



HAL
open science

Géographie de l'impact du gel sur la maladie de l'encre du chêne

Magali Bergot, Benoit Marçais, Victorine Pérarnaud, Marie-Laure Desprez-Loustau, Andre Levy

► **To cite this version:**

Magali Bergot, Benoit Marçais, Victorine Pérarnaud, Marie-Laure Desprez-Loustau, Andre Levy. Géographie de l'impact du gel sur la maladie de l'encre du chêne. *La Météorologie*, 2011, 8 (34), pp.45-52. 10.4267/2042/36182. hal-02074209

HAL Id: hal-02074209

<https://hal.science/hal-02074209>

Submitted on 3 Apr 2019

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.

GEOGRAPHIE DE L'IMPACT DU GEL SUR LA MALADIE DE L'ENCRE DU CHENE

Magali Bergot +, Benoit Marçais. *, Victorine Pérarnaud.+ , Marie-Laure Desprez-Loustau **, Levy, A. ++

+ Météo-France, Service Central d'Exploitation de la Météorologie,

* INRA Nancy, Laboratoire de pathologie forestière

** INRA Bordeaux, Laboratoire de pathologie forestière

++ Ministère de l'Agriculture, Département de la Santé des Forêts

1 / INTRODUCTION

Le chêne est la première essence commerciale feuillue française. L'économie du chêne et de ses produits dérivés se caractérise par la très grande diversité des utilisations de cette essence : principalement dans l'ameublement, dans le bâtiment, dans divers emplois en emballage, calage, bois sous rails, fonds de wagons (Normandin,1990). Le chêne pédonculé (*Quercus robur*), espèce indigène, est la première essence forestière en France et occupe une surface d'environ 2,3 millions d'hectares selon les dernières données de l'Inventaire Forestier National (IFN), pour une production brute de 8 millions de m³ par an.

Le chêne rouge (*Quercus rubra*), espèce introduite d'Amérique du Nord, est une des principales essences utilisées, à partir des années 1910, pour le reboisement en Pyrénées-Atlantiques et en Hautes-Pyrénées. Il s'agissait alors de reconstituer les châtaigneraies et les forêts ruinées au cours du demi-siècle précédent, principalement par la " maladie de l'encre " du châtaignier (Timbal et al.,1994). Le principal atout du chêne rouge réside dans la qualité de son bois, équivalente à celle des chênes indigènes, alliée à une forte croissance et à grande plasticité écologique. Toujours selon les dernières données de l'IFN, le chêne rouge occupe une surface d'environ 23 000 hectares pour une production brute de 114 000 m³ par an.

La maladie de l'encre, signalée sur les chênes rouges dès 1948 dans les Pyrénées Atlantiques, est causée par un champignon appelé *Phytophthora cinnamomi*. Cette maladie se manifeste par la présence, à la partie inférieure du tronc, de plaies chancreuses boursoufflées d'où s'écoule un liquide noirâtre généralement bien visible en période de végétation. Sur la section transversale du tronc, on observe des bourrelets de cicatrisation qui incluent les nécroses corticales, anciennes ou en cours, et qui provoquent ainsi d'importantes irrégularités de structure et de coloration du bois. La bille de pied se trouve alors complètement dépréciée sur la hauteur atteinte, généralement inférieure à 2-3 m (Levy, 1995). Cette maladie, fréquente dans le sud-ouest de la France, constitue un problème important et un facteur limitant réel de l'utilisation du chêne rouge.

Le chêne pédonculé semblait jusqu'à présent relativement épargné par cette maladie. Mais en 1996, des arbres présentant des symptômes de type encre ont été découverts en grand nombre dans plusieurs jeunes peuplements de la vallée de l'Adour. Les enquêtes et observations récentes du Département de la Santé des Forêts (D.S.F) ont permis de détecter la maladie de l'encre sur chêne pédonculé dans les Landes, les Pyrénées Atlantiques, le Bas-Adour, la Chalosse, les Coteaux Basques, les Coteaux des Gaves et la bordure sous Pyrénéenne (Maugard, 1997).

La température semble le principal facteur de l'environnement jouant un rôle dans l'épidémiologie de la maladie. En effet, *P. cinnamomi*, originaire de la zone tropicale, est très sensible au gel. Or, le principal dommage provoqué par ce parasite sur les chênes est le chancre induit au niveau du tronc. Par contre, chez d'autres hôtes, notamment le châtaignier, *P. cinnamomi* est limité au système racinaire de l'arbre et peut d'ailleurs provoquer un dépérissement de l'arbre par les dégâts qu'il provoque. Dans les troncs des chênes, *P. cinnamomi* se trouve exposé aux éventuelles basses températures, alors que dans le sol et les racines, il est protégé des brusques écarts de la température de l'air. Ces éléments pourraient expliquer en grande partie la répartition actuelle de la maladie de l'encre du chêne, limitée au sud-ouest de la France et aux régions contiguës d'Espagne, par rapport à l'aire de distribution plus étendue du champignon et des maladies qu'il occasionne sur d'autres plantes (Robin *et al.*, 1998).

Pour chaque chêne, la répartition des surfaces et les mentions de maladie de l'encre sont présentées dans la carte N° 1 pour le chêne rouge et la carte N° 2 pour le chêne pédonculé.

L'objectif de cette étude est de déterminer la zone possible d'extension de cette maladie pour les deux types de chênes à l'échelle du territoire national en se basant sur l'analyse spatiale et temporelle des notes de survie du champignon calculées à partir d'un modèle développé par l'INRA.

2) LE MODELE DE SURVIE DU CHAMPIGNON

L'INRA a développé un modèle de survie du champignon *Phytophthora cinnamomi* dans les troncs de chêne rouge à partir de la courbe de survie du champignon dans le liber (tissu végétal assurant la conduction de la sève élaborée et se trouvant dans l'écorce des racines, des tiges et de l'écorce du tronc), déterminée *in vitro*. Ce modèle s'appuie d'une part sur l'utilisation des sommes des degrés heures négatifs calculés sur la période allant du 1^{er} novembre au 31 mars et d'une équation de transfert permettant de calculer la température interne des troncs (température cambiale) à partir de la température de l'air d'autre part (Marçais et al., 1996). Le coefficient de transfert entre les 2 variables (température cambiale et température de l'air), appelé coefficient de transmission thermique, dépend des caractéristiques de l'arbre.

Une validation de ce modèle a été réalisée grâce à l'analyse rétrospective du développement des chancres dans 4 sites du Sud-Ouest, au cours des 25 dernières années (Marçais et al., 1996). Une bonne adéquation entre notes prédites (survie ou mort du champignon) et développement observé des chancres a été obtenue en accord avec un effet de type "facteur limitant". Une analyse préliminaire sur 10 sites du grand Sud-Ouest a de plus montré que l'aire de distribution de la maladie correspond à la zone la plus favorable à la survie du champignon, où le froid hivernal est le moins intense : notes de survie proches de 1 et sommes de 2000 degrés heures négatifs atteintes moins d'une année sur 10.

Le modèle de survie suppose que des lésions provoquées par *P. cinnamomi* sont présentes sur la base des troncs. Il décrit l'impact du gel sur la survie hivernale du parasite dans ces lésions, et donc sur la capacité du chancre à se perpétuer. Il se décompose schématiquement en 5 étapes principales :

1/ Un coefficient thermique de transmission est calculé pour la partie basse du tronc. Ce coefficient permettant d'estimer la proportion des variations de température de l'air transmise à l'écorce, dépend du diamètre du tronc de l'espèce de chêne, pédonculé ou rouge et de l'état de l'écorce, gelée ou non gelée. Les variations de la température du liber sont d'autant plus tamponnées que le diamètre du tronc est gros. Le coefficient thermique de transmission est plus faible chez le chêne pédonculé que chez le chêne rouge, ce qui est probablement dû à une écorce plus épaisse chez le chêne pédonculé.

2/ Pour chaque station ou poste sélectionné du domaine d'étude, les températures minimales et maximales quotidiennes sont extraites de la base de données climatologiques de Météo-France, du 1^{er} novembre de l'année N-1 au 31 mars de l'année N, sur une période de 30 ans (1968 - 1998).

Une reconstitution des températures horaires est effectuée pour chaque journée en utilisant la formule de Choissnel (Choissnel, 1977) et en posant l'hypothèse d'une journée non perturbée :

$$T(h) = T_N + (T_X - T_N) * K_T(h, \text{saïson})$$

avec T(h) = température horaire en degrés Celsius, h variant de 0 à 23

T_X = température maximale en degrés Celsius

T_N = température minimale en degrés Celsius

K_T = coefficient saisonnier fonction de l'heure

3/ Utilisation d'une méthode itérative pour calculer la température cambiale horaire à l'aide du coefficient de transmission et des températures horaires de l'air. Une procédure servant à recalculer les températures horaires cambiales générées par la méthode itérative est ensuite appliquée tous les jours en utilisant la relation existant entre la température moyenne de l'air et celle du cambium.

4/ Calcul de la somme de températures horaires en dessous de 0° C pour le cambium à la face sud et à la face nord du tronc.

5/ Calcul de la note de survie du champignon pour les faces nord et sud du tronc en utilisant les sommes de températures en dessous de 0° C du cambium. La note de survie du champignon varie de 1 (survie complète) à 0 (mort du champignon).

3/ APPLICATION DU MODELE DE SURVIE DE L'INRA

3.1 sélection des données météorologiques

Les 503 stations sélectionnées sur la France (carte N° 3) sont des stations synoptiques et des postes climatologiques ayant une altitude inférieure à 1000 mètres et disposant de relevés quotidiens de températures minimale et maximale sur une période au moins égale à 30 ans, soit 1968-1998.

Le choix de cette période résulte d'un compromis entre la longueur de la période et la densité du réseau de stations météorologiques. Malheureusement, il implique de ne pas intégrer les gels importants des années 1956 et 1962, il tient compte cependant des périodes particulièrement froides comme les mois de janvier 1985 et 1987. L'analyse des données climatologiques ainsi que le calcul des notes de survie du champignon s'effectuent en période hivernale, du 1^{er} novembre de l'année N-1 au 31 mars de l'année N, sur un période de 30 ans : 1968-1998.

3.2 Paramètres du modèle fixés pour l'étude

Le coefficient thermique de transmission dépend du diamètre du tronc de l'arbre. Plus l'arbre est gros et moins les variations de la température de l'air se répercutent au niveau du liber du tronc. Le diamètre de l'arbre a été fixé à 50 cm, ce qui correspond à un arbre adulte. Au-delà de ce diamètre, le coefficient thermique de transmission ne diminue pratiquement plus. L'étude n'a porté que sur la note de survie pour la face sud du tronc car c'est sur ce côté du tronc que le parasite survit le mieux. Ainsi, la note de survie de *P. cinnamomi* est calculée dans les conditions les plus favorables au parasite, et le risque est estimé de façon conservative.

3.3 Résultats

Pour les 503 stations de l'étude, les notes de survie du champignon sont calculées année par année et pour le chêne pédonculé et le chêne rouge.

Les tableaux N° 1 et 2 montrent, pour quelques stations, que lors de l'hiver 1985 (novembre 1984 - mars 1985), et dans une moindre mesure lors des hivers 1986 et 1987, périodes particulièrement froides, les notes de survie de *P. cinnamomi* sont très faibles, aussi bien pour le chêne rouge que pour le chêne pédonculé. Il a effectivement été constaté que de nombreux chancres avaient totalement cicatrisés dans les régions de Tarbes (Hautes-Pyrénées) et Eