



Comment le douglas réagit-il aux sécheresses ?

Application de la méthode ARCHI au suivi des dépérissements de douglas

par Christophe Drénou¹ & Jérôme Rosa², CNPF

1) Institut pour le développement forestier (IDF)

Centre National de la Propriété Forestière (CNPF)

Antenne de Toulouse
Maison de la Forêt -
7, chemin de la Lacade -
31320 Auzeville Tolosane.

2) Centre régional de la propriété forestière (CRPF) Délégation régionale « Île-de-France - Centre »
Antenne du Cher, Maison de l'Agriculture,
2701 Route d'Orléans
18230 Saint Doulchard.

3) Cailleret, 2011 ; Sergent, 2011.

4) Branches dont les faces supérieures et inférieures sont nettement différentes.

5) Hallé *et al.*, 1978.

6) Genoyer, 1991 ; Ishii *et al.*, 2007.

Les récents dépérissements du douglas ont montré sa sensibilité aux sécheresses. Quelle est la capacité de réaction d'un individu ? Deux études, l'une dans le Tarn, l'autre dans le Cher, analysent la diversité des symptômes exprimés par le douglas et les possibilités de récupération de cette essence. Ainsi, la méthode ARCHI est adaptée au douglas et devient un outil pratique lors d'un martelage.

Le douglas vert (*Pseudotsuga menziesii*) est sensible à la sécheresse. Les symptômes peuvent aller d'une légère décoloration du feuillage, jusqu'à la mort des individus (*figure 1*). Entre ces deux extrêmes, comment juger de la sévérité d'un dépérissement ? Une perte foliaire de 50 % chez les résineux n'annonce pas nécessairement une mortalité³.

Une dégradation modérée mais généralisée à tout l'arbre, telle une perte de densité du feuillage par exemple, a-t-elle le même impact qu'une détérioration plus forte, mais localisée dans le houppier comme peut l'être une cime morte ?

Quelle est la capacité de résilience du douglas après un dépérissement ?

Quelle méthode utiliser lorsqu'un propriétaire forestier, inquiet par les premiers signes de dépérissement, demande à être conseillé ?

Deux études apportent des réponses à ces questions.

> La première, réalisée en 2011 dans le Tarn et l'Aveyron, est une analyse architecturale du douglas. Elle consiste à décrire plusieurs dizaines d'individus, de tous âges et dans différentes conditions d'environnement, afin de déduire, par comparaison, les différents types de réactions après un stress.

> La seconde étude, chronologique, est un suivi individuel de 20 douglas entre 2003 et 2013 dans le Cher.

Architecture du Douglas adulte, étude menée dans le Tarn et l'Aveyron

L'état normal

Comme beaucoup de résineux, le douglas appartient au modèle architectural de Massart : tronc vertical portant des étages de branches horizontales à symétrie dorsiventrals^{4) 5)}. Sa caractéristique morphologique principale est la présence de draperies de rameaux le long des branches âgées de plus de 7ans⁶⁾. Comment se forment-elles et à quoi servent-elles ?

Au cours de la ramification, le jeune douglas met en place 4 catégories d'axes : le tronc, les branches, les rameaux et les ramilles. Chaque rameau constitue avec ses ramilles un ensemble assimilateur dont la longévité varie de 8 à 13 ans. Une fois mort, le rameau finit par tomber et cette caducité programmée devrait finir par dénuder progressivement les branches. En réalité, bien avant que le rameau ne meure, des bourgeons situés à sa base lui permettent de se régénérer. Les axes produits réitèrent l'architecture du rameau initial, prennent son relais et suivent la même évolution : avant de mourir et de tomber à leur tour, ils sont remplacés par d'autres et ainsi de suite jusqu'à la formation d'une draperie de rameaux affaissés. Un tel mécanisme peut se répéter de nombreuses fois, alors même que la branche porteuse a fini sa croissance depuis longtemps. C'est donc un avantage pour le douglas qui n'a pas besoin d'étendre



© P. Mathieu, CNPF-CRPF Midi-Pyrénées

Figure 1 :
dépérissement de
douglas dans le Tarn.
Septembre 2011.

indéfiniment ses branches pour maintenir une surface chlorophyllienne stable. Chez un individu sain, la densité des draperies est telle que le feuillage empêche la visibilité de la quasi-totalité du tronc. Deux parties de l'arbre font exception à cette règle : la flèche et les branches basses. La flèche, qui correspond aux six derniers étages de branches au sommet du tronc, est généralement trop jeune pour produire des draperies. À l'inverse, sur les branches basses très âgées, le renouvellement des rameaux s'épuise, finit par s'arrêter et après la chute des derniers rameaux, les branches définitivement défeuillées meurent et s'élaguent (figure 2).

Les réactions après un stress

On distingue 4 stratégies de réaction : la reprise d'une croissance normale après un ralentissement, la différenciation de rameaux en branches ou de branches en tronc, le développement de gourmands vigoureux et l'apparition de gourmands chétifs.

L'observation de la flèche d'un douglas renseigne sur sa vigueur. Même si celle-ci diminue progressivement au cours de la vie d'un douglas, elle peut être évaluée de façon relative à tout moment. Ainsi, un important espacement des étages de branches au sommet du tronc traduit une meilleure croissance qu'un brutal tassement des étages. Dans ce dernier cas, et en supposant que d'autres symptômes ne viennent pas aggraver la situation, une simple reprise de croissance des axes en place permet parfois à l'arbre de retrouver le cours normal de son développement.

