



**HAL**  
open science

## Le cœur rouge du hêtre est-il détectable sur pied ?

Holger Wernsdorfer, Thiéry Constant, Gilles Le Moguedec, Frédéric Mothe,  
Gérard Nepveu, Ute Seeling

► **To cite this version:**

Holger Wernsdorfer, Thiéry Constant, Gilles Le Moguedec, Frédéric Mothe, Gérard Nepveu, et al.. Le cœur rouge du hêtre est-il détectable sur pied?. Rendez-vous Techniques de l'ONF, 2007, pp.85-90. hal-01195003

**HAL Id: hal-01195003**

**<https://hal.science/hal-01195003>**

Submitted on 31 May 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.

## Le cœur rouge du hêtre est-il détectable sur pied ?

La présence de cœur rouge dans un lot de bois sur pied ou façonné de hêtre est une raison connue de mauvaise vente ou de déclassement des produits. Cet article précise et illustre les causes d'apparition du cœur rouge « normal », le plus répandu, à partir de l'étude de trois lots de grumes en Allemagne et en France (Haute Marne). Il montre le rôle déterminant de la dimension et de l'inclinaison des branches mortes ou des nœuds qui induisent des arrivées d'air provoquant l'oxydation du bois de cœur. Ces travaux, à compléter par des études en lien avec les stations, confirment la nécessité de maintenir les hêtres en croissance libre pour éviter la mort des branches basses du houppier ; ils laissent espérer une future clé de détermination du risque de cœur rouge.

**A**vec 11 % du volume total sur pied, le hêtre est la deuxième essence en France après les chênes sessile et pédonculé (un quart du volume total sur pied)<sup>1</sup>. L'utilisation industrielle de cette ressource pour des produits de qualité supérieure (essentiellement, tranchage et sciage pour la menuiserie intérieure et la fabrication de meubles) se fait essentiellement à partir de bois uniformément clair (bois « blanc » ou légèrement rosé). Cependant, certains hêtres peuvent former un bois de cœur coloré, dont le type principal rencontré est le cœur rouge (les différents types de cœur coloré chez le hêtre seront présentés ci-dessous). Un cœur rouge de taille élevée affecte considérablement la valeur des grumes de hêtre, notamment lorsqu'elles sont destinées à des produits pour lesquels l'aspect est important. La norme européenne EN 1316-1 (CEN 1997) pour le classement des bois ronds fixe le seuil de cœur rouge à 20 % et 30 % maximum pour les meilleures classes de qualité A et B respectivement. En dépit de nombreuses initiatives (Ulrich 2004), la valorisation du cœur rouge pour ses qualités esthé-

tiques reste principalement réservée à la fabrication artisanale. En effet, la couleur et la forme du cœur rouge dans les directions longitudinale et radiale étant très variables, elles rendent difficiles les productions industrielles en série qui sont pourtant les seules capables d'absorber la grande quantité de bois à cœur rouge mise sur le marché chaque année. De plus, les propriétés d'imprégnation et de séchage du bois à cœur rouge sont affectées par la présence de thylls et des substances se trouvant dans ce type de bois (voir par exemple : Seeling 1998). Cependant, différents travaux de recherche appliquée sont engagés<sup>2</sup> pour développer des procédés permettant de transformer industriellement ce type de bois en

vue d'obtenir des produits à forte valeur ajoutée.

### Le cœur rouge, de quoi s'agit-il ?...

En fonction des causes potentielles de formation d'un cœur coloré chez le hêtre, Sachsse (1991) distingue les quatre types suivants, illustrés dans la figure 1 : le cœur rouge (cœur rouge « normal »), le cœur traumatique, le cœur étoilé (ou cœur flammé) et le cœur anormal.

Sur une section transversale de bois rond, la limite entre le cœur rouge et le bois normal apparaît arrondie ; celle du cœur étoilé est dentelée. Le contour du cœur anormal peut être dentelé, lui aussi, mais il est

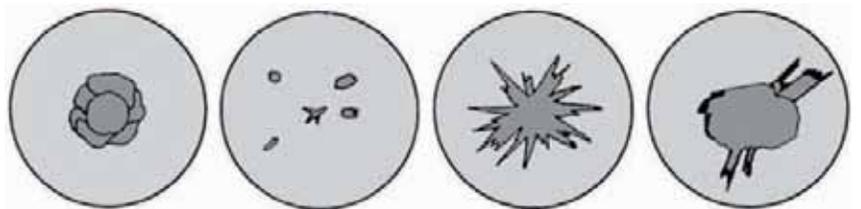


Fig. 1 : les quatre types de cœur coloré chez le hêtre d'après la classification de Sachsse (1991) — Illustrations extraites de Seeling (1998)

<sup>1</sup> Site Internet de l'Inventaire Forestier National IFN (<http://www.ifn.fr/>)

<sup>2</sup> Voir, par exemple, site Internet du projet « Innovation for Beech » (<http://www.innobeech.uni-freiburg.de/>)

caractérisé par une couleur noirâtre et une odeur souvent désagréable (odeur d'acide butyrique causée par l'activité bactérienne). Le cœur traumatique a une faible extension spatiale et peut être localisé dans une région du tronc éloignée de la moëlle ; les trois autres types peuvent s'étendre de la culée à la base du houppier et sont localisés dans la partie centrale du tronc. Globalement, la forme longitudinale du cœur rouge est souvent celle d'un fuseau ; le cœur anormal peut aussi épouser une telle forme ou alors présenter celle d'un cône (Seeling 1991). L'extension du cœur étoilé est souvent maximale à la culée (Walter et Kucera 1991).

La couleur rougeâtre à brune du cœur rouge résulte d'un processus d'oxydation (décrit plus en détail ci-après) accompagné de l'occlusion des vaisseaux par des thylles. La formation du cœur traumatique a pour origine une blessure du tronc, les processus cytologiques et biochimiques étant similaires à ceux du cœur rouge. Les développements des cœurs étoilé et anormal semblent être plus complexes et influencés par plusieurs facteurs qui ne sont pas bien connus jusqu'à présent. L'un de ces facteurs pourrait être la présence de champignons (Necesy 1960) et de bactéries (Sachsse 1991, Schmidt et Mehninger 1989) respectivement dans les cœurs étoilé et anormal. L'hypothèse selon laquelle la formation du cœur anormal serait liée à un stress environnemental, se manifestant par une vitalité réduite de l'arbre et des symptômes de dommage, n'a pas été vérifiée (Seeling 1991). Les cœurs étoilé et anormal peuvent se développer autour d'un cœur rouge probablement préexistant. Tandis que l'humidité du cœur rouge est inférieure à celle de l'aubier, celle du cœur anormal lui est supérieure (Seeling 1991). Parmi ces quatre types de cœur coloré, le type rencontré majoritairement est le cœur rouge. Par exemple, dans l'étude de von Büren

(2002), sur 1305 observations de cœurs colorés, 1017 (78 %) présentaient une forme arrondie ou « nuageuse » en section transversale et 201 (15 %) étaient décrites « étoilées ». Les premières correspondaient très probablement au type « cœur rouge » de la classification de Sachsse (1991) et les secondes aux types « cœur étoilé » ou « cœur anormal ». Les 87 observations restantes (7 %) apparaissaient irrégulières, ce qui les rend difficiles à classer.

### ... comment se forme-t-il ?...

Lors de la duraminisation, en général, la vitalité du parenchyme diminue et le système de transport en eau perd sa fonctionnalité. Dans le cas du hêtre, la théorie de la formation du cœur rouge se base sur les recherches de Zycha (1948). D'après cet auteur, la formation du cœur rouge est initiée par la pénétration d'air (par exemple au niveau des branches mortes) dans la partie centrale du tronc d'un arbre âgé, partie centrale où la vitalité du parenchyme est diminuée et la teneur en eau réduite et remplacée par du gaz. Dans les cellules parenchymateuses de cette partie centrale, de l'amidon et d'autres hydrates de carbone solubles sont transformés en substances phénoliques colorées (Bauch et Koch 2001). Contrairement aux essences qui, comme le chêne, forment obligatoirement un duramen coloré, la polymérisation de ces substances est rapide chez le hêtre, mais les cellules de parenchyme meurent lentement. Pour cette raison, les substances phénoliques n'imprègnent pas les parois ; par conséquent, la durabilité du bois à cœur rouge est faible comparée à celle des essences à duramen « obligatoire ». Le parenchyme de vitalité plus importante localisé au bord du cœur réagit à la pénétration d'air en fermant les vaisseaux par des thylles (Zycha 1948, 1953). Les cœurs rouges âgés présentent souvent une structure « nuageuse » (figure 1) suggérant qu'ils se forment en plusieurs

vagues. On sait toutefois peu de choses sur la cinétique et l'évolution de ce développement.

### ... et quels facteurs sont liés à sa formation ?

Pour tenir compte d'un déclenchement du cœur rouge par pénétration d'air, la présence de grosses cicatrices de branche et de blessures, ou encore le nombre de défauts (branches mortes, bosses, cicatrices de branche d'une taille minimale) ont été intégrés (en plus de la prise en compte de variables dendrométriques telles que le diamètre ou l'âge de l'arbre) respectivement dans les modèles de probabilité de présence du cœur rouge proposés par von Büren (2002) et par Knoke (2003). Le modèle de Knoke (2003) inclut aussi un effet de la présence d'une fourche, effet qui semble plus important pour des arbres relativement jeunes comparés à ceux qui sont plus âgés. Cependant, dans la pratique sylvicole, la présence ou le nombre de défauts par arbre ne paraissent pas être des critères suffisamment précis pour détecter si un hêtre sur pied a du cœur rouge ou pas. Il s'agit d'un des points principaux qu'a cherché à élucider notre étude, présentée ci-après.

Des effets significatifs de l'âge et du diamètre sur la formation du cœur rouge ont été trouvés dans de nombreuses études (par exemple : Lanier et Le Tacon 1981) qui constatent une très faible présence du cœur rouge en dessous d'un âge de 80 à 100 ans et une augmentation considérable entre 100 et 150 ans. Il semble que, à diamètre égal, les hêtres ayant eu une croissance soutenue présentent moins fréquemment un cœur rouge, ou bien contiennent un cœur rouge encore peu développé en dimension (Knoke et Schulz Wenderoth 2001, Seeling et Becker 2002, Knoke 2003). Les résultats sur un effet possible de la station sont moins clairs et parfois contradictoires ; les différents facteurs stationnels pouvant influencer la formation de cœur rouge ne sem-

blent pas être suffisamment caractérisés et leurs effets sont encore mal séparés.

### Notre étude

Dans notre étude, nous avons choisi d'analyser exclusivement le cœur rouge (« normal »), car c'est le type de cœur coloré le plus fréquent (voir ci-dessus : 78 % des cœurs colorés observés dans l'étude de von Büren 2002) et dont la formation semble être la mieux connue jusqu'à présent.

Avec l'objectif ultime de prédire l'occurrence (présence/absence) et la répartition du cœur rouge dans l'arbre sur pied, il nous semblait d'abord nécessaire d'élucider le déclenchement de la formation du cœur rouge (entrée d'air, voir ci-dessus) et ceci à l'échelle dendrométrique (macroscopique). Les questions posées étaient les suivantes : Q1 : Quelles singularités visibles de l'arbre sont des points d'initiation probables du cœur rouge ?

Q2 : De quelle forme sont les relations entre ces singularités et le cœur rouge ?

Q3 : Comment peut-on utiliser ces relations pour prévoir si un hêtre sur pied contient du cœur rouge ou pas ? Afin de fournir des éléments de réponse à ces trois questions, nous avons étudié trois groupes d'arbres : le groupe 1 (4 hêtres avec cœur rouge) et le groupe 2 (31 hêtres dont 17 « rouges » et 14 « blancs ») provenaient de Hesse en Allemagne ; le groupe 3 avait été échantillonné par l'Office National des Forêts dans les forêts communales de Bay sur Aube, de Bourbonne-les-Bains et de Rochetaillé ainsi que dans la forêt domaniale du Corgebin, département de Haute-Marne (Morel 1999). Sur les 375 hêtres de ce troisième groupe, 242 arbres (200 « rouges » et 42 « blancs ») ont fait l'objet d'une première analyse, après exclusion des 133 individus présentant un cœur étoilé (anormal) ou dont certaines caractéristiques étaient indéterminées (par exemple l'âge à cause d'une pourriture empêchant

de compter le nombre de cernes à la culée). Par la suite, la seconde analyse a porté sur une sous-population de 137 arbres (111 « rouges » et 26 « blancs ») qui ne provenaient que des coupes de régénération secondaires (exclusion des arbres provenant de coupe d'amélioration).

