itinéraire 235 tC, soit 862 tCO₂. A l'échelle de la France, Deleuze et al. (2013) ont estimé la quantité de carbone séquestrée, par hectare et par an, par différentes espèces forestières, en tenant compte de l'équilibre "productivité/densité du bois" et des coefficients d'expansion. Ces auteurs ont montré que le douglas, avec une moyenne de 3,67 tC (13,46 tCO₂) séquestrées par ha et par an est **l'essence forestière la plus performante en France métropolitaine** (à titre de comparaison : charme 3,16, épicéa 2,43, châtaignier 2,03, hêtre 1,94, pin maritime 1,73, chêne sessile 1,20, pin sylvestre 1,03).

Impact sur la biodiversité : la **microfaune du sol** sous douglas ne semble pas différente de celle observée sous épicéa ou pin sylvestre. L'humus du sol semble même amélioré lorsque l'épicéa ou le pin sylvestre sont remplacés par le douglas. Toutefois, il est généralement observé qu'en peuplement pur de douglas, la diversité des **espèces fongiques** est plus faible que sous épicéa ou pin sylvestre. L'effet sur la richesse spécifique de la **végétation en sous-étage** des essences résineuses réputées être à canopée dense (épicéa, sapin, Douglas) ne fait pas l'objet d'un consensus. Il semble tout de même que le caractère sempervirent de ces essences soit néfaste aux espèces vernaies puisque celles-ci se développent au début du printemps alors que les essences caduques n'ont pas encore terminé la mise en place de leur feuillage. Néanmoins, tous les auteurs s'accordent sur le fait que la sylviculture a, sur l'abondance du sous-étage, un impact beaucoup plus fort que celui de l'espèce forestière constituant la canopée. L'abondance et l'activité de la **faune aviaire** dépendent de l'âge du peuplement et de la saison. Dans les douglasaies âgées, on observe souvent une abondance et une diversité en espèces aussi élevée que dans des peuplements de résineux indigènes, alors que le nombre d'espèces tend à être inférieur dans les plus jeunes peuplements. En conclusion, le douglas n'a pas plus d'impact sur la biodiversité que les autres résineux, cet impact étant lui-même très faible en regard de celui joué par la sylviculture et l'âge du peuplement.

Potentiel invasif : peu étudié en France, le potentiel invasif du douglas a été principalement évalué en Allemagne où il fait l'objet de discussions controversées entre les représentants de la protection de la nature et de la sylviculture. L'agence fédérale pour la conservation de la nature a placé le douglas parmi une liste de 9 espèces exotiques d'arbres considérées comme "invasives" (pouvant avoir un impact négatif sur la biodiversité). *A contrario*, sur la base de critères d'invasivité², un groupe d'instituts de recherche forestière se sont accordés pour classer le douglas comme espèce très peu invasive parmi un groupe de 14 espèces forestières non-natives. Certaines espèces natives, comme le pin sylvestre, par exemple, présentent un pouvoir germinatif et une aptitude à la compétition au stade juvénile bien plus élevés que le douglas. Les auteurs s'accordent toutefois pour reconnaître qu'en Allemagne, le douglas se régénère naturellement dans des habitats forestiers rares spécialement protégés, notamment dans les sites rocheux ouverts et dans les stations forestières à chênes sessiles ou à mélanges de feuillus sur sols acides et secs. Dans ces conditions spécifiques, l'espèce peut être considérée comme potentiellement envahissante (impacts négatifs possibles).

² Dégradation du sol, floribondité, dispersion et germination des graines, compétition avec la végétation, facilité d'éradication

Ces auteurs, considèrent néanmoins qu'étant donné que la régénération naturelle du douglas n'a été signalée que sur une proportion de 0,2 % de la superficie totale des habitats forestiers protégés, il devrait encore être possible d'y éradiquer avec succès cette espèce. D'une manière générale, ces auteurs recommandent de planter, autant que possible, le douglas en association avec des espèces feuillues indigènes comme le hêtre.

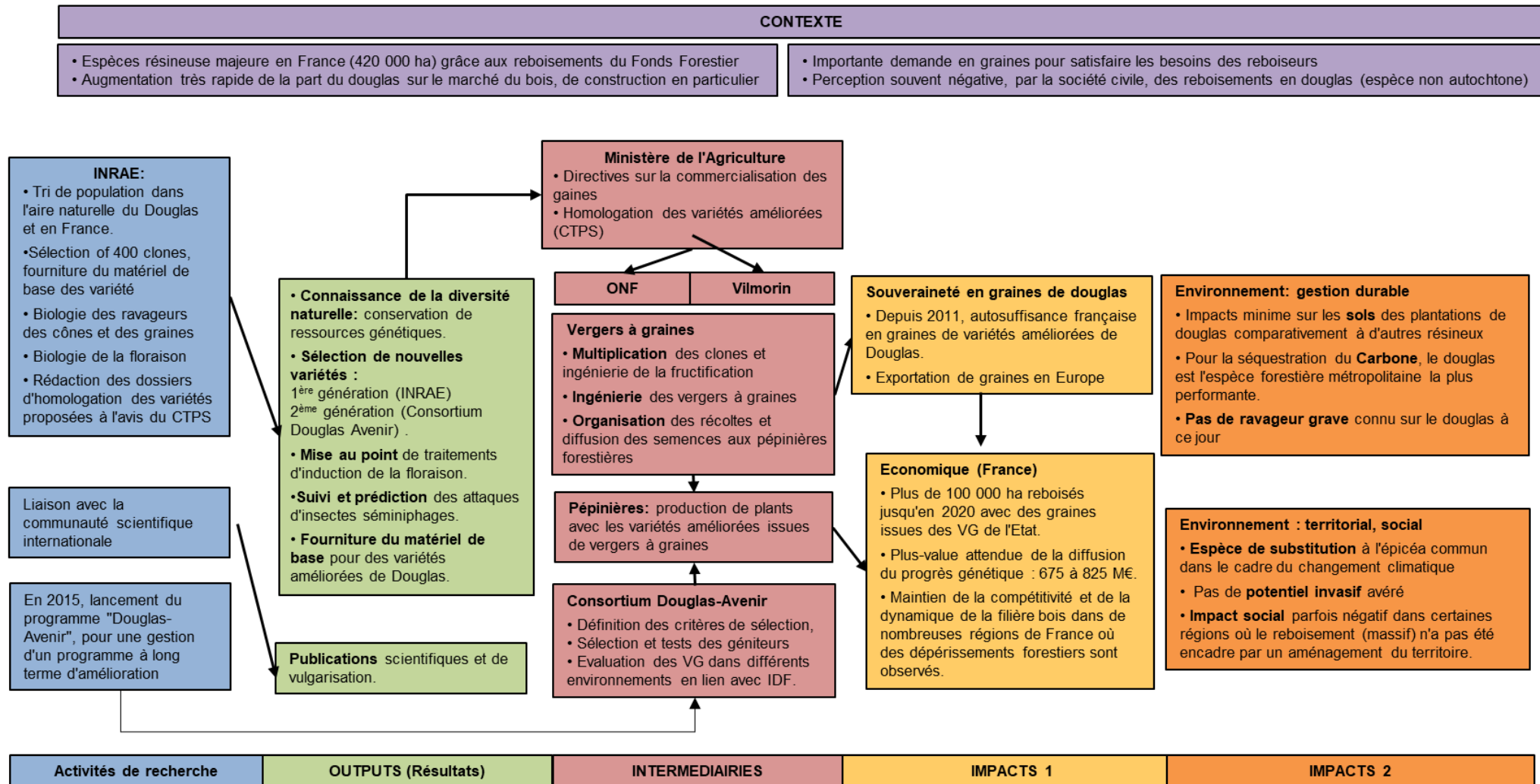
Douglas espèce de substitution à l'épicéa commun dans le cadre du changement climatique

Dans le contexte d'évolution climatique que l'on connaît, le douglas jouera un rôle important comme espèce de substitution à l'épicéa commun pour les reboisements à basse et moyenne altitude. C'est évidemment le cas en France mais aussi en Allemagne et dans certains pays d'Europe Centrale. Depuis quelques années, c'est également le cas dans les pays Scandinaves, qui envisagent très sérieusement d'utiliser à court terme le douglas pour les reboisements les plus méridionaux.

Social

Bien qu'il ne couvre que 3% de la surface forestière française, le douglas est devenu très tôt une essence forestière sur laquelle s'est focalisée la querelle des résineux née des plantations réalisées dans la deuxième moitié du 20^e siècle grâce au Fonds Forestier National. L'irruption brutale du douglas dans le Massif Central sur des terres agricole libérées par l'exode rural ne fut pas perçue comme une seconde chance, mais davantage comme une atteinte à l'intégrité régionale. Ainsi, dans le Morvan, faute de réflexion en termes d'aménagement du territoire, la proportion des résineux (essentiellement douglas) est passée de 5% en 1905 à 40% en 1988 et 75% aujourd'hui. Un tel bouleversement des paysages, qui s'est aussi produit à un moindre degré dans les Vosges, le Beaujolais ou les Cévennes, ne pouvait se faire sans réactions. Celles-ci ont regroupé les sensibilités des écologistes et des paysans autour de la question des paysages et d'une forêt artificielle et productiviste renouvelée par coupe rase et reboisement. A cette opposition idéologique, sont ensuite venues s'ajouter les critiques des écologistes scientifiques concernant la dégradation des sols, de la qualité de l'eau, de la biodiversité, l'augmentation de la sensibilité aux accidents climatiques ou parasitaires et, plus spécifiquement pour le douglas (essence non autochtone), son caractère invasif.

CHEMIN D'IMPACT



Résumé des impacts

Dimension d'impact	Importance	Description Vérifier les chiffres
Economique	fort	<ul style="list-style-type: none"> - La France n'importe plus de semences depuis 2010 - La France est exportatrice de semences depuis 2010 - La France est exportatrice de plants : environ 1 million par an - Supplément de volume de bois produit, entraîne un supplément de revenu de 13,5 / 16,5 M€ par an, soit un supplément de revenus de 675 / 825 M€ en 50 ans.
Environnemental	moyen	- Le bois massif de Douglas a un taux de fixation de Carbone parmi les plus élevés des conifères tempérés. Le Douglas, avec une moyenne de 3,67 tCO ₂ par ha et par an est l'essence forestière la plus performante en France métropolitaine.
Sanitaire		---
Territorial-Social	fort	<ul style="list-style-type: none"> - Dynamique de la filière forêt-bois dans de nombreuses régions de France. ---Impact des reboisements en douglas sur les paysages dans le Massif Central et le Morvan perçu comme négatif par la société civile.
Politique	fort	<ul style="list-style-type: none"> - Forte influence d'INRAE sur la réglementation : <ul style="list-style-type: none"> *Directives pour importation de semences pour le reboisement français depuis l'aire naturelle *Directive européenne concernant la commercialisation des Matériels Forestiers de Reproduction *Inrae est responsable de l'identification, modification ou radiation de peuplements, maintenance du registre de base de MFR et actualisation de la fiche "Conseil d'utilisation des MFR".

Source des données

Littérature

AUGUSTO L., 2018. Etude de l'impact de quelques essences forestières sur le fonctionnement biogéochimique et la végétation de sols acides. Sciences de la Terre. Université Henri Poincaré - Nancy 1, 1999. Français. ffNNT : 1999NAN10235ff.

BASTIEN JC. 2019. Potential of Douglas-fir under climate change. In: Douglas-fir – an option for Europe. What Science Can Tell Us 9; Heinrich Spiecker, Marcus Lindner and Johanna Schuler (editors). Pp 40 – 45.

BASTIEN JC J.C., SANCHEZ L. et MICHAUD D. 2013. Douglas-Fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). In: Paques LE. Forest Tree Breeding in Europe. Current State-of-the-Art and Perspectives. Springer Dordrecht. Pp 325–369

LOUSTAU D. 2004. Carbon sequestration in major forest ecosystems: quantification, vulnerability and impact of various climatic and forest management scenarios. Final report of the CARBOFOR project. 138 p.

MARTEL S., CASSET L. et GLEIZES O. 2015. Forêt et carbone ; comprendre, agir, valoriser. CNPF-IDF (idf-librairie@cnpf.fr). 158 p.

NEHRING S., KOWARIF I., RABITSCH W. et ESSL F. 2013. Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wildlebende gebietsfremde Gefäßpflanzen. BfN-Skripten 352 : 1–202.

RIOU-NIVERT P. 2005. Les Résineux – Tome 2. Institut pour le Développement Forestier ; 447 pp. ISBN : 2 904740 91 0

VOR, T., NEHRING, S., BOLTE, A. et HÖLTERMANN, A. 2016. Assessment of invasive tree species in nature conservation and forestry - contradictions and coherence. In: Krumm, F. and Vítková, L. (eds.): Introduced tree species in European forests: opportunities and challenges. European Forest Institute. Pp. 148–157

Vidéos France-Douglas sur "La production des variétés forestières améliorées de douglas" et sur " L'amélioration génétique du douglas" : <https://www.france-douglas.com/mediatheque/videos/>

Entretiens :

- Alain BAILLY : Directeur du Pôle Biotechnologies et Sylviculture Avancée du FCBA
- Michel DRUILHE : Ancien Président de France Bois Forêts.
- Bernard ROMAN-AMAT : ancien Directeur AgroParisTech et ancien Pdt de la section technique "Arbres Forestiers" du CTPS (2005 - 2016)
- Lionel SAY : Directeur Générale de la Coopérative Forestière Bourgogne Limousin
- Stéphane VIEBAN : Directeur Générale de la Coopérative Alliance Forêt Bois

Cette étude de cas du département ECODIV a été réalisée selon la méthode ASIRPA (Analyse de l'impact sociétal de la recherche) mise au point par INRAE.

Auteurs principaux : Léopold Sanchez, Jean-Charles Bastien.

Contributrices : Anne Jambois, Sylvie Colleu

Photos : Forêt de Douglas en forêt d'Écouves (Orne), crédit photo Jean-Charles Bastien, Inrae.

Ce document est sous licence Creative Commons BY SA : Attribution - Partage dans les Mêmes Conditions.



Pour citer ce document : Leopoldo Sanchez Rodriguez, Jean-Charles Bastien. *Amélioration du douglas et déploiement des plantations en France*. [Rapport de recherche] Inrae. 2022, pp.18. (hal-03496829).

HAL Id : hal-03496829

Pour en savoir plus sur la méthode : <https://www6.inrae.fr/asirpa/> Contact : asirpa@inrae.fr