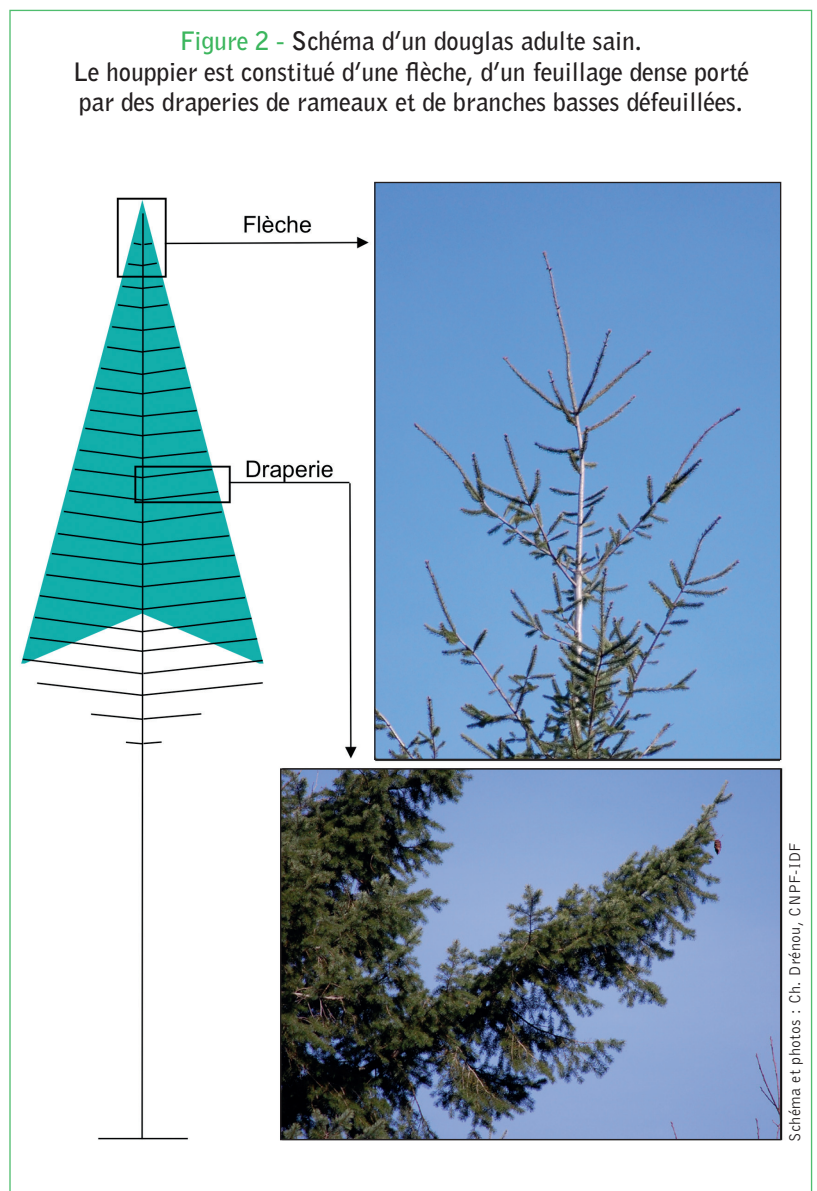


Figure 3 - Dédifférenciation de branches en tronc après une mortalité en cime

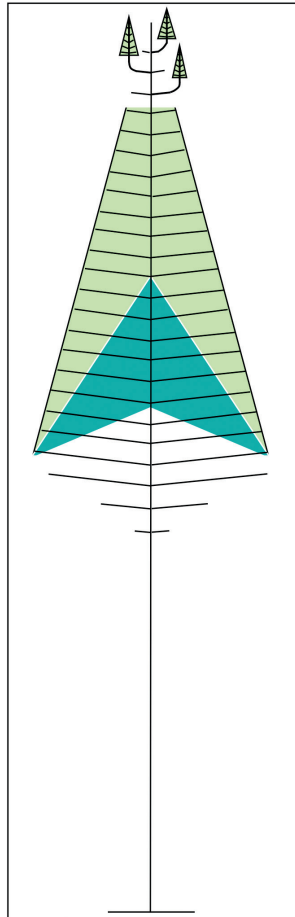


Schéma et photos : Ch. Drénou, CNPF-IDF

Le processus de dédifférenciation d'un axe correspond à l'abandon progressif de ses propres caractères pour acquérir ceux de l'axe porteur. Ainsi, si la partie terminale d'une branche se casse ou dépérit pour diverses raisons, les rameaux situés en retrait ont la capacité de réagir. Ils s'allongent, acquièrent un ordre de ramification supplémentaire et deviennent morphologiquement et physiologiquement identiques à l'axe dont ils sont issus. Seule différence visible avec la branche initiale, la dédifférenciation conduit généralement à la formation d'une fourche. Ce qui est vrai pour une branche l'est aussi pour la flèche d'un douglas, et il n'est pas rare d'observer des fourches au sommet des troncs (*figure 3*).

Notons cependant que le passage du statut de branche à celui de tronc nécessite un changement de symétrie (passage de dorsiventrale à axiale), ce qui allonge le temps nécessaire à sa transformation. Une autre limite, beaucoup plus conséquente, est la valeur du diamètre des branches. Au-delà d'un certain seuil, le redressement n'est plus possible et le dernier étage de branches vivantes est condamné à conserver une forme en plateau.

Le douglas, au cours de la ramification, n'utilise pas tous les bourgeons formés à l'aisselle des aiguilles. Certains restent au niveau de

l'écorce et se contentent de suivre la croissance secondaire de l'axe porteur. Quand ils entrent en activité, ils donnent naissance à des structures nommées « gourmands » ou axes « épïcormiques ». Ceux-ci sont reconnaissables au fait qu'ils apparaissent en dehors des zones habituelles de ramification : sous le houppier feuillé par exemple, dans le houppier entre deux étages de ramifications, ou encore sur la face dorsale des branches.

Contrairement à la dédifférenciation, mécanisme progressif et lent, la production de gourmands est un moyen de réaction rapide et efficace. Si une flèche de douglas dépérit, un ou plusieurs gourmands peuvent directement apparaître avec les propriétés du tronc (direction de croissance verticale, symétrie axiale). Ce sont des gourmands qualifiés d'orthotopes (du grec « orthos » : droit et de « tropos » : direction ; *figure 4*). Si le feuillage d'un houppier se dégarnit de l'intérieur par décurtation des rameaux, le meilleur moyen de revenir à la normale est la production de gourmands plagiotropes (du grec « plagios » : oblique) identiques aux axes perdus (*figure 5*).

Remarque : certains auteurs considèrent que les draperies de rameaux, caractérisant le douglas sain et décrites précédemment, sont formées de gourmands⁶. Il est vrai que les

6) Genoyer, 1991.