Les questions Q1 et Q2 ont été analysées à partir du groupe 1 de quatre arbres ; la question Q3 a été étudiée en utilisant les groupes 2 et 3. Le groupe 2 a servi à développer un modèle de présence/absence du cœur rouge dans l'arbre sur pied. Afin d'ajuster un modèle du même type sur un échantillon indépendant et contenant un nombre d'arbres plus important, les données du groupe 3 ont été utilisées.

### Quelles singularités visibles sont des points d'initiation probables du cœur rouge ?

Premièrement, nous avons cherché à identifier visuellement des liens entre les singularités extérieures du tronc, supposées être des entrées d'air possibles (branches mortes/cicatrices de branches, blessures, fentes, fourche), et la présence de cœur rouge à l'intérieur (Wernsdörfer et al. 2005a). Pour cela, nous avons réalisé une maquette en trois dimen-

sions des quatre arbres étudiés en détail. En réponse à la question Q1, il en est ressorti que le cœur rouge était connecté avec certaines branches mortes et cicatrices de branche/nœuds ainsi qu'avec l'entre-écorce présente dans la zone de fourchaison (figure 2). Aucune relation claire avec des blessures ou des fentes n'a été observée.

### De quelle forme sont les relations entre ces singularités et le cœur rouge ?

Deuxièmement, afin de caractériser la connexion du cœur rouge avec les cicatrices de branche, nous avons estimé les dimensions des nœuds correspondants à partir de relations géométriques (figure 3).

Il est ressorti, en réponse à la question Q2, que les relations entre cœur rouge et branches mortes/nœuds pourraient dépendre de la géométrie de ces singularités, et que ce sont surtout les nœuds de taille et d'inclinaison élevées qui semblent liés au cœur rouge. Nous avons interprété cela en faisant l'hypothèse que la pénétration d'air par une branche morte est d'autant plus probable que la branche est grosse et inclinée, ce qui se traduit par une surface d'échange plus éle-

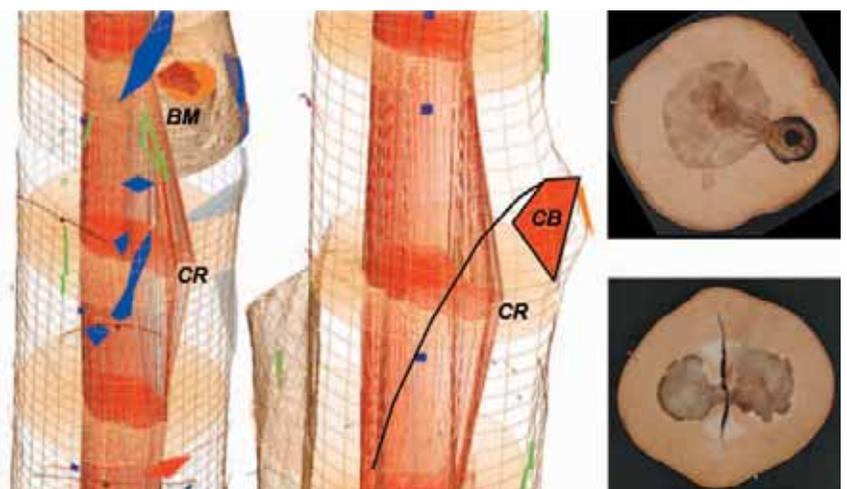


Fig. 2 : connexions du cœur rouge avec certaines singularités

À gauche, relation entre une branche morte (BM) et une déformation du cœur rouge (CR). Au milieu, relation similaire avec une cicatrice de branche (CB). En haut à droite, lien entre un nœud pourri et le cœur rouge. En bas à droite, le cœur rouge est en contact avec l'entre-écorce dans la zone de fourchaison.

vée et un temps de cicatrisation plus long. Ces branches sont de plus particulièrement sensibles à la pourriture car de l'eau peut s'accumuler à l'insertion de la branche (« nœud gouttière »).

**Comment utiliser ces relations pour prévoir si un hêtre sur pied a le cœur rouge ?**

Partant de l'hypothèse ci-dessus, comment peut-on utiliser les relations entre les branches mortes/cicatrices de branche et le cœur rouge pour prévoir si un hêtre sur pied contient du cœur rouge ou pas (Q3) ? Pour répondre à cette question (Wernsdörfer et al. 2005b), nous avons mesuré sur les arbres du groupe 2 le diamètre et l'inclinaison des branches mortes (N = 49) ainsi que les variables correspondant aux cicatrices de branche (N = 616) illustrées dans la figure 3, et ceci sur toute la longueur de la grume en dessous de la base du houppier. Pour limiter des effets possibles « âge », « diamètre » et « station », les hêtres sélectionnés provenaient d'un seul peuplement de futaie régulière. Cependant, le diamètre à 1,30 m et l'âge (à la souche) avaient été déterminés afin de tester si, dans ces conditions, ils n'avaient effectivement pas d'influence significative sur le phénomène « cœur rouge » (diamètre à 1,30 m : 40,5 à 57 cm ; diamètre à 1,30 m médian : 46,5 cm ; âge : 101 à 147 ans ; âge médian : 109 ans).

Le modèle pour estimer la présence du cœur rouge a été construit de la façon suivante : en partant de l'hypothèse que le déclenchement de la formation du cœur rouge dépend du diamètre et de l'inclinaison d'une branche morte/d'un nœud, la probabilité pour chacune des singularités mesurées d'avoir entraîné du cœur rouge a été estimée. Pour les nœuds, ces probabilités sont estimées à partir des cicatrices de branche (figure 3) en tenant compte de leur profondeur. Un hêtre est considéré comme « rouge », s'il présente au moins l'une des singularités

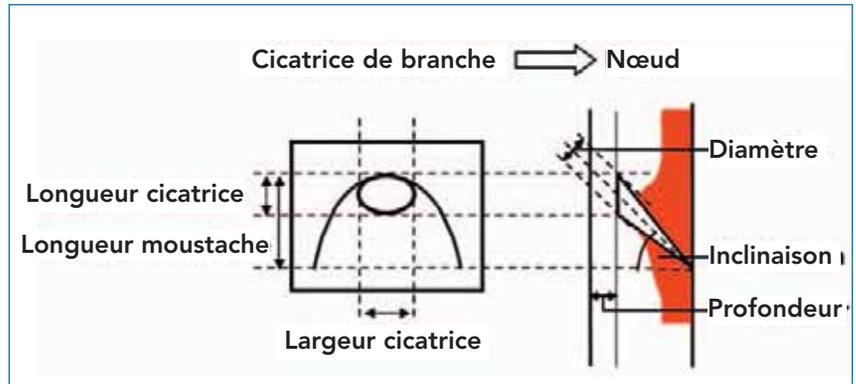


Fig. 3 : relations géométriques entre les variables d'une cicatrice de branche et celles du nœud correspondant

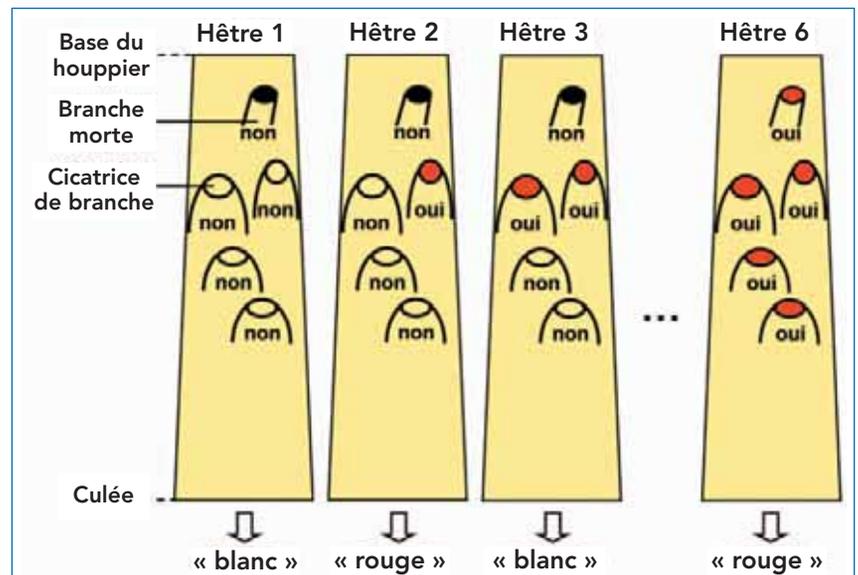


Fig. 4 : Constitution du modèle ajusté sur les arbres du groupe 2 en ce qui concerne l'effet des singularités

Pour chaque singularité (branche morte ou cicatrice de branche), on estime la probabilité qu'elle entraîne du cœur rouge (« oui ») ou pas (« non »). Le hêtre 1 est considéré comme « blanc » car aucune singularité n'entraîne du cœur rouge ; les hêtres 2 à 6 sont considérés comme « rouge » car au moins l'une des singularités entraîne du cœur rouge.

entraînant du cœur rouge. La figure 4 illustre ce raisonnement : dans le cas du hêtre 1, aucune singularité n'entraîne du cœur rouge ; il est donc considéré « blanc ». Dans les cas des hêtres 2 à 6, respectivement une, deux, jusqu'à toutes les singularités entraînent du cœur rouge (c'est-à-dire « au moins une » dans chaque cas). Ces arbres sont donc considérés « rouge ». De plus, une probabilité au niveau dendrométrique a été estimée à partir du diamètre à 1,30 m, de l'âge et/ou du ratio entre les deux. Sur la base de ces estimations de probabilités

aux niveaux des singularités et des caractéristiques dendrométriques, on obtient pour chaque hêtre la probabilité de présence/absence du cœur rouge. Par construction, dans ce modèle, de faibles probabilités indiquent un risque élevé de cœur rouge, de fortes valeurs un risque élevé de « cœur blanc » ; nous avons choisi de fixer arbitrairement à 0,5 le seuil entraînant un classement en « rouge » (probabilité ≤ 0,5) ou en « blanc » (probabilité > 0,5). En réponse à la question Q3, le modèle donnant le meilleur classement en « rouge » ou en « blanc »

s'est avéré fondé sur les hypothèses que nous avons émises quant aux mécanismes pouvant relier la présence de cœur rouge, d'une part, et les cicatrices et les nœuds, d'autre part, ainsi que sur le diamètre à 1,30 m. Sur un total de 31 hêtres, 27 arbres (87 %) étaient classés correctement, les arbres « rouges » et « blancs » étant clairement séparés avec des probabilités en dessous de 0,25 pour les « rouges » et au-dessus de 0,85 pour les « blancs » (avec une exception, voir la figure 5).

Afin d'appliquer un modèle du même type au groupe 3 (données ONF), sa structure a été adaptée aux données disponibles :

- nombre de branches sèches dans les classes de diamètres < 5 cm (BS5), 5 à 10 cm (BS10), 10 à 15 cm (BS15), et > 15 cm (BS+);
- nombre de nœuds ouverts dans les classes de diamètres < 5 cm (NO5), 5 à 10 cm (NO10), 10 à 15 cm (NO15), et > 15 cm (NO+);
- nombre de nœuds recouverts très marqués (NR);
- présence/absence de fourche.

Au lieu de probabilité individuelle pour chaque singularité, on a estimé une seule probabilité par classe pour l'ensemble des singularités comprises dans chaque classe.

		Tous types de coupes (N = 242)		Coupes secondaires (N = 137)	
		Cœur estimé		Cœur estimé	
		blanc	rouge	blanc	rouge
Cœur observé	blanc	28	14	19	7
	rouge	51	149	25	86
Variables significatives		Diamètre à 1,30 m BS15, NO15, NO +		Diamètre à 1,30 m BS15, NO15, NO +	

BS15 : nombre de branches sèches dans la classe de diamètres 10 à 15 cm

NO15 : nombre de nœuds ouverts dans la classe de diamètres 10 à 15 cm

NO+ : nombre de nœuds ouverts dans la classe de diamètres supérieurs à 15 cm

Tab. 1 : estimation et observation de la présence du cœur rouge dans le groupe 3.

Pour l'ensemble des coupes, le modèle proposé estime bien le risque d'occurrence/non occurrence de cœur rouge pour 177 arbres (28 + 149) sur 242. Pour les coupes secondaires, 105 arbres (19 + 86) sur 142 sont bien classés.

Comme pour le groupe 2, nous avons aussi testé les effets possibles de l'âge (70 à 180 ans environ) et du diamètre à 1,30 m (30 à 85 cm pour tous les arbres (N = 242) et 40 à 85 cm pour ceux des coupes secondaires (N = 137)). Comme il y avait beaucoup plus de hêtres « rouges » que de « blancs » (200 « rouges » et 42 « blancs » pour tous les arbres, 111 « rouges » et 26 « blancs » pour ceux des coupes secondaires), un facteur, qui tient compte du nombre d'arbres « rouges » ou « blancs », a été introduit dans le modèle pour réduire ce déséquilibre. Les résultats sont présentés dans le tableau 1.

Le modèle finalement retenu à partir de l'ensemble des 242 arbres utilise les variables BS15, NO15 et NO+ ainsi que le diamètre à 1,30 m. Ce modèle permet de classer correctement 73 % des hêtres, soit 67 % des « blancs » et 75 % des « rouges ». Un second modèle a été ajusté sur les individus provenant des coupes secondaires seulement : les mêmes variables interviennent et 77 % des arbres sont bien classés, soit 73 % des « blancs » et 77 % des « rouges ». Pourtant, dans ce cas des coupes secondaires, on obtient un résultat très similaire avec le diamètre à 1,30 m comme seule variable explicative entrée dans le modèle (1 hêtre « rouge » de plus étant mal classé). En revanche, le même type de modèle ajusté sur l'ensemble des arbres ne permet de classer correctement que 65 % de tous les arbres (157 sur 242).

### Conclusions

Concernant les hêtres du groupe 2 (31 individus d'une même parcelle), la présence du cœur rouge a été estimée avec une précision que nous considérons plutôt satisfaisante. Ceci semble confirmer les hypothèses sur l'initiation du cœur rouge en relation avec les dimensions des branches mortes/nœuds (diamètre, inclinaison, profondeur). Après occlusion ces relations ont été estimées à partir des cicatrices. Cependant, dans cette analyse pré-

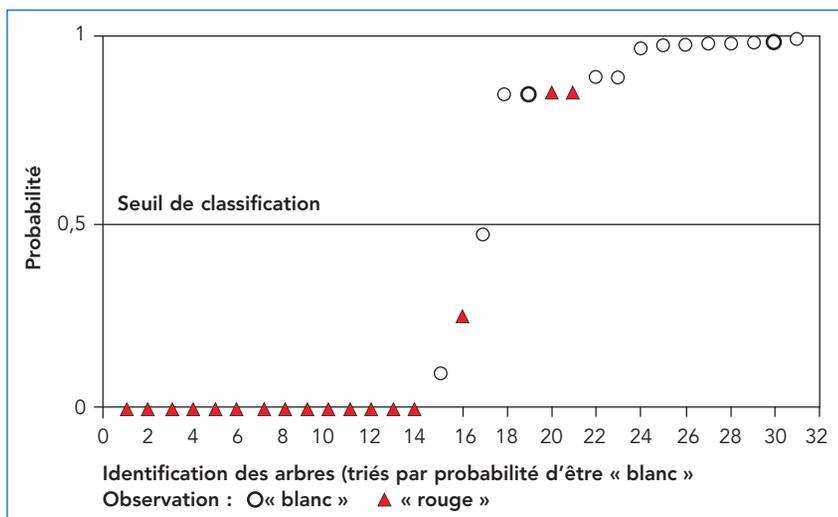


Fig. 5 : probabilité de présence d'un « cœur blanc » estimée pour chaque hêtre du groupe 2 (31 observations)

En fixant à 0,5 le seuil de probabilité, 27 arbres sur 31 sont classés correctement : 15 arbres à cœur rouge (triangles sous le seuil de classification de 0,5) et 12 arbres « blancs » (cercles au dessus du seuil de 0,5).

liminaire portant sur peu d'arbres, tous issus du même peuplement, les relations cicatrice – nœud restent assez grossières et ne permettent pas encore de caractériser morphologiquement les cicatrices « à risque ». Comparé à cela, le groupe 3 contient un nombre d'individus beaucoup plus élevé (mais peu de hêtres avec un « cœur blanc ») qui proviennent de situations sylvicoles différentes. Un effet significatif des branches mortes et des nœuds a aussi été observé dans ce groupe 3. Cependant, le nombre de ces singularités par arbre (réparties par classes de diamètre) ne semble pas être un critère suffisant pour en déduire celles entraînant une formation du cœur rouge. Un effet significatif du diamètre à 1,30 m a été mis en évidence non seulement pour des individus provenant d'une gamme importante de diamètres et âges (groupe 3), mais aussi pour ceux issus d'un seul peuplement plutôt homogène (groupe 2). En revanche, les variables « âge » ou « accroissement moyen » (diamètre à 1,30 m divisé par l'âge), n'ont pas conduit à un meilleur classement. Même si l'effet significatif du diamètre à l'intérieur du peuplement resterait à confirmer, on peut imaginer atteindre une estimation satisfaisante de la présence du cœur rouge (à partir du diamètre à 1,30 m et des singularités) sans disposer d'une information précise sur l'âge de l'individu, caractéristique qui n'est pas évidente à déterminer dans le cas des arbres sur pied.

Les réponses que nous avons fournies aux trois questions de départ (Q1, Q2 et Q3) constituent des éléments originaux qui nous semblent être importants afin de pouvoir diagnostiquer le cœur rouge dans l'arbre sur pied : relations entre l'extérieur du tronc (cicatrices de branche) et son intérieur (nœuds et cœur rouge), hypothèses quant au mécanisme d'initiation du cœur rouge (effets du diamètre, de l'inclinaison et de la profondeur du nœud), développement d'un

modèle statistique (ajusté sur les arbres du groupe 2) prenant en compte l'effet individuel de chaque cicatrice de branche sur la présence du cœur rouge, ainsi qu'un effet au niveau dendrométrique (diamètre à 1,30 m). Pour aboutir à cela, des mesures intenses de la morphologie de l'arbre et du cœur rouge ont été nécessaires, qui n'ont pu porter, par conséquent, que sur un nombre limité d'arbres (35 au total ; groupes 1 et 2).

### Conséquences et perspectives pour le sylviculteur

Afin de développer un outil de repérage des hêtres à risque de cœur rouge qui soit adapté à la pratique sylvicole c'est-à-dire valable pour la plupart des peuplements et ne nécessitant que des mesures simples, il faudrait dans un premier temps poursuivre ces travaux de recherche afin de faire évoluer le modèle en le testant sur un grand nombre d'individus représentant une variabilité importante de stations ainsi que des classes de diamètre et d'âge représentatifs de la ressource en hêtre. Cette évolution du modèle consisterait aussi à intégrer la fourchaison du tronc dans les relations entre la branchaison et le cœur rouge. Cet outil pourrait de plus être lié à un modèle de forme du cœur rouge (Wernsdörfer et al. 2006) qui serait susceptible de servir, par exemple, à une estimation de son volume lors du classement des bois ronds. Pour développer un outil vraiment performant, l'un des problèmes qui risque de se poser est lié à l'insuffisance des connaissances sur la formation du cœur rouge (par exemple : initiation possible à partir du système racinaire ou développement par vagues successives au cours du temps ?).

En ce qui concerne le traitement sylvicole, il faut souligner que les variables d'entrées (dimensions des cicatrices de branche/nœuds, dia-

mètre à 1,30 m) du modèle ajusté sur le groupe 2 (31 arbres) peuvent être contrôlées, jusqu'à un certain point, par l'intensité des interventions. Dans ce contexte, un risque élevé de cœur rouge a été évoqué particulièrement dans le cas de peuplements maintenus trop serrés à un âge élevé, situation se traduisant par une remontée du houppier qui se poursuit pour des arbres relativement vieux et donc par une mortalité de branches à la base du houppier (par exemple : Wilhelm et al. 1999). En revanche, pour des hêtres ayant eu une croissance soutenue avec des houppiers à grandes dimensions, le cœur rouge reste encore peu développé (en pourcentage du diamètre de la section d'une grume) en dessous d'un certain âge et d'un certain diamètre à 1,30 m (120 ans et 60 cm respectivement ; Klädtke 2002, Seeling et Becker 2002). Notre modèle de cœur rouge, ayant été développé comme indiqué ci-dessus, et couplé à un modèle de croissance et de branchaison, permettrait de confirmer ces relations et de les quantifier afin d'évaluer la fréquence du cœur rouge en fonction du traitement sylvicole.

#### Holger WERNSDÖRFER

Lerfob, UMR INRA-ENGREF,  
Champenois (54)

Équipe « Qualité des Bois »

Institut d'Utilisation des Forêts et  
des Sciences du Travail Forestier  
Université de Fribourg (Allemagne)  
Institut de l'Utilisation des Forêts et  
de la Science du Travail Forestier,  
Université de Fribourg (Allemagne)

#### Thierry CONSTANT

Gilles LE MOGUÉDEC

Frédéric MOTHE

Gérard NEPVEU

Lerfob, UMR INRA-ENGREF,  
Champenois (54)

Équipe « Qualité des Bois »

#### Ute SEELING

Institut de l'Utilisation des Forêts et  
de la Science du Travail Forestier,  
Université de Fribourg (Allemagne)