

Sécheresse et canicule de l'été 2003 : observation en 2004 des conséquences sur les peuplements forestiers adultes

H. Pauly, V. Belrose (échelon central du DSF)

After the 2003 drought, a specific network, named "Heatwave network" was added to the European Network level I and II in order to monitor its consequences on the trees. The combination of these three networks allows the largest view on the French forest sanitary state.

This inquiry shows that there is little connection between general aspect during autumn 2003 and defoliation in 2004 for broad-leaved trees. On the contrary, the relation between the aspect in 2003 and sanitary state in 2004 is stronger for conifers, nevertheless, only few conifers were affected by the drought.

What is more, compared to conifers, broad-leaved trees have shown more sensible to the effects of drought and warmth.

Suite à l'épisode climatique de l'été 2003 au cours duquel des conditions exceptionnelles de sécheresse et de température ont été enregistrées, les correspondants observateurs du Département de la Santé des Forêts ont réalisé dès l'automne 2003 un certain nombre d'observations visant à noter l'importance des symptômes visuels au niveau des houppiers. En 2004, les mêmes peuplements ont été revisités et des estimations du taux de déficit foliaire ont été réalisées.

Nous pouvons aujourd'hui mettre en balance le degré de déficit foliaire des houppiers en été 2004 avec leur aspect visuel en automne 2003. Cette démarche vise à contribuer à l'étude du comportement des différentes essences forestières vis à vis des aléas climatiques du type sécheresse ou canicule. On observe des variations entre essences dans les proportions d'arbres présentant, à différents degrés, des symptômes immédiatement après l'épisode climatique de l'été 2003. L'évolution en 2004 de l'état sanitaire des arbres en fonction de l'importance des symptômes observés en 2003 est également variable selon les essences. Les résultats présentés ici fournissent des informations sur la capacité de récupération des différentes essences après un épisode de stress hydrique.

Deux réseaux d'observation

Des mesures ont été effectuées au niveau de 3 réseaux de placettes :

- Le réseau **RENECOFOR** : les données encore non disponibles ne sont pas présentées ici.
- Le **réseau européen de suivi des dommages forestiers**, constitué de placettes disposées selon un maillage systématique de 16 km X 16 km, est représentatif de la forêt française. Les observations qui y sont réalisées ont donc une valeur statistique. Chaque placette, comportant 20 tiges, est visitée systématiquement une fois par an en été.
- Le **réseau complémentaire « canicule »**, spécialement mis en place à l'automne 2003 afin de recueillir des informations propres aux peuplements les plus marqués visuellement par l'impact de la canicule, est ciblé préférentiellement sur des essences ou des situations peu représentées dans le réseau européen. Le choix de l'implantation



des placettes selon ces critères a été laissé à l'initiative des correspondants observateurs. Chaque placette est constituée de 2 grappes de 10 arbres chacune, la première en lisière, la seconde 50 mètres à l'intérieur du peuplement. Ce réseau est destiné à compléter les observations réalisées sur le réseau européen en matière de suivi de l'évolution individuelle des arbres en fonction de leur réaction initiale. Sa mise en place selon des critères non indépendants de l'aspect canicule – sécheresse ne lui confère pas de caractère représentatif de la forêt française.

Des protocoles d'observation adaptés

En 2003, les notations réalisées sur les deux réseaux (européen et canicule) ont résulté de la mise en œuvre d'un protocole DSF dénommé DEFOLIA. La notation portait sur l'appréciation de la surface foliaire détruite ou endommagée et non fonctionnelle par rapport à l'ensemble du houppier. Dans le cas présent, tous les types d'altération foliaire ont été pris en compte sans les distinguer : décoloration, dessèchement, chutes de feuilles ou d'aiguilles. Les symptômes dus à des causes autres que la seule incidence climatique étaient à exclure.

En 2004, les deux réseaux (européen et canicule) ont fait l'objet d'observations relevant de protocoles distincts :

- Le réseau européen a été noté comme à l'habitude selon le protocole qui lui est propre de notation du déficit foliaire : il s'agit du manque de feuilles ou d'aiguilles estimé en pourcentage, par rapport au houppier d'un arbre (dit arbre de référence) de même essence, au même stade de développement et placé dans les mêmes conditions de concurrence. Les données prises en compte concernent seulement les placettes ayant fait l'objet d'une notation à l'automne 2003 (240 placettes sur les 520 du réseau).
- Le réseau complémentaire canicule a fait l'objet d'observations selon un protocole spécial, prenant en compte les branches et rameaux morts, l'absence de feuillage et les colorations anormales. Les résultats présentés ci-dessous, globalisant la mortalité de branches et rameaux et l'absence de feuillage, sont assimilables à une notation de déficit foliaire, même si le protocole n'est pas exactement le même que celui pratiqué sur le réseau européen. Par ailleurs, les placettes ayant fait l'objet de coupes sélectives ont été exclues afin d'éviter d'introduire un biais lié à la régression, du fait des prélèvements, des classes d'arbres les plus affectés.

Par souci de cohérence et de lisibilité, l'analyse des données a été réalisée après regroupement par classes:

- Classe 0 : de 0 à 5% de feuillage affecté : aucune atteinte.
- Classe 1 : de 6 à 25 % de feuillage affecté : dégâts faibles.
- Classe 2 : de 26 à 60 % de feuillage affecté : dégâts moyens.
- Classe 3 : de 61 à 90 % de feuillage affecté : dégâts importants.
- Classe 4 : de 91 à 100 % de feuillage affecté : dégâts très forts.

Ces classes concernent donc l'intensité des symptômes observés en automne 2003 (protocole DEFOLIA) et pour 2004 le déficit foliaire noté sur les réseaux européen et canicule. Les cartes présentées en figures 1, 7, 8 et 9 ont été établies en travaillant, pour le déficit foliaire, à partir des valeurs brutes de déficit foliaire notées pour chaque arbre, tandis que pour le protocole DEFOLIA, la moyenne a été établie en affectant aux arbres de chaque classe la valeur centrale de cette classe (on attribue ainsi aux arbres de la classe 2 la valeur de 43 %).

Dans le présent article, les données sont analysées par essence sous forme de diagrammes distincts selon la provenance des informations de l'un ou l'autre des deux réseaux. Au sein de chaque réseau les données sont présentées sous forme d'histogrammes, d'une part en valeur absolue et d'autre part en pourcentage.



De même, pour chaque essence, est présenté un tableau donnant en automne 2003 sur chaque réseau le pourcentage d'arbres très affectés (appartenant aux classes de symptômes 3 et 4) et le pourcentage d'arbres très peu affectés (appartenant aux classes de symptômes 0 et 1). Ces données permettent d'évaluer le biais dû au caractère non représentatif du réseau canicule par rapport au réseau européen, du fait qu'une proportion assez importante de placettes ont été installées dans des peuplements avec d'importants symptômes visuels immédiats.



Nous nous sommes particulièrement attachés à analyser par essence la réaction immédiate des arbres à l'évènement climatique de l'été 2003 et à mettre en regard l'évolution observée en 2004 par rapport à cette réaction immédiate. Cette démarche permet d'établir par essence le niveau de fiabilité, pour la réalisation d'un diagnostic sanitaire pertinent, de la prise en compte des symptômes immédiats suite à un stress comme éléments prédictifs de l'évolution de la vitalité des arbres.

Répartition des placettes observées

Les cartes ci-dessous présentent la moyenne par placette de l'intensité des symptômes à l'automne 2003 (240 placettes du réseau européen, 372 placettes du réseau complémentaire canicule).

Ces cartes illustrent la complémentarité géographique des deux réseaux : par exemple, dans le Massif Landais et les Vosges, déjà bien pourvus en placettes du réseau européen, peu de placettes complémentaires ont été installées, alors que c'est l'inverse pour la région Auvergne.

Par ailleurs, dans la logique de la stratégie d'implantation du réseau canicule, ces cartes confirment que l'impact de l'été 2003 a été plus important sur les placettes de ce réseau que sur celles du réseau européen.

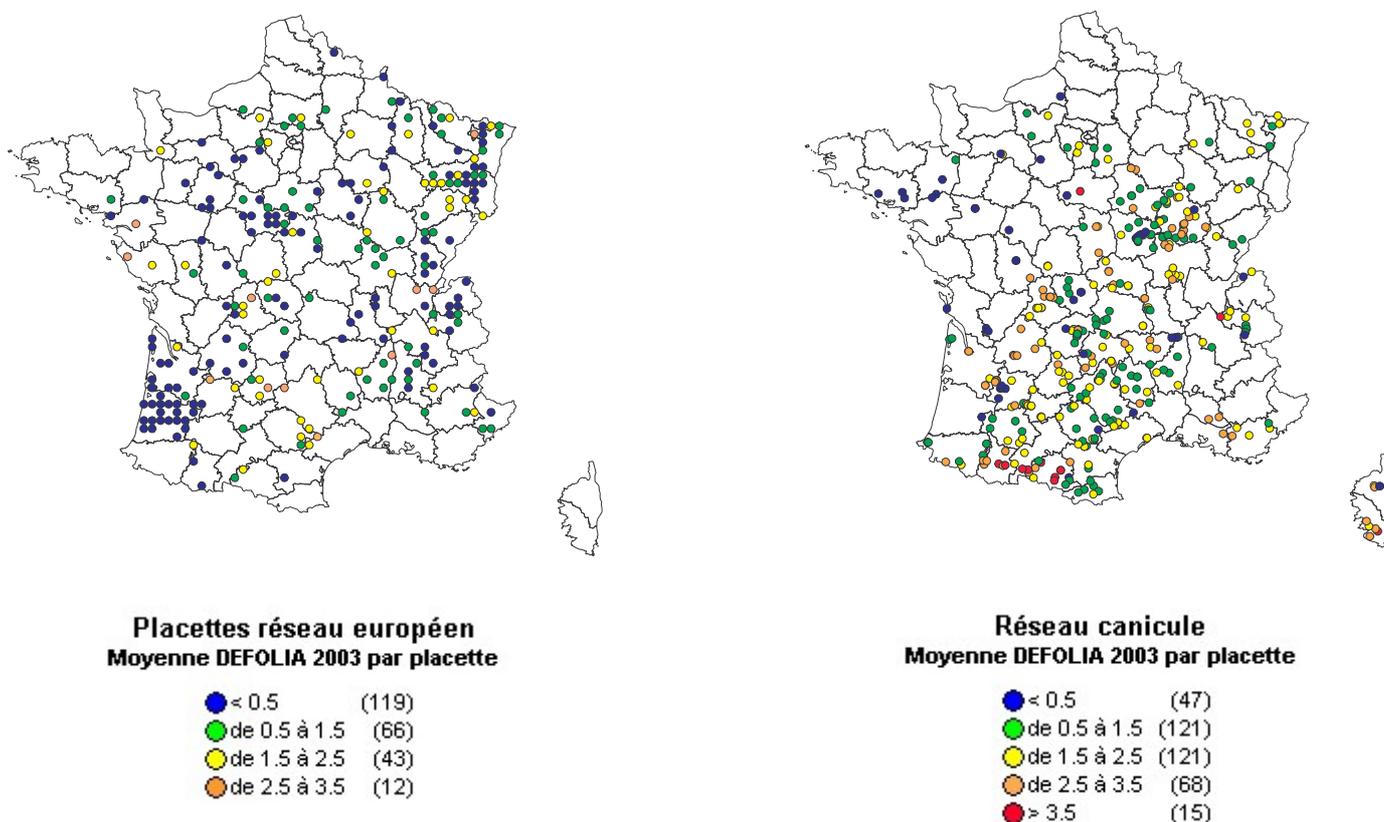


Figure 1 : répartition géographique et selon la valeur moyenne obtenue en 2003 pour le protocole DEFOLIA des placettes notées sur le réseau européen et sur le réseau complémentaire canicule

Distribution by defoliation average obtained with DEFOLIA protocol on European Network plots (left) and Heatwave Network plots (right)

La carte de la figure 2 regroupe les placettes des deux réseaux (réseau européen figuré par des ronds, réseau complémentaire figuré par des carrés). Malgré le caractère non représentatif du réseau canicule par rapport à la forêt française, du fait du biais lié à son plan d'échantillonnage, il est possible de tirer un certain nombre d'enseignements de cette carte. La répartition des points correspond globalement à la répartition forestière nationale, avec cependant un déficit de placettes dans les départements de la côte méditerranéenne. C'est sur la façade ouest que l'impact de la sécheresse-canicule sur les peuplements forestiers a été le plus faible hormis sur quelques

stations de Vendée, Loire-Atlantique, Deux Sèvres et Sologne. A contrario, la majorité des placettes les plus atteintes se situent dans un vaste ellipsoïde dont l'axe principal passerait par une droite reliant Toulouse et Dijon. Ces données paraissent relativement bien corrélées à la carte de la figure 3 du Réseau national des données sur l'eau - RNDE - (pluviométrie des mois de juin, juillet et août 2003, rapportée aux moyennes de la période 1946-2002). Bien évidemment, la corrélation n'est pas systématique, les symptômes exprimés par les peuplements n'étant pas liés uniquement au déficit de précipitations, mais dépendant également du phénomène de canicule,

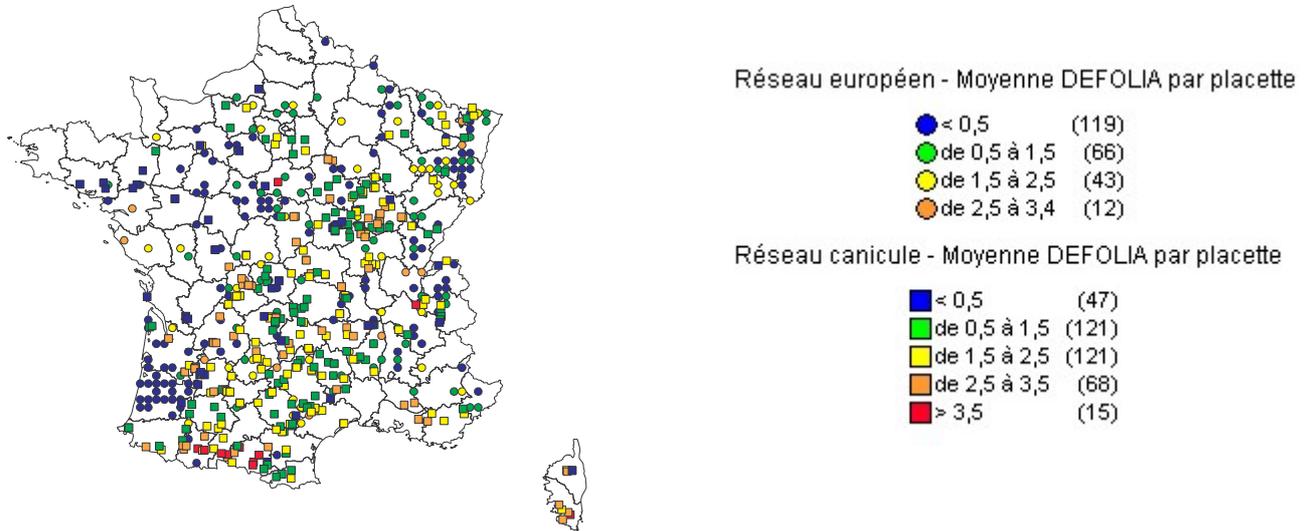


Figure 2 : représentation sur une même carte des placettes issues des deux réseaux (réseau européen figuré par des ronds, réseau complémentaire canicule figuré par des carrés) selon la valeur moyenne obtenue en 2003 par placette selon le protocole DEFOLIA
Plots of the European Network (circles) and Heatwave Network (squares) distributed by defoliation average in 2003, according to DEFOLIA protocol

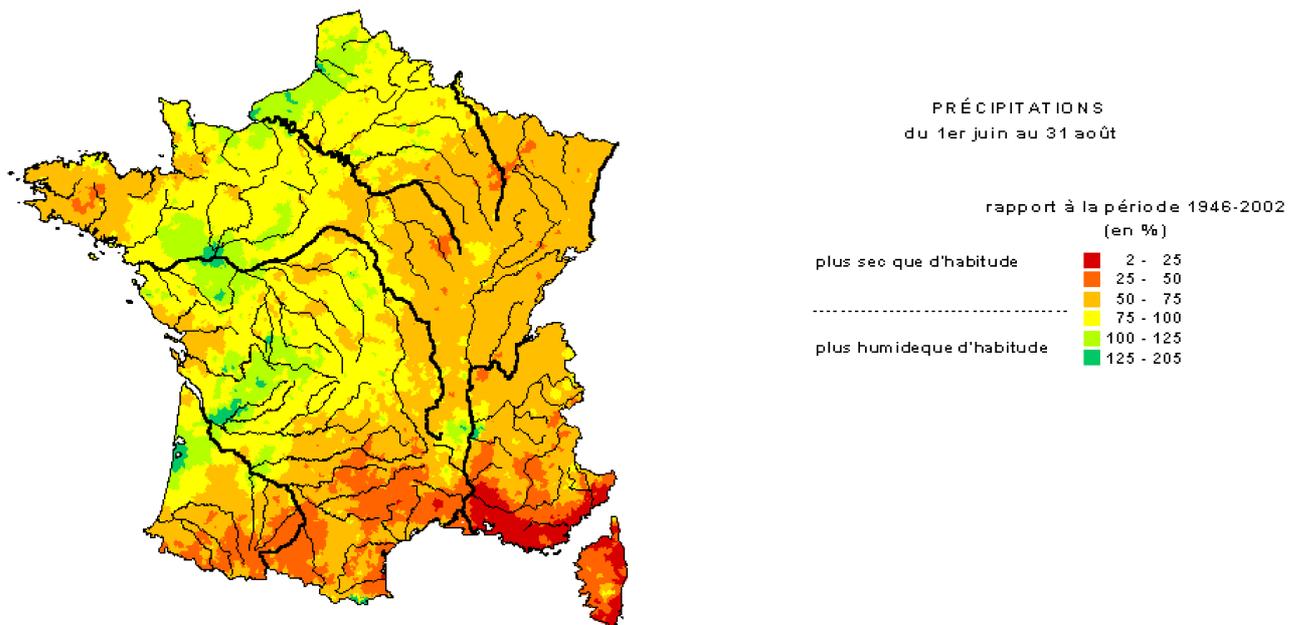


Figure 3 : Répartition des précipitations du 1^{er} juin au 31 août 2003, par rapport à la moyenne de la période 1946-2002.
 Source : réseau national de données sur l'eau
Rainfall distribution from 1st of June until 31st of August 2003, compared with average of the 1946-2002 period



Les essences observées

Les cartes de la figure 4 permettent de visualiser les principales essences analysées sur les deux réseaux.

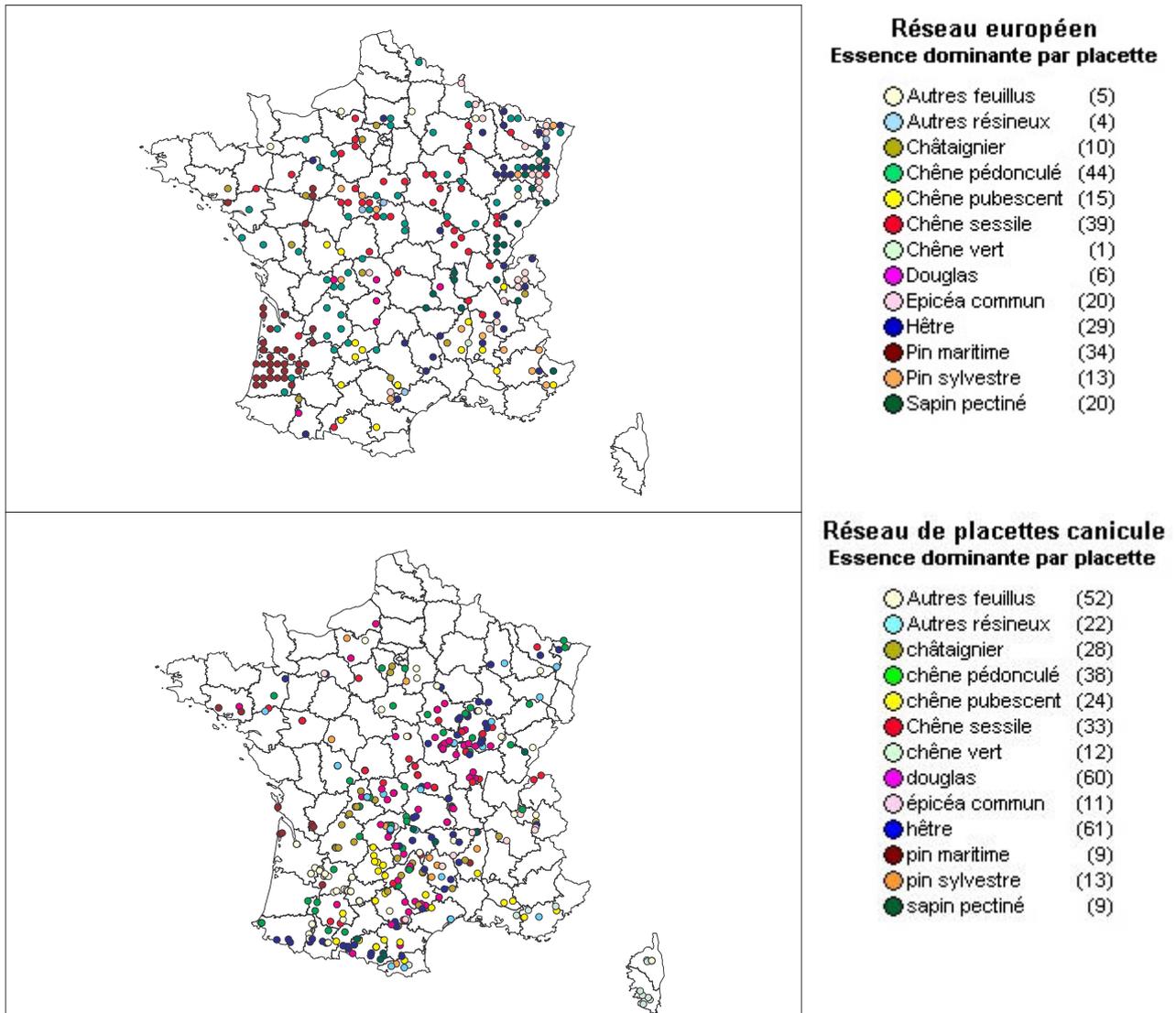


Figure 4 : répartition géographique et selon l'essence dominante des placettes notées sur le réseau européen (en haut) et sur le réseau complémentaire canicule (en bas)

Distribution by main species of plots of the European Network (top) and the Heatwave network (bottom)

Seules les essences les plus représentées en nombre d'individus sont analysées dans la suite de ce document.



Les feuillus : un effet immédiat très marqué de l'impact de l'été 2003 mais une évolution peu prévisible de l'état des houppiers sur la base des premiers symptômes...

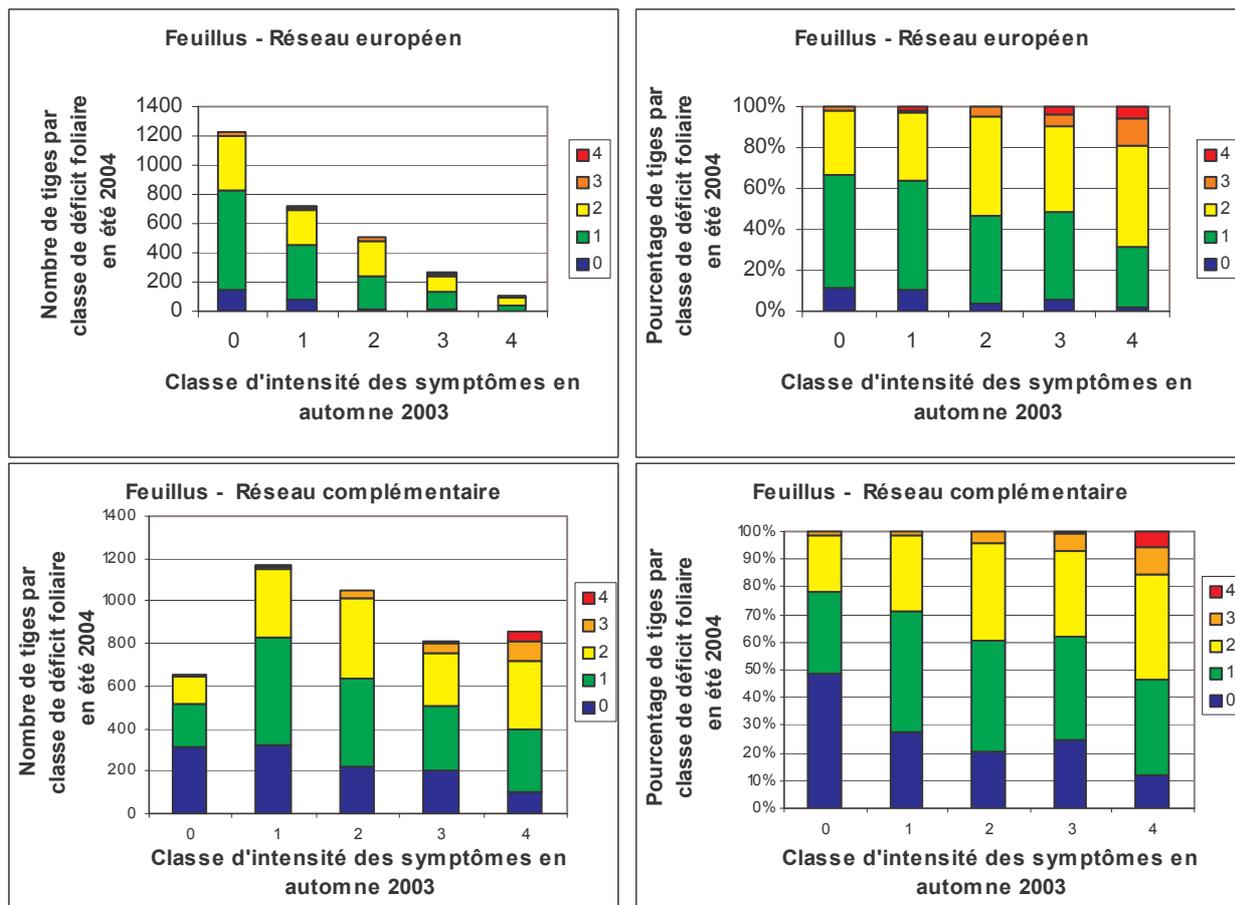


Figure 5 : Diagrammes présentant la répartition par classe de déficit foliaire en 2004 des tiges feuillues, en fonction de leur classe d'intensité des symptômes à l'automne 2003 : répartition selon les valeurs absolues à gauche, par pourcentage à droite ; arbres du réseau européen en haut, arbres du réseau complémentaire canicule en bas
 Diagrams presenting the distribution by foliage loss class for broad-leaved trees in 2004 as a function of sanitary aspect classes in autumn 2003 for absolute values (left) and percentage (right), for European Network (top) and Heatwave Network (bottom)

Essences feuillues	Placettes réseau européen	Placettes réseau complémentaire
Feuillus peu affectés en automne 2003 (taux de symptômes < 26 %)	68 %	40 %
Feuillus très affectés en automne 2003 (taux de symptômes > 60 %)	13 %	37 %

Les chiffres du tableau ci-dessus confirment l'intérêt du réseau complémentaire canicule par rapport au réseau européen. Il permet notamment de suivre un nombre suffisant d'arbres ayant manifesté d'importants symptômes immédiatement après l'épisode de sécheresse-canicule. La comparaison des deux histogrammes de gauche de la figure 5 illustre pleinement le caractère biaisé du réseau complémentaire par rapport à une représentativité de la forêt française.

D'une manière générale, le niveau de déficit foliaire des feuillus en 2004 est relativement indépendant de leur aspect visuel après l'épisode de stress climatique de l'été 2003. Pour chacune des classes d'intensité de symptômes à l'automne 2003, on retrouve en 2004 des arbres s'étalant sur toutes les classes de déficit foliaire, à l'exception de la classe de déficit foliaire la plus élevée (> 90 %). Ainsi, les niveaux de déficit foliaire des arbres qui étaient dans une même classe d'intensité de symptômes post-canicule sont très hétérogènes en 2004. On constate effectivement que des arbres très affectés en 2003 peuvent présenter un houppier entièrement feuillé l'année suivante. A contrario, des arbres paraissant peu affectés à l'issue de l'été 2003 peuvent présenter des niveaux de déficit foliaire importants un an après.

Toutefois, on observe, sur les deux réseaux, une tendance générale à l'augmentation du déficit foliaire moyen en 2004 avec l'intensité des symptômes post-canicule de 2003. Ainsi, en 2004, les taux les plus importants de déficit foliaire sont observés, pour les deux réseaux, sur les arbres qui avaient paru les plus affectés en 2003.

Ces données générales concernant les feuillus cachent de fortes disparités de comportement entre essences.

Les résineux : une incidence visuelle immédiate marquée de la canicule, mais qui concerne en réalité peu d'arbres

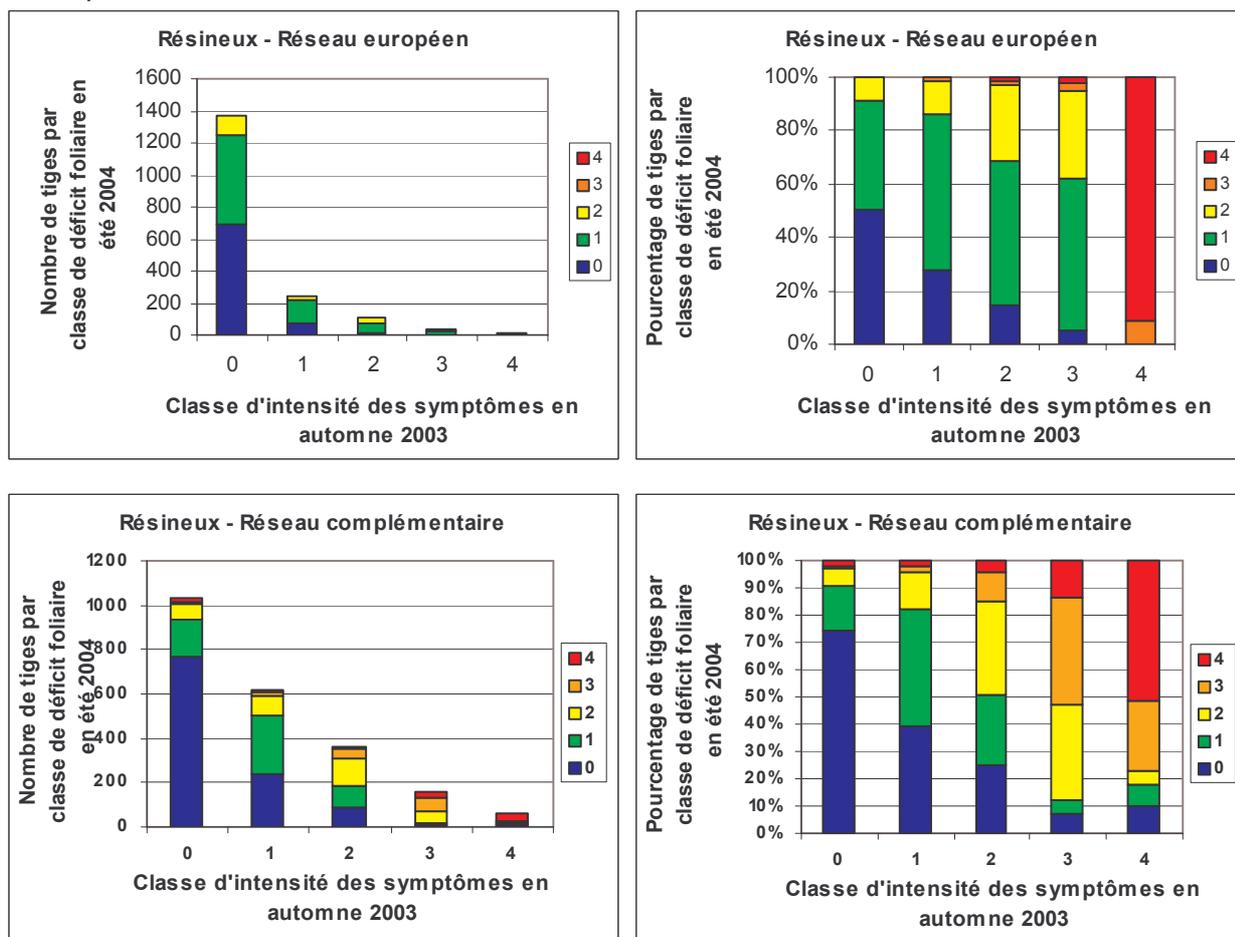


Figure 6 : Diagrammes présentant la répartition par classe de déficit foliaire en 2004 des tiges résineuses, en fonction de leur classe d'intensité des symptômes à l'automne 2003 : répartition selon les valeurs absolues à gauche, par pourcentage à droite ; arbres du réseau européen en haut, arbres du réseau complémentaire canicule en bas
Diagrams presenting the distribution by foliage loss class for conifers in 2004 as a function of sanitary aspect classes in autumn 2003 for absolute values (left) and percentages (right), for European Network (top) and Heatwave Network (bottom)

Essences résineuses	Placettes réseau européen	Placettes réseau complémentaire
Résineux peu affectés en automne 2003 (taux de symptômes < 26 %)	89 %	74 %
Résineux très affectés en automne 2003 (taux de symptômes > 60 %)	4 %	10 %

Les chiffres du tableau ci-dessus et la figure 6 illustrent bien le fait que très peu de tiges résineuses ont exprimé des symptômes forts à l'issue de l'été 2003 (seulement 4% des résineux sur le réseau européen). Il est intéressant de mettre en rapport ce résultat avec la mobilisation importante des gestionnaires forestiers dès le mois d'août 2003, soulignée par les médias régionaux, face aux douglas rougis et aux épicéas desséchés (souvent d'ailleurs du fait des scolytes et non de la sécheresse ou de la canicule). On constate globalement que les résineux ont en 2004 **des comportements très contrastés** en terme de déficit foliaire **selon leur niveau d'intensité de symptômes de l'automne 2003**. Malgré l'effectif relativement restreint d'arbres concernés, on constate que les résineux qui ont montré des niveaux élevés de symptômes à l'automne 2003 présentent un an après de forts taux de déficit foliaire. Les résineux les plus affectés en 2003 (avec décoloration, dessèchement ou chute de plus de 60 % du feuillage) sont en général dans un état sanitaire très précaire l'année suivante : 60 % d'entre eux présentent un déficit foliaire supérieur à 60 %, alors que cette proportion n'est que de 11 % pour les feuillus. Cette différence de comportement entre feuillus et résineux est en partie liée au caractère



beaucoup plus irréversible d'une perte foliaire importante pour les résineux que pour les feuillus, du fait qu'ils n'ont pas la capacité de reconstituer leur feuillage l'année suivante. A l'inverse, les résineux les moins affectés suite à l'été 2003 présentent majoritairement (80 à 90 % des cas) en 2004 un déficit foliaire nul à faible. Comme pour les feuillus, ces tendances générales cachent de fortes disparités entre essences.

Une situation contrastée entre feuillus et résineux

Les cartes de la figure 7, présentant par placette l'état moyen des symptômes en automne 2003, illustrent bien le contraste visuel entre feuillus et résineux immédiatement après l'été 2003 : l'impact spectaculaire de la sécheresse sur les feuillus en terme de nombre d'arbres présentant des niveaux élevés de symptôme est traduit par l'importance des points jaunes et oranges, alors que pour les résineux, ce sont les points bleus et verts qui dominent. Ce contraste s'observe aussi bien sur le réseau européen que sur le réseau complémentaire.

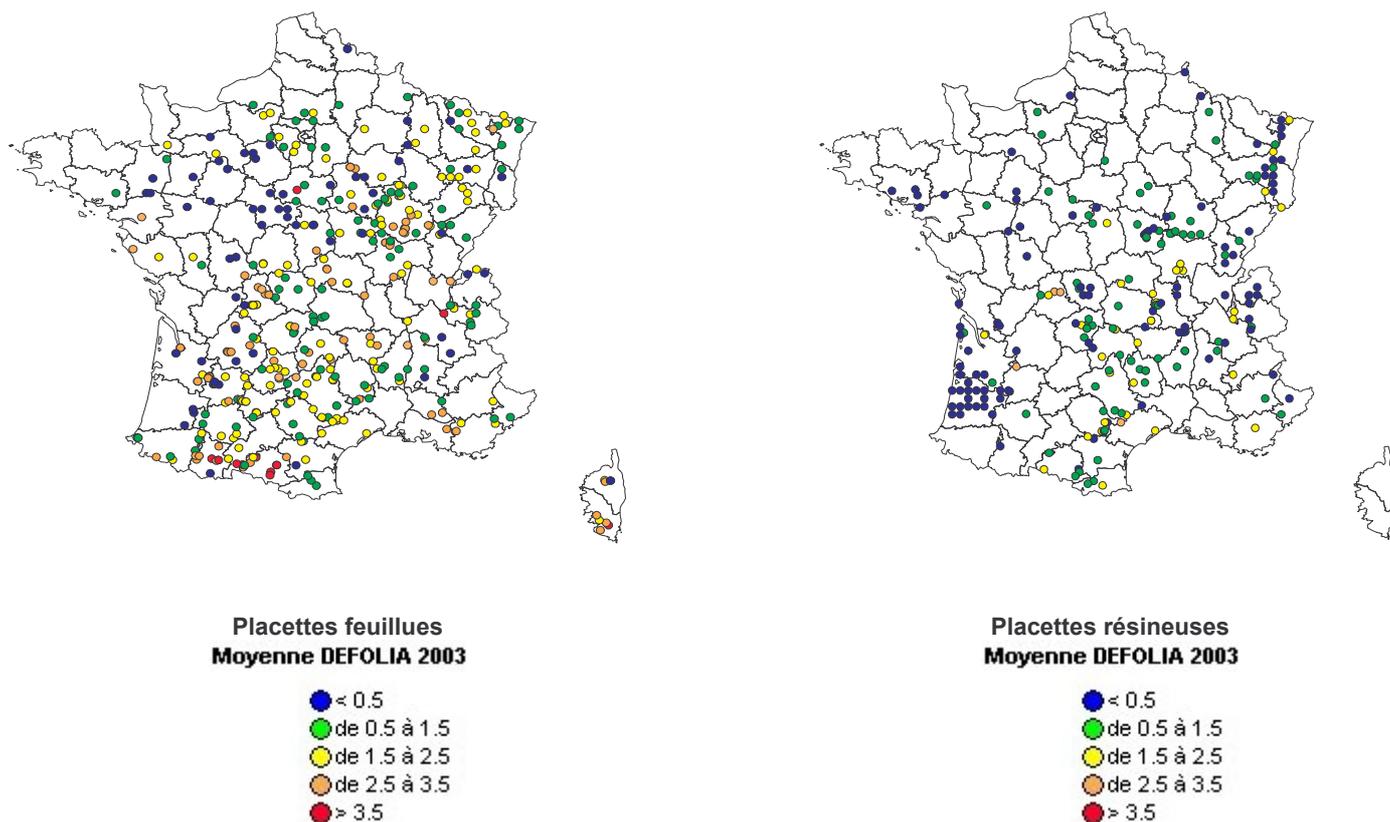


Figure 7 : répartition géographique et selon la valeur moyenne obtenue en 2003 pour le protocole DEFOLIA des placettes des deux réseaux : placettes à dominante feuillue à gauche, placettes à dominante résineuse à droite.

Distribution in 2003 by defoliation average obtained with DEFOLIA protocol on plots of both networks: plots mainly with broad-leaved trees (left) and plots with conifers (right)

Cette observation est cohérente avec les résultats de l'enquête réalisée à dire d'expert par les correspondants observateurs en septembre 2003. Sur une même zone géographique les différences d'impact visuel de la sécheresse et de la canicule entre feuillus et résineux (voir figure 8 les extraits cartographiques du réseau canicule concernant la Bourgogne et le sud du Massif Central, les placettes à dominante feuillue étant figurées avec des ronds, celles à dominante résineuse étant représentées par des triangles) peuvent s'expliquer à la fois par des implantations sur des stations aux caractéristiques hydriques différentes (en particulier pour la réserve utile) et par une différence de sensibilité à la sécheresse entre feuillus et résineux, notamment en terme de capacité de contrôle des transferts hydriques. Bréda *et al.* (2004) ont en effet montré une plus forte sensibilité globale des feuillus à la sécheresse vis-à-vis du risque d'embolie du système conducteur. Cette forte sensibilité est contrebalancée chez certaines essences feuillues par une stratégie d'évitement pour échapper aux déficits hydriques élevés, qui consiste en la chute précoce des feuilles. Cette stratégie d'évitement n'existe pas chez la plupart des conifères. Ceci explique probablement en partie pourquoi la perte foliaire globale (chute, dessèchement, décoloration) immédiatement après la sécheresse-canicule a été plus importante pour les feuillus



que pour les résineux. Rappelons cependant que les notations effectuées en 2003 ne permettent pas de distinguer, dans la perte foliaire constatée, ce qui relève de stratégies de résistance des arbres face au déficit hydrique, de ce qui correspond à des dommages subis.

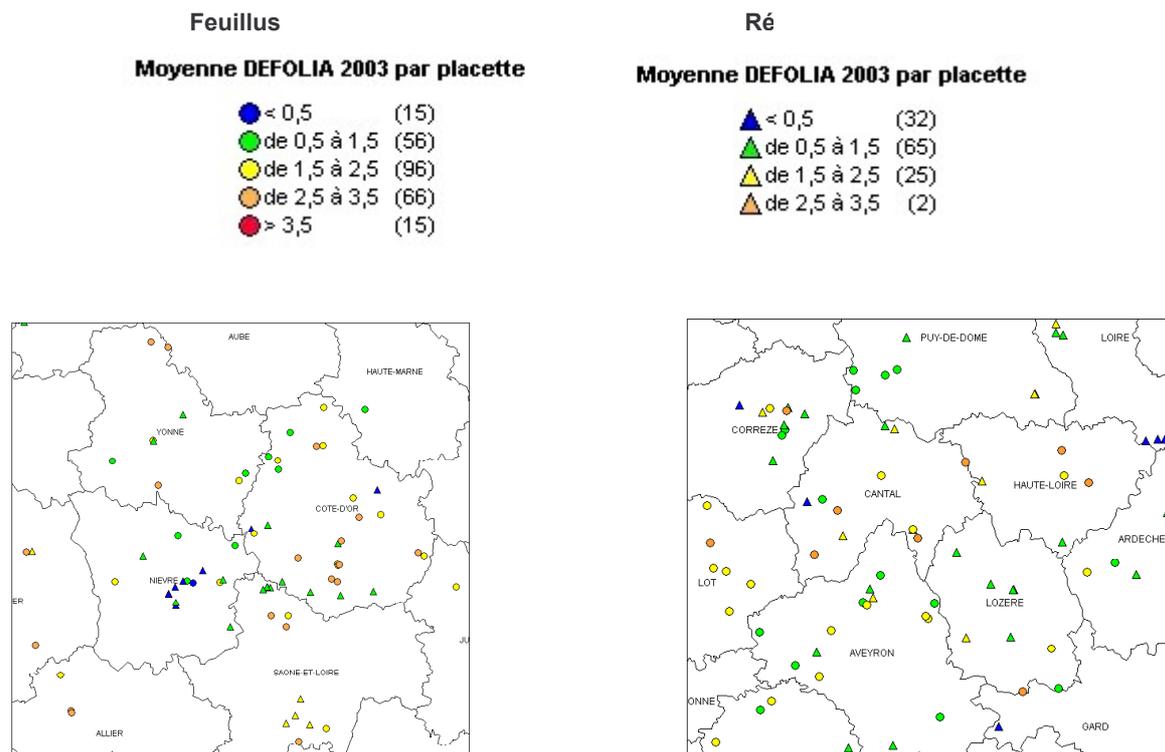
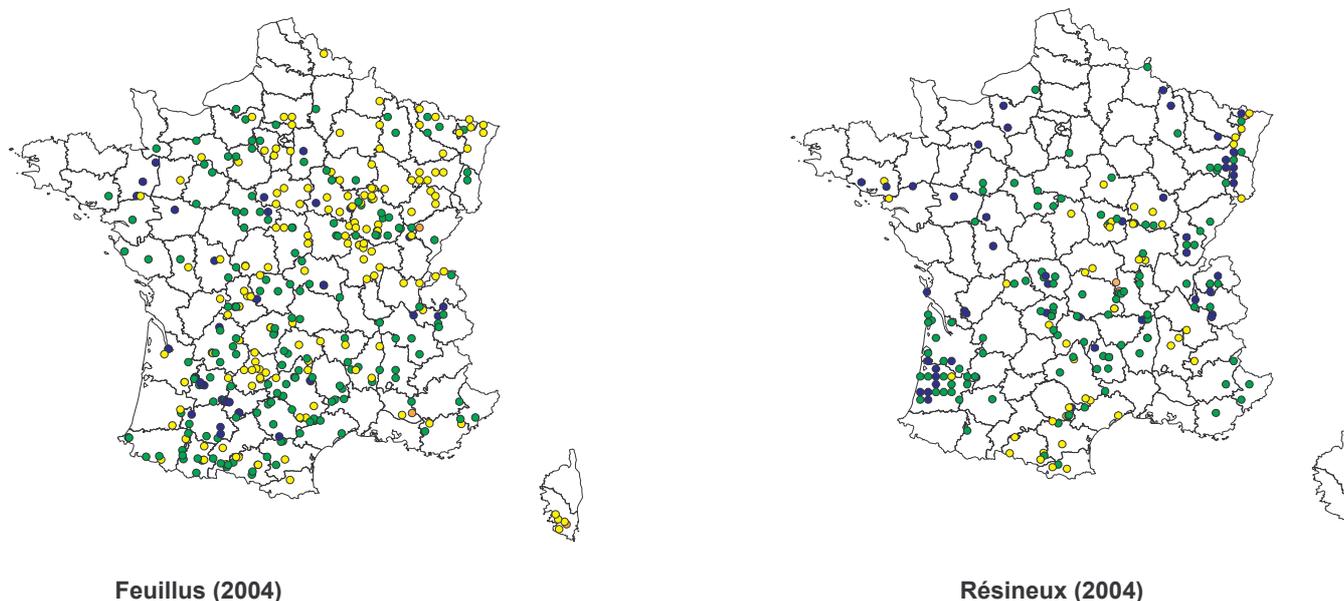


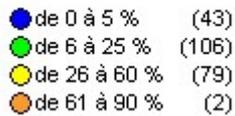
Figure 8 : Variations locales de la valeur moyenne obtenue en 2003 pour le protocole DEFOLIA des placettes des deux réseaux selon la dominante feuillue (figuration par des ronds) ou résineuse (figuration par des triangles) de la placette : détail concernant la Bourgogne et le sud du Massif Central

Local variations of average defoliation loss in 2003 for plots of both networks with domination of broad-leaved trees (circles) or conifers (triangles). Details of Bourgogne and southern Massif Central

Pour 2004, les cartes de la figure 9 permettent de visualiser sur les deux réseaux le déficit foliaire moyen par placette : ces données sont présentées distinctement pour les résineux et pour les feuillus. Notons toutefois que l'estimation du déficit foliaire en 2004 relève d'un protocole distinct de celui mis en œuvre pour l'analyse des symptômes en 2003 : de ce fait, pour une même placette, le changement de couleur d'une année à l'autre ne traduit pas forcément un changement de degré de vitalité des arbres.



Déficit foliaire moyen par placette



Déficit foliaire moyen par placette

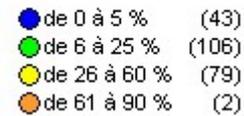


Figure 9 : répartition géographique et selon la valeur moyenne du déficit foliaire noté en 2004 des placettes des deux réseaux : placettes à dominante feuillue à gauche, placettes à dominante résineuse à droite.

Distribution in 2004 by defoliation average obtained with DEFOLIA protocol on plots of both networks: plots mainly with broad-leaved trees (left) and plots with conifers (right)

La comparaison feuillus/résineux sur chaque réseau fait apparaître sur les placettes feuillues un déficit foliaire moyen supérieur à celui observé pour les placettes résineuses. On observe ainsi en 2004 (comme en 2003) des proportions de feuillus moyennement à très affectés supérieures à celles observées chez les résineux. Les graphiques de la figure 10 montrent que cette tendance est la même sur les deux réseaux. La différence entre feuillus et résineux apparaît atténuée en 2004 par rapport à celle de 2003. Ceci est lié, d'une part à l'effectif restreint de résineux présentant des niveaux élevés de symptômes en 2003 et montrant toujours, un an après, de forts taux de déficit foliaires, et d'autre part à l'effectif important de sujets feuillus présentant des niveaux de symptômes élevés en 2003 mais des niveaux de déficit foliaire très faibles en 2004.

Par ailleurs, la présentation cartographique fait ressortir le fait que les sujets résineux ou feuillus moyennement ou fortement affectés sont répartis sur un nombre important de placettes et non pas concentrés sur quelques unes.

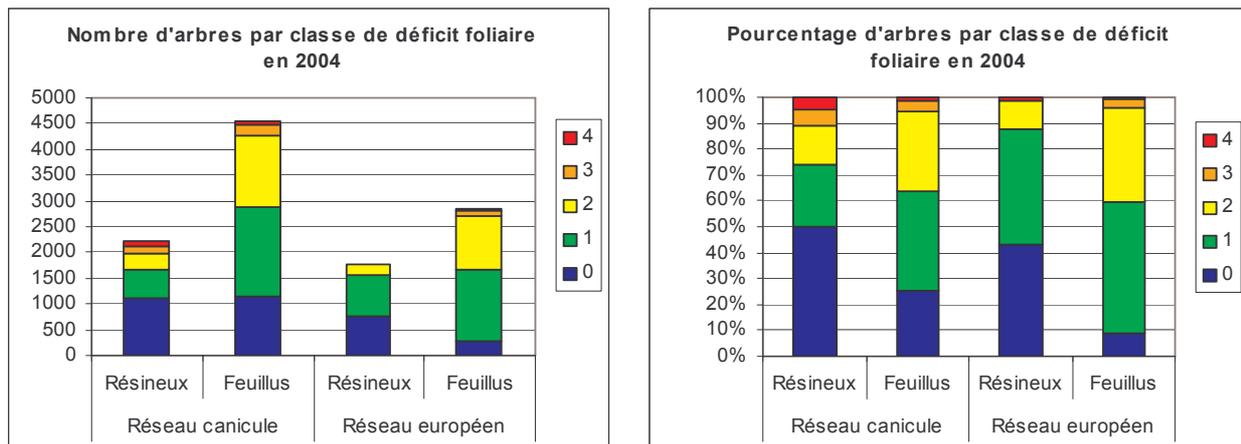


Figure 10 : Différence de déficit foliaire 2004 entre feuillus et résineux pour chacun des deux réseaux : valeurs absolues à gauche, valeurs relatives à droite.

Difference of defoliation loss in 2004 between broad-leaved trees and conifers of both networks : absolute values (left) and percentages (right)

Les détails des résultats, présentés essence par essence (chêne sessile, chêne pédonculé, chêne pubescent, hêtre, châtaignier, peuplier, pin maritime, pin sylvestre, sapin pectiné, épicéa commun, douglas) figurent dans les deux documents annexes : l'un consacré aux feuillus, l'autre aux résineux.

L'exploitation des données récoltées en 2003 et 2004 sur le réseau européen et sur le réseau complémentaire, spécialement mis en place par le Département de la santé des forêts à la suite de l'épisode de sécheresse-canicule de 2003, permet de dégager d'ores et déjà quelques enseignements généraux.

Les résultats des observations réalisées sur le réseau européen font apparaître la diversité des réponses des différentes essences immédiatement après la canicule (sauf pour le douglas et le peuplier, essences très peu ou non prises en compte dans le réseau européen). Ces résultats corroborent les données de l'enquête réalisée par les correspondants-observateurs à l'automne 2003. Les rougissements et dessèchements ont bien été globalement plus importants sur feuillus que sur résineux. Châtaignier, chêne pubescent et hêtre apparaissent bien comme les essences les plus affectées. Ce n'est que pour le pin sylvestre que les résultats des deux dispositifs ne vont

pas dans le même sens : il apparaît moyennement affecté d'après les données des réseaux d'observation, alors que les correspondants-observateurs ont signalé dans leur enquête des symptômes particulièrement discrets.

Nous nous sommes par ailleurs attachés, pour les deux réseaux, à analyser le degré de corrélation entre les niveaux de symptômes à l'automne 2003 et les taux de déficit foliaire en 2004. Cette approche permet d'évaluer, en fonction de l'essence concernée, dans quelle mesure les premiers symptômes observés permettent ou non d'asseoir un diagnostic phytosanitaire. Ce dernier peut permettre de faire un pronostic sur l'avenir des arbres et, éventuellement, de réaliser des interventions sylvicoles. La présente étude apporte des éléments objectifs visant à cadrer ce type de démarche, traditionnellement réalisée selon des estimations empiriques, et suggère de n'utiliser ce diagnostic précoce que pour l'épicéa commun, le douglas et le pin sylvestre.

Par ailleurs les résultats présentés ne préjugent pas de l'évolution future des peuplements suivis, et en particulier des plus touchés. Aussi apparaît-il nécessaire de poursuivre les observations dans les années à venir. On sait en effet que des processus de dépérissements complexes peuvent se manifester plusieurs années après des événements climatiques exceptionnels.

Il serait également nécessaire de pondérer les résultats obtenus, en fonction notamment de l'histoire individuelle des arbres et de leur état de santé avant la canicule (donnée disponible pour les arbres du réseau européen), des caractéristiques stationnelles du peuplement et du respect ou non de l'adaptation essence-station, de la position sociale des arbres...

Références bibliographiques

Bréda N., Granier A., Aussenac G. 2004. La sécheresse 2003 dans le contexte climatique des 54 dernières années : analyse écophysiological et influence sur les arbres forestiers. RFF LVI,2, 2004, 109-131.

Département de la santé des forêts. Sécheresse et canicule de l'été 2003 : quelle incidence visuelle sur les peuplements forestiers ? Information santé forêt, février 2004, 8p. http://www.agriculture.gouv.fr/spip/IMG/pdf/isfweb_long.pdf