Figure 4 - Développement de gourmands orthotropes après une mortalité en cime

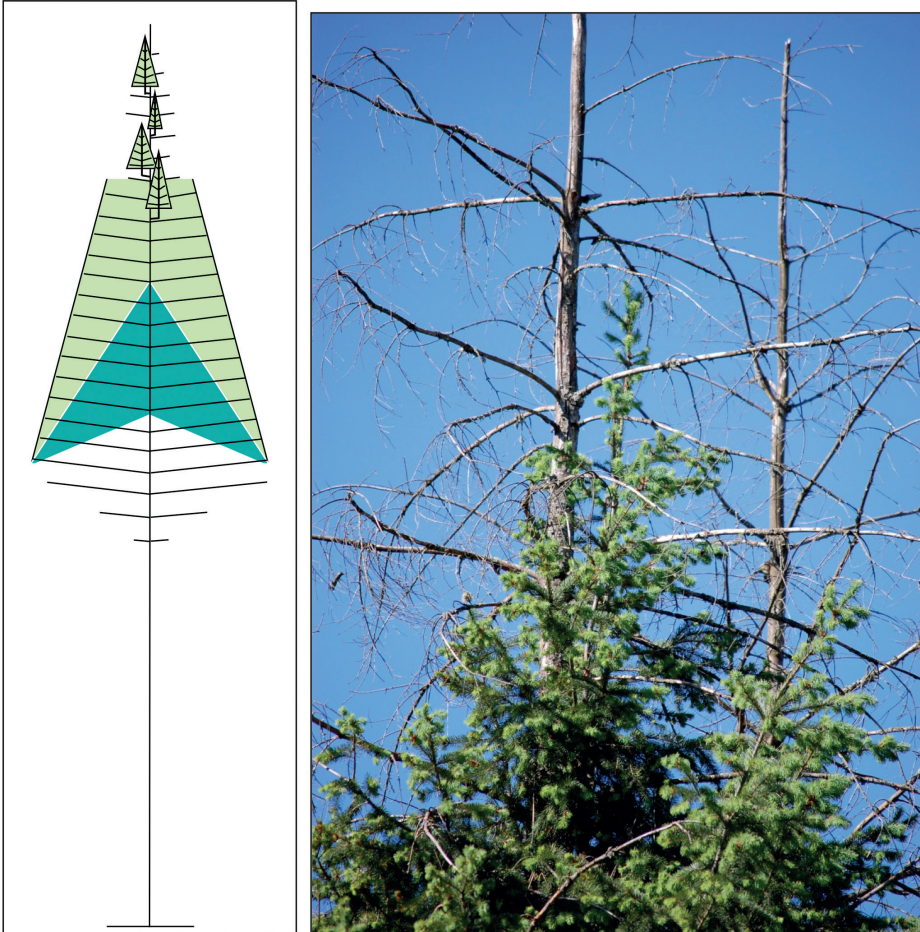


Schéma et photos : Ch. Drénou, CNPF-IDF

Figure 5 - Développement de gourmands plagiotropes après mortalité de rameaux

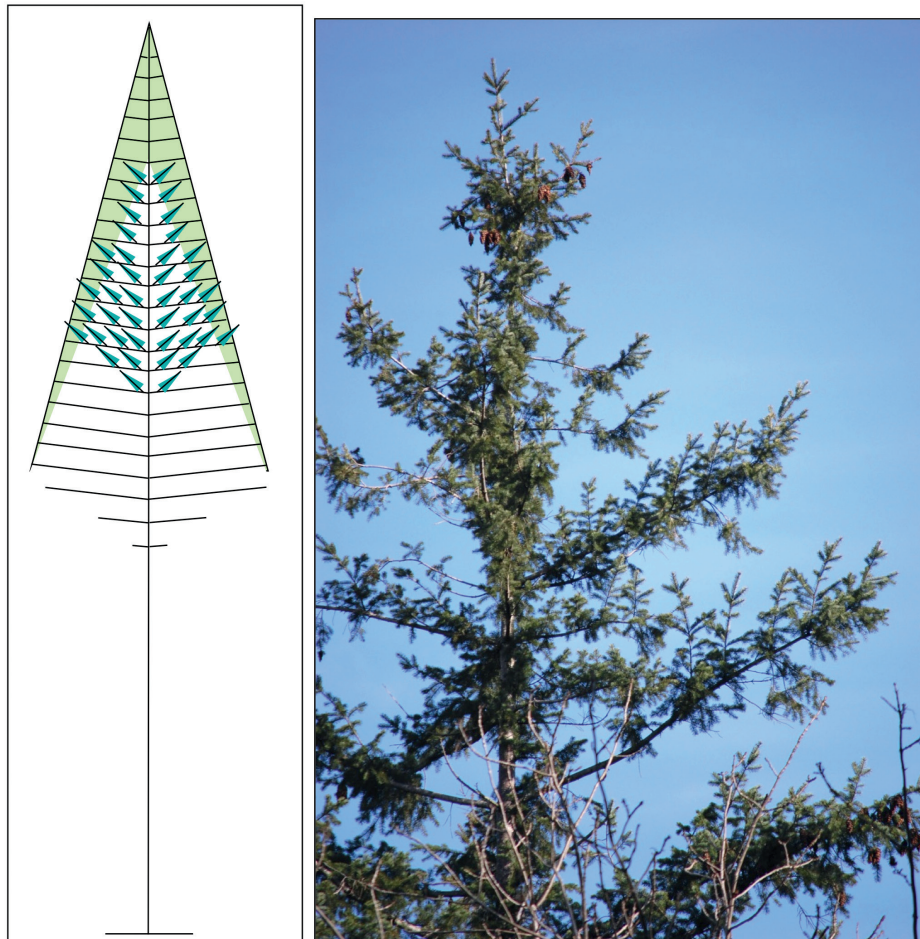


Schéma et photos : Ch. Drénou, CNPF-IDF

Figure 6 - Développement de gourmands agéotropes après mortalité de rameaux

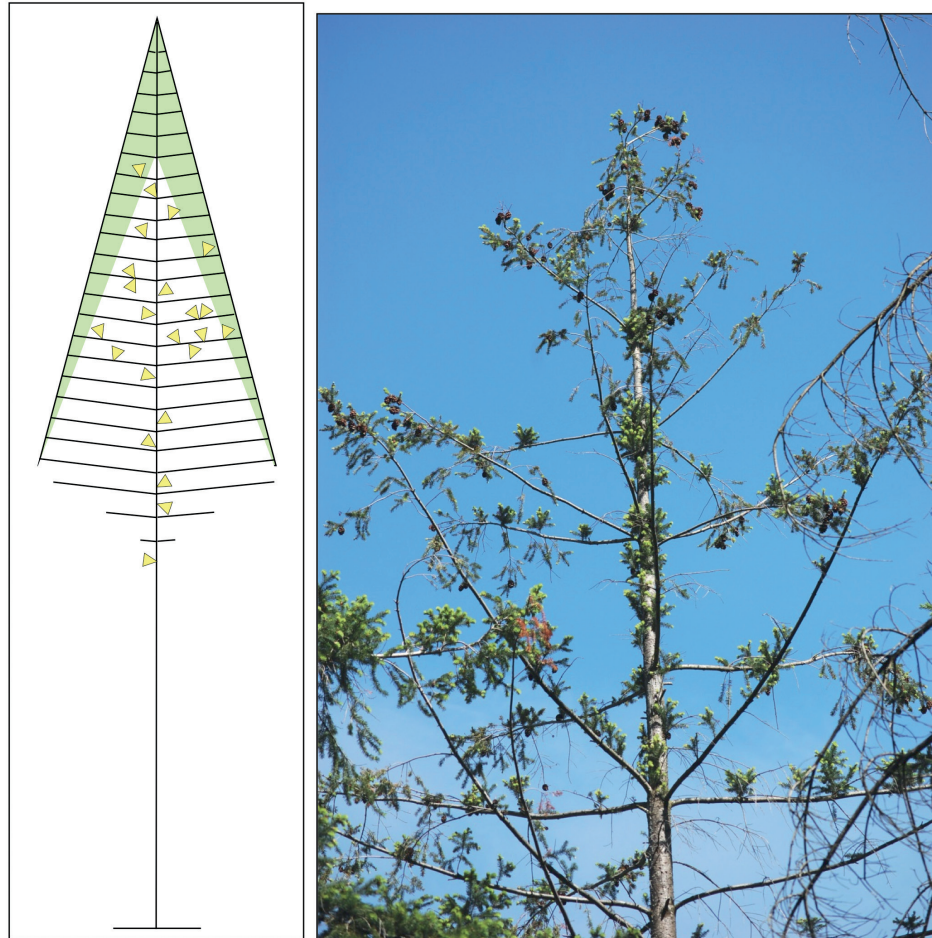


Schéma et photos : Ch. Drénou, CNPF-IDF

séries successives de rameaux sont issues de bourgeons restés latents pendant 4 à 6 années, mais leur développement, contrairement à celui de vrais gourmands, est prévisible et fait partie intégrante du développement normal de l'arbre.

Les gourmands précédents présentent d'emblée une croissance forte et orientée dans une direction précise. Ce n'est pas le cas des gourmands qualifiés d'agéotropes (du grec « a » : sans, « géo » : terre et « tropos » : direction). Ceux-ci, souvent nombreux et répartis de façon diffuse dans tout l'arbre, n'ont pas de direction de croissance précise. Leur croissance est extrêmement réduite, tant en longueur qu'en épaisseur, et ils sont insérés par groupes de 2 ou 3 formant de petites touffes caractéristiques (figure 6).

Suivi de 20 douglas entre 2003 et 2013, étude menée dans le Cher

Site d'étude

L'étude se situe dans un peuplement de Sologne dans le Cher, sur la commune de Ménétréol sur Sauldre. Le peuplement est

issu de l'ensemencement naturel d'un alignement de douglas de bord de route planté vers les années 1910-1920. La densité, bien qu'hétérogène, est estimée en 2003 à environ 200 tiges à l'hectare dans l'étage dominant, avec un mélange de pins maritime et un sous étage de bouleaux, chênes et pins sylvestre. En 2003, aucune sylviculture n'a été pratiquée depuis l'installation naturelle du peuplement. La hauteur moyenne des arbres est alors de 19 m, leur circonférence moyenne de 104 cm, et leur âge d'une trentaine d'années. Ils sont situés sur un plateau, dont le sol présente une texture sableuse jusqu'à 50 cm de profondeur, puis une très forte charge en cailloux rendant la prospection à la tarière impossible. Ces conditions ne sont donc pas favorables au douglas.

Les normales météorologiques ne permettent pas, *a priori*, de compenser cette situation, puisque la pluviométrie annuelle n'est que de 795 mm, dont 460 mm sur la période de végétation, pour une température moyenne annuelle de 11,1 °C⁷⁾. Le déficit hydrique estival, approché par le « P-ETP été » -Précipitations moins EvapoTranspiration Potentielle de juin à août inclus-, est de -177 mm⁸⁾. C'est une situation contraignante pour le douglas,

7) Données Météo-France Aurelhy 1981-2010.

8) Moyennes calculées à l'aide des données Météo-France Aurelhy sur la période 1981-2010, ETP Turc.

9) Lemaire, 2013.

10) Feuille ou aiguille anormalement petite.

Figure 7 - Schémas de 4 types de dépérissement chez le douglas

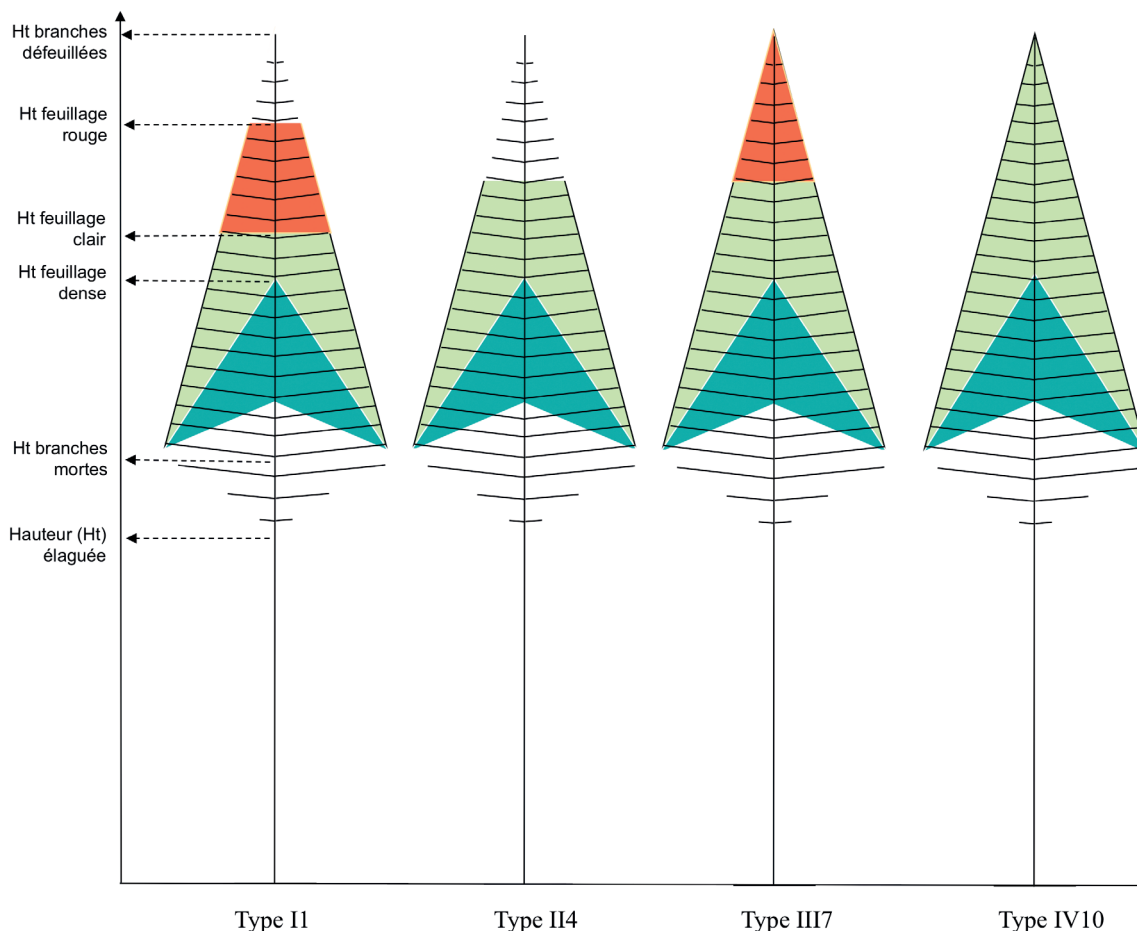


Schéma et photos : Ch. Drénou, CNPF-IDF

car la valeur critique du P-ETP été (Turc, en moyenne trentenaire) pour cette essence est estimée à -200 mm^9 . Par ailleurs, l'été 2003 a été marqué par un déficit de pluviométrie, mais surtout par des épisodes caniculaires. Les années 2005, 2009 et 2011 ont ensuite également été déficitaires en pluviométrie.

Protocole d'étude

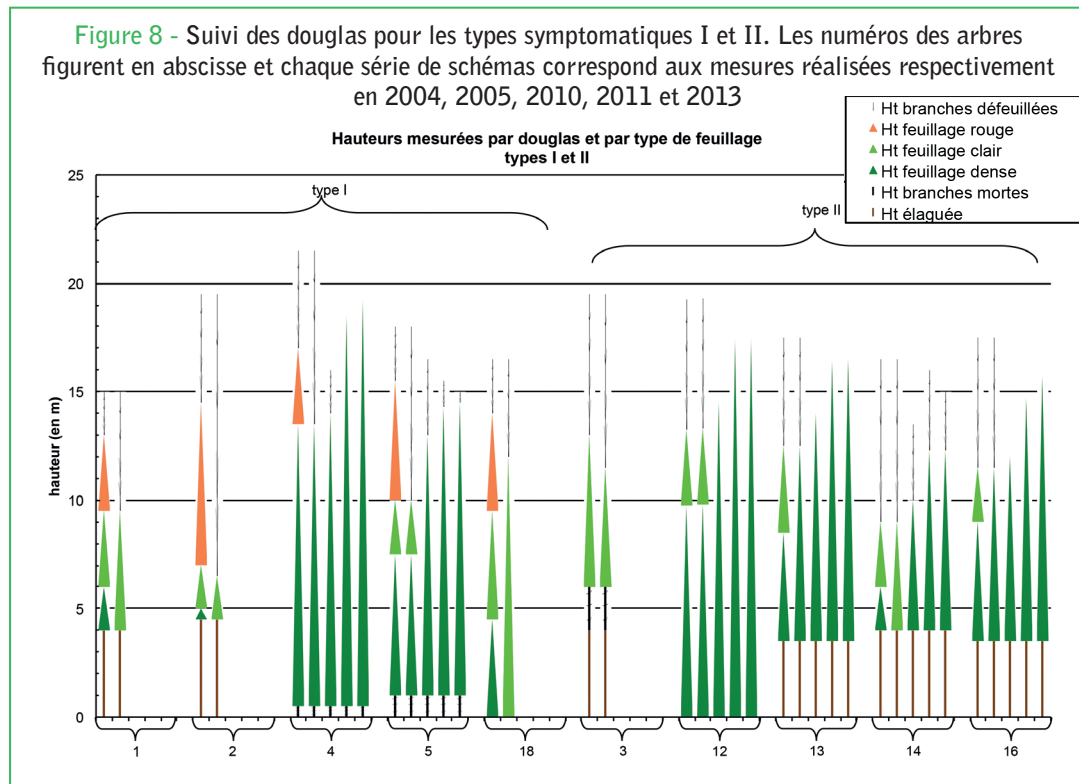
Les principaux symptômes, constatés en 2004 sur au moins les 2/3 du peuplement, sont une présence de branches totalement défeuillées en cime, une couleur rouge des aiguilles et/ou un feuillage anormalement clair. Ce dernier point est d'ailleurs davantage un syndrome car il résulte du regroupement, partiel ou total, de plusieurs anomalies : déficit foliaire, décurtation de rameaux (donc disparition des draperies), coloration anormale du feuillage, microphyllie¹⁰ et ramification appauvrie. Tous ces symptômes se retrouvent parfois sur un même individu, mais ils peuvent aussi apparaître isolément sur des sujets gardant par ailleurs une proportion plus ou moins importante de feuillage sain, c'est-à-dire dense et vert foncé. Nous avons choisi de définir 4 types de douglas selon les critères « branches défeuillées » (essentiellement en cime) et « feuillage rouge »,

Tableau 1 - Types symptomatiques des dépérissements chez le douglas

	Branches défeuillées	Feuillage rouge	Feuillage clair	Feuillage dense
Type I1	x	x	x	x
Type I2	x	x	x	
Type I3	x	x		x
Type II4	x		x	x
Type II5	x		x	
Type II6	x			x
Type III7		x	x	x
Type III8		x	x	
Type III9		x		x
Type IV10			x	x
Type IV11			x	
Type IV12				x

puis de les subdiviser en tenant compte des critères « feuillage clair » et « feuillage dense » (figure 7 ; tableau 1). On remarquera que le type IV 12 correspond à un arbre sain dans sa totalité.

20 douglas dominants, également répartis entre les 4 types symptomatiques, ont été choisis en 2004. Le protocole de suivi individuel des arbres a consisté à mesurer 6 hauteurs depuis le niveau du sol jusqu'à la cime :



graphique : J. Rosa, CNPF-CRPF Île de France-Centre

la hauteur du tronc élagué artificiellement, la hauteur des branches mortes, la hauteur du feuillage dense, la hauteur du feuillage clair, la hauteur du feuillage rouge et la hauteur défeuillée. Notons que la dernière hauteur est égale à la hauteur totale de l'arbre. Les mesures ont été effectuées en 2004, 2005, 2010, 2011 et 2013 (figures 8 et 9). Tous les sujets ont été photographiés en 2004 puis à différents intervalles jusqu'en 2013.

Résultats

> **En 2004**, l'hétérogénéité des dépérissements est forte avec 10 types symptomatiques représentés.

> **L'année 2005** est marquée par la chute du feuillage rouge entraînant la convergence des types I et III vers le type II (absence de feuillage rouge, mais présence de branches défeuillées en cime).

> **Entre 2006 et 2009**, plus de la moitié des douglas au feuillage entièrement clair, avec ou sans flèche morte (types II5 et IV11), meurt (5 individus sur 9). Au cours de cette même période, les premiers gourmands apparaissent. Les plagiotropes sont issus de la face supérieure des branches au feuillage clair, mais ils peuvent aussi être portés par le tronc. Les orthotropes naissent uniquement le long du tronc. Les parties défeuillées en 2004 sont dépourvues de gourmands, mais celles ayant porté du feuillage rouge émettent des gourmands orthotropes. L'unique douglas n'ayant pas produit de gourmand ne présentait aucun symptôme de dépérissement en 2004 (individu n° 6).

> **En 2010**, il ne subsiste que 2 types symptomatiques (II6 et IV12). Le feuillage de tous les douglas est redevenu dense, de nombreuses cimes sèches ne sont plus distinguables, même si elles sont encore présentes chez les individus du type II6. Plus aucun douglas ne meurt.

> **2011** se caractérise par la reprise d'une bonne croissance. L'accroissement en circonférence est de 0,86 cm/an de 2003 à 2005, contre 2,28 cm/an entre 2006 et 2011, et l'accroissement en hauteur est de 0 cm entre 2003 et 2005, contre 0,56 cm/an entre 2006 et 2011. Cependant, seulement 4 individus sur les 14 restants ont retrouvé une hauteur égale ou supérieure à celle de 2004 (individus n° 6, 7, 10 et 17 ; voir tableau 2).

> **En 2013**, les feuillages continuent de se densifier, et pour la plupart, seule la faible hauteur totale témoigne à première vue des dépérissements subis. Les accroissements entre 2011 et 2013 sont par contre très faibles (0,47 cm/an sur la circonférence, 0,20 cm/an sur la hauteur).

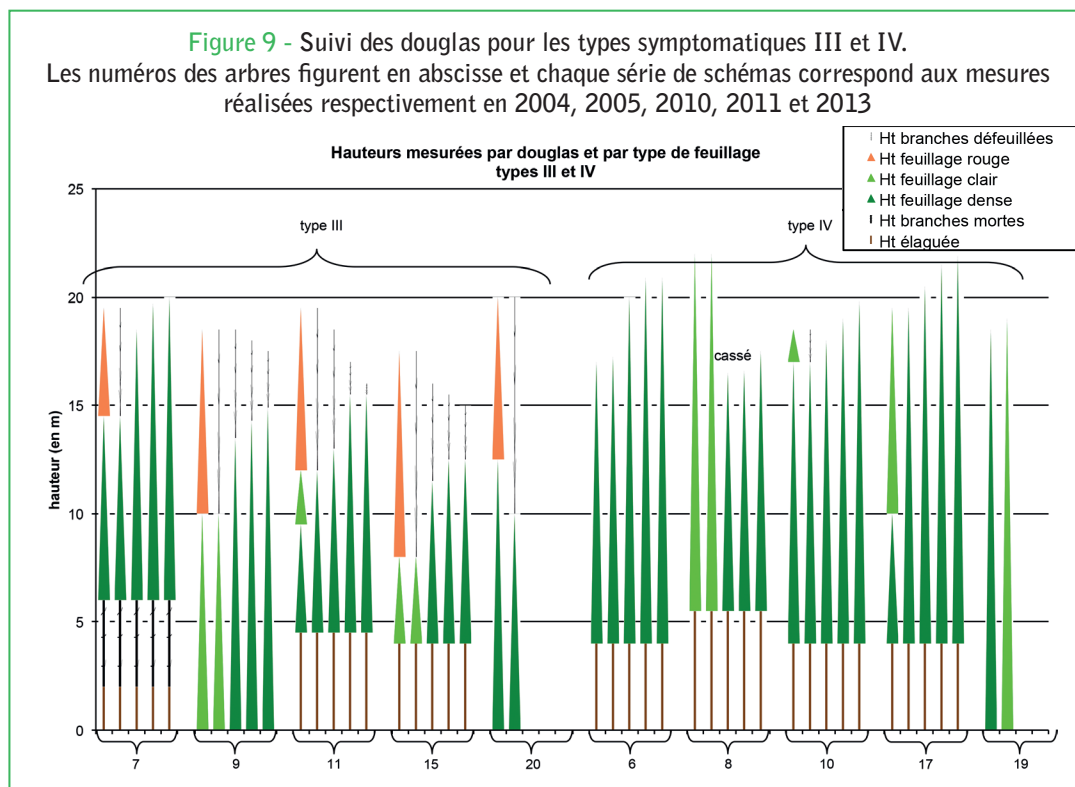
SYNTHÈSE

> Deux années après une forte sécheresse, si la quasi-totalité du feuillage reste ou devient anormalement clair (absence de draperie, déficit foliaire, ramification appauvrie...), l'évolution de l'arbre est incertaine. Il a autant de « chances » de survivre que de mourir. Des études récentes ont cependant montré que tant qu'un douglas ne dépasse pas 60 % de déficit foliaire, sa croissance radiale reste identique à celle d'un sujet sans déficit¹¹.

11) Sergent, 2011.

Figure 9 - Suivi des douglas pour les types symptomatiques III et IV.

Les numéros des arbres figurent en abscisse et chaque série de schémas correspond aux mesures réalisées respectivement en 2004, 2005, 2010, 2011 et 2013



graphique : J. Rosa, CNPF-CRPF Île de France-Centre

Tableau 2 - Suivi des types symptomatiques de 20 douglas entre 2004 et 2013. Les chiffres correspondent aux numéros attribués aux arbres. En rouge, les numéros des arbres morts entre 2006 et 2009.

Types	2004	2005	2010	2011	2013
I1	1-2-5-18				
I2					
I3	4				
II4	12-13-14-16	5-12			
II5	3	1-2-18-3-14-9-15			
II6		4-13-16-7-11-10-20	4-5-11-14-9-15	5-9-11-14-15	5-9-11-14-15
III7	11				
III8	9-15				
III9	7-20				
IV10	10-17				
IV11	8	8-19			
IV12	6-19	6-17	12-13-16-7-6-8-10-17	4-12-13-16-7-6-8-10-17	4-12-13-16-7-6-8-10-17
Nombre de types	10	5	2	2	2
Evènements marquants de l'année	- Dégradation des houppiers - Hétérogénéité des symptômes	- Chute du feuillage rouge - Mort de plus de 50 % des arbres au feuillage clair (II5 et IV11) après 2005	- Présence de gourmands orthotropes et plagiotropes	- Reprise d'une croissance normale	- Feuillage redevenu dense

> Le douglas possède la capacité de produire des gourmands. Les plagiotropes permettent le retour à un feuillage dense. Les orthotropes prennent le relais des flèches mortes, cassées ou présentant un feuillage rouge.

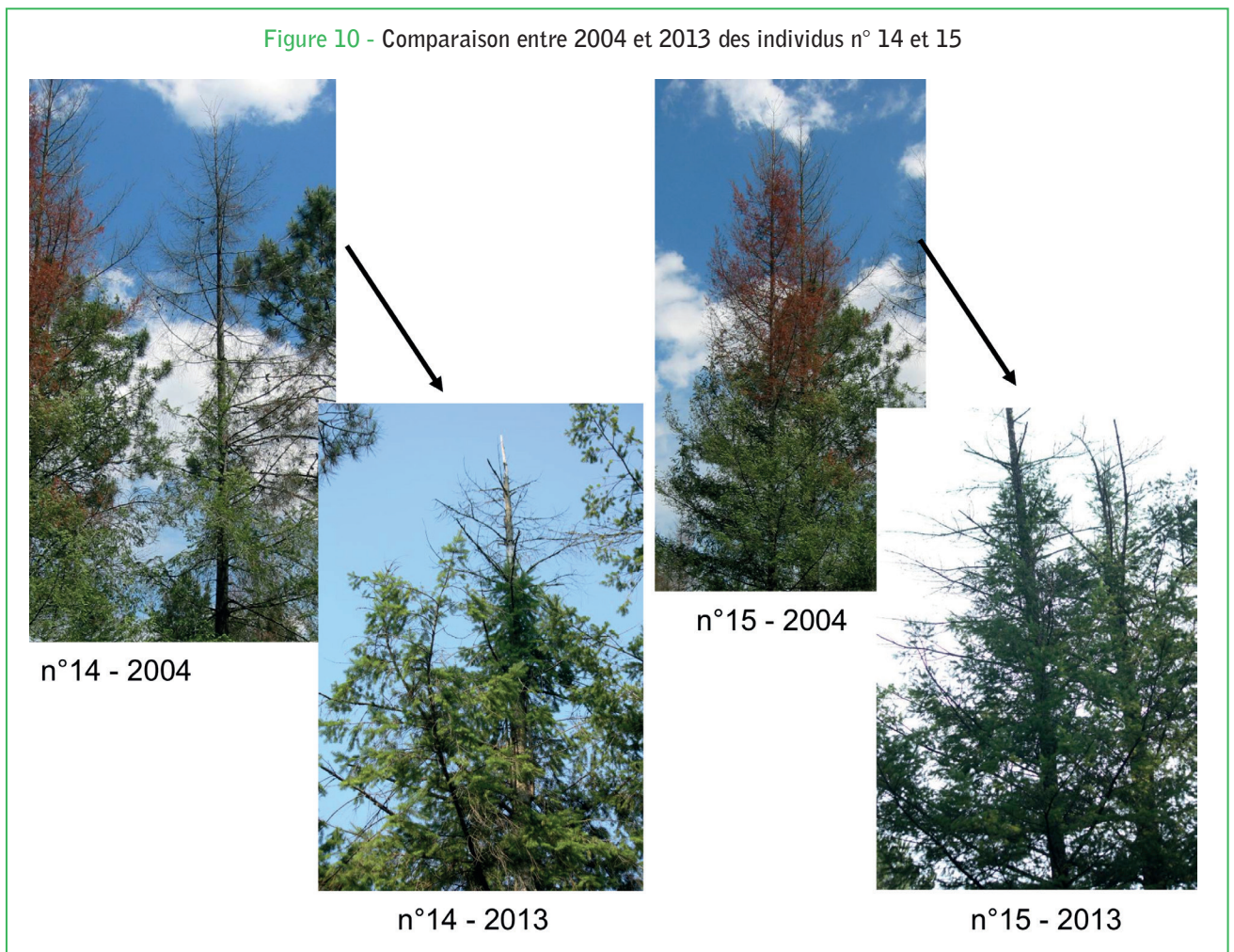
> L'apparition de gourmands agéotropes, même nombreux, est insuffisante pour permettre à un douglas dépérissant de revenir à un état normal.

> Au niveau du feuillage d'une branche, le passage du vert au rouge est fatal. En revanche,

le tronc portant des branches au feuillage rouge n'est pas nécessairement mort. Il garde pendant 2 à 3 ans la capacité d'émettre des gourmands orthotropes.

> En forêt, pour juger les symptômes d'un dépérissement, seule la partie des houppiers exposée à la lumière doit être prise en compte. Cette zone, appelée « houppier hors concurrence », exclut les branches inférieures ou latérales soumises à des phénomènes de concurrence et diminue donc avec l'augmentation de

Figure 10 - Comparaison entre 2004 et 2013 des individus n° 14 et 15



J. Rosa, CNPF-CRPF Ile de France-Centre

12) Drénou *et al.*, 2011 et 2012.

13) Drénou *et al.*, 2013.

la densité d'un peuplement. Une fois les symptômes appréciés, il est important de ne plus se limiter au houppier hors concurrence. Ne pas tenir compte de l'ensemble des structures vivantes, parfois vigoureuses, parfois chétives, ne donnerait qu'une vision partielle des capacités de récupération d'un douglas.

> Les gourmands peuvent se développer rapidement après un traumatisme localisé, tel le bris d'une branche ou de la flèche, mais **un délai d'apparition de 3 à 4 ans semble être la norme après un fort dépérissement.** Il

convient donc de se méfier de l'aspect dépérissement des douglas : un arbre peut conserver une cime sèche pendant plus de 5 ans et être cependant dans une dynamique de résilience.

Application : la méthode de diagnostic ARCHI

« ARCHI » est un diminutif d'« architecture », car la méthode s'appuie sur une lecture de l'architecture des arbres. Développée pour la première fois sur le chêne pédonculé¹²⁾, elle a ensuite été appliquée au sapin pectiné¹³⁾. Son principe repose sur deux séries d'observations. La première concerne les symptômes de dégradation du houppier, hors concurrence, et la deuxième porte sur les potentiels de restauration au niveau de l'arbre entier. Afin de faciliter les démarches de diagnostic sur le terrain, une clé de détermination des types architecturaux a été mise en place. Elle reprend l'ensemble des observations nécessaires sous forme de questions à réponse binaire oui/non, et conduit l'utilisateur vers six sorties possibles (tableau 3 et figure 11).

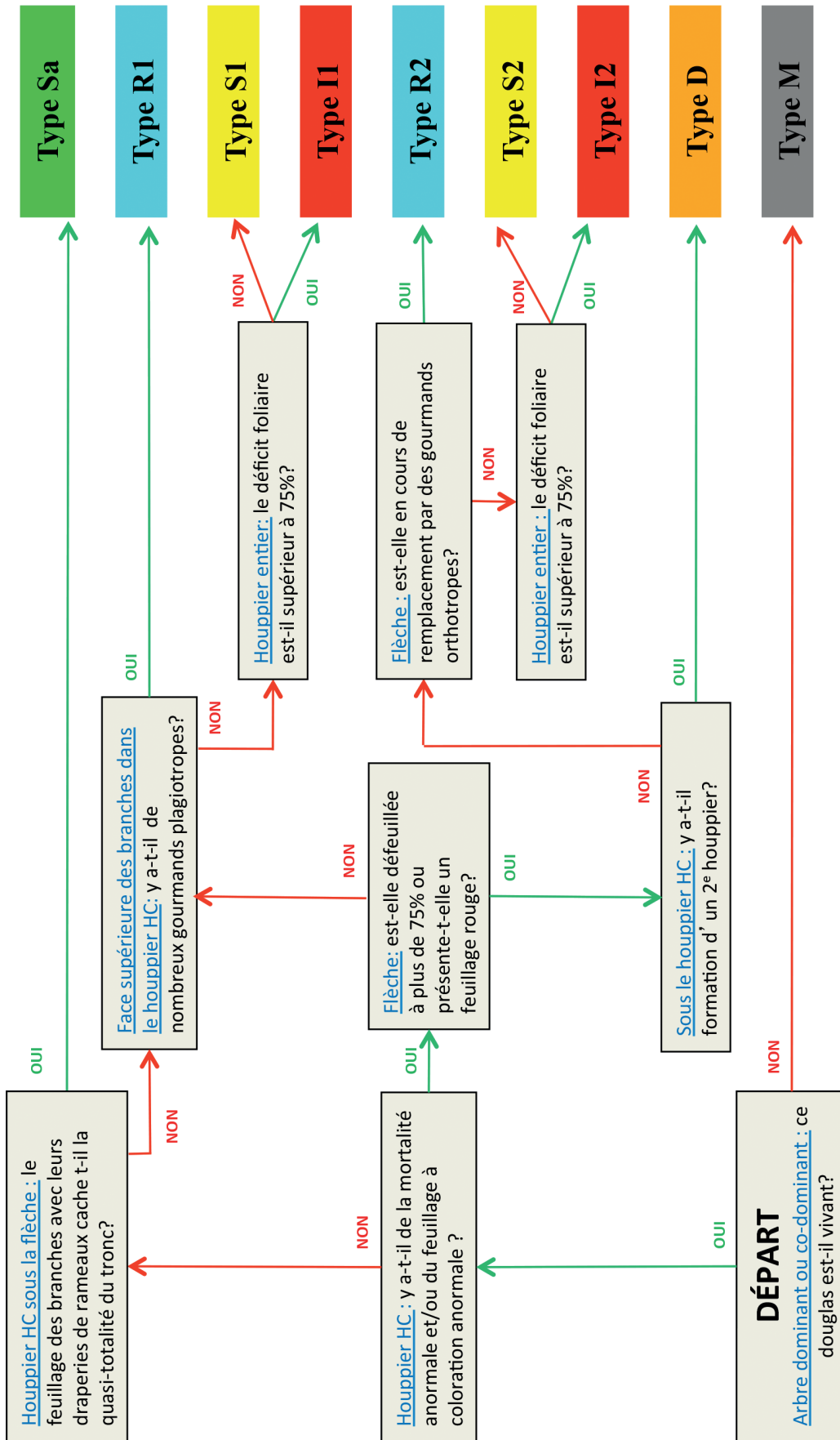
La clé ARCHI du douglas a nécessité plusieurs choix techniques.

Tableau 3 - Les différents états d'un arbre selon la méthode ARCHI

Diagnostic	Définition
Arbre sain	Arbre dont l'architecture est conforme à son stade de développement
Arbre stressé	Arbre dont l'architecture s'écarte de la norme et dont l'avenir est incertain
Arbre résilient	Arbre présentant une dynamique de retour à la normale
Arbre en descente de cime	Arbre présentant une dynamique de construction d'un nouvel houppier sous le houppier hors concurrence
Arbre en situation de dépérissement irréversible	Arbre bloqué dans une situation de non retour à la normale
Arbre mort	Arbre dont le cambium est mort à 1,3 m au dessus du collet

Figure 11 - Clé de détermination des types ARCHI pour le douglas

Clé de détermination des types ARCHI chez le Douglas (*Pseudotsuga menziesii*)



Type Sa : sain ; **Type R1 et R2** : résilient; **Type S1 et S2** : stressé ; **Type I1 et I2** : dépérissement irréversible ; **Type D** : descente de cime; **Type M** : mort.
Houppier HC ou houppier Hors Concurrence : partie du houppier excluant les zones inférieures ou latérales soumises à des phénomènes de concurrence.

Flèche : partie sommitale du tronc comprenant les six derniers étages de branches.

Nombreux gourmands plagiotropes : gourmands plagiotropes présents sur plus de 50% des A2 et les recouvrant sur plus du quart de leur longueur.
2e houppier : structure constituée de branches et de gourmands vigoureux, ces derniers étant hiérarchisés entre eux (soit dominants, soit dominés).
 Remarque: la codification chiffrée (1 ou 2) des types ARCHI (S1 et S2 par exemple) a pour seul but de distinguer les différents itinéraires de la clé.



Tableau 4 - Évolution des types ARCHI entre 2004 et 2013 pour les 20 individus suivis dans le Cher.

(Sa : type Sain ; R1 et R2 : types Résilients ; S1 et S2 : types Stressés ; I1 et I2 : types Dépérissements Irréversibles ; M : Mort).

La codification chiffrée (1 ou 2) des types ARCHI (S1 et S2 par exemple) a pour seul but de distinguer les différents itinéraires de la clé.

n° arbre	2004	2005	2010	2011	2013
1	S2	I2	M	M	M
2	I2	I2	M	M	M
3	I2	I2	M	M	M
4	S2	S2	R2	Sa	Sa
5	S2	S2	R2	R2	R2
6	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa
7	S2	S2	R2	Sa	Sa
8	S1	S1	R1	R1	Sa
9	S2	S2	R2	R2	R2
10	S1	S1	R1	Sa	Sa
11	S2	S2	R2	R2	R2
12	S2	S2	R2	Sa	Sa
13	S2	S2	R2	Sa	Sa
14	S2	S2	R2	R2	R2
15	S2	S2	R2	R2	R2
16	S2	S2	R2	Sa	Sa
17	S1	R1	Sa	Sa	Sa
18	S2	I2	M	M	M
19	Sa	I1	M	M	M
20	S2	S2	M	M	M

Pour apprécier la densité du feuillage, le critère retenu est la visibilité du tronc. La question posée est : le feuillage des branches cache-t-il la quasi-totalité du tronc ? Un douglas au feuillage dense ne présentant ni mortalité anormale, ni coloration anormale est jugé sain. C'est le cas de l'individu n° 6 de notre étude, resté sain jusqu'en 2013 et aussi du n° 19, mais le feuillage de celui-ci est brutalement devenu clair en 2005, ce qui lui a été fatal.

En l'absence de gourmands plagiotropes ou/et orthotropes, le seuil fatal du déficit foliaire est fixé à 75 %. En 2005, les individus n° 1, 2, 3, 18 et 19 étaient dans cette situation de dépérissement irréversible. En dessous de ce seuil, il est difficile de réaliser un pronostic. C'est la raison pour laquelle la majorité des douglas de l'étude sont classés « stressés » en 2004.

Une séparation est faite entre les douglas montrant une flèche défeuillée ou à feuillage rouge et les autres. Dans le premier cas, les conditions de résilience passent nécessairement par la formation de gourmands orthotropes, ce qui est la situation de la majorité des individus de notre étude. Dans le deuxième cas, le développement de nombreux gour-

mands plagiotropes peut suffire à regarnir un feuillage anormalement clair, comme l'illustrent les individus n° 8 et 17. À noter que le n° 8 porte également des gourmands orthotropes, mais ceux-ci, apparus en réaction à une flèche accidentellement cassée, ne sont pas dus à la sécheresse de 2003.

Enfin, la clé ARCHI inclut une voie menant vers le type « descente de cime ». Cette option ne s'est pas exprimée au cours du suivi de nos 20 douglas, mais existe dans d'autres peuplements, en particulier en lisière ou après une forte éclaircie. Ce type se caractérise par la mortalité de la quasi-totalité du houppier d'origine et par la formation d'un nouvel houppier en dessous.

Conclusion

Un dépérissement est un phénomène complexe qui se caractérise par une détérioration générale et graduelle de l'arbre pouvant soit être suivie d'une phase de récupération, soit aboutir à la mort.

Confrontés à des dépérissements importants, les propriétaires et gestionnaires forestiers sont condamnés à réagir dans l'urgence afin de limiter les pertes économiques, mais aussi d'atténuer la vision traumatisante d'une forêt dévastée.

Jusqu'alors, seule l'observation des symptômes était mise en œuvre pour décider de l'avenir des sujets touchés, sans que les mar-teleurs ne sachent précisément comment les hiérarchiser pour effectuer leurs choix. Dans ces conditions, les arbres les plus « stressés » (à branches mortes, cimes sèches ou feuillage clair) étaient les premiers exploités, sans réelle évaluation de leur capacité de réaction. À l'inverse, les arbres n'exprimant aucun symptôme immédiat étaient maintenus sans savoir précisément si un stress hydrique pouvait avoir des répercussions à retardement.

Les suivis d'arbres maintenus sur pied, quelle que soit la gravité des symptômes, permettent aujourd'hui de mieux comprendre les processus de récupération des arbres.

En ce qui concerne le douglas, les risques d'attaques de parasites et de dépréciation du bois sur les arbres dépérissants étant limités, on peut utilement conseiller aux sylviculteurs d'attendre 3 à 4 ans après une période de sécheresse avant de procéder à l'exploitation des arbres dépérissants. Passé ce délai, il devient possible d'évaluer les niveaux de réaction des arbres, et pour cela, la méthode ARCHI est un outil pratique de martelage. ■

Résumé

Le douglas vert a connu plusieurs périodes de dépérissement en France. Les causes des dépérissements ont été essentiellement étudiées, le plus souvent liées aux sécheresses et à la sensibilité des différentes provenances (voir Forêt-entreprise n° 208). Les auteurs de cet article reviennent à la source de la problématique : la biologie de l'arbre. Ils inventorient la diversité des symptômes exprimés par le douglas après une sécheresse et les possibilités de réaction de cette essence. Pour cela, une analyse architecturale d'une cinquantaine de douglas observés dans le Tarn et l'Aveyron est entreprise en 2011, complétée par le suivi de 20 douglas entre 2003 et 2013 dans le Cher. S'appuyant sur les résultats obtenus, une clé de diagnostic architectural des douglas dépérissants est proposée (méthode ARCHI).

Mots-clés : Douglas, dépérissement, méthode ARCHI, diagnostic, résilience, gourmands.

Bibliographie

- 3) Cailleret M., 2011. *Causes fonctionnelles du dépérissement et de la mortalité du sapin pectiné en Provence*. Thèse de Doctorat, Université Paul-Cézanne, Aix-Marseille III, 160 p.
- 12) Drénou C., Bouvier M., Lemaire J., 2011. *La méthode de diagnostic ARCHI, application aux chênes pédonculés dépérissants*. Forêt-entreprise 200, p. 4-15.
- 12) Drénou C., Bouvier M., Lemaire J. 2012. *Rôles des gourmands dans la résilience des chênes pédonculés dépérissants*. Forêt Wallonne, 116, p. 42-55.
- 13) Drénou C., Giraud F., Gravier H., Sabatier S., Caraglio Y., 2013. *Le diagnostic architectural : un outil d'évaluation des sapinières dépérissantes*. Forêt Méditerranéenne. T. XXXIV, n° 2, p. 87-98.
- 6) Genoyer P. 1991. *Quelques éléments du développement architectural du douglas, Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco*. Rapport présenté au Laboratoire de modélisation du Centre de Coopération Internationale en recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD). Laboratoire de Botanique, Université de Montpellier II, Montpellier.
- 5) Hallé F., Oldeman R.A.A, Tomlinson P.B., 1978. *Tropical trees and forest. An architectural analysis*. Berlin Heidelberg New York, Springer Verlag éd., 441 p.
- 6) Ishii H.-T., Ford E.-D., Kennedy M.-C., 2007. *Physiological and ecological implications of adaptive reiteration as a mechanism for crown maintenance and longevity*. Tree Physiology, 27, 455-462.
- 9) Lemaire, J., 2013. *Comment intégrer le risque de sécheresse dans la gestion du douglas*. Forêt-entreprise 208, p. 37-42.
- 11) Sergent A.S., 2011. *Diversité de la réponse au déficit hydrique et vulnérabilité au dépérissement du Douglas*. Thèse, Université d'Orléans.

Remerciements

Cette étude a bénéficié des financements du projet RMT Aforce (Réseau mixte technologique – Adaptation des forêts au changement climatique). Nous remercions Magali Maviel, Philippe Guillemot, Pascal Mathieu et Stéphane Serieye (CRPF Midi-Pyrénées) pour avoir suivi ce projet depuis l'origine, fait part de leur expertise technique et pris le temps de relire l'article. Merci également à Marc Laporte, à l'origine de l'essai solognot, et à David Houmeau (CRPF Île-de-France-Centre) pour leur participation au suivi des arbres, sans oublier les propriétaires forestiers ayant permis ces observations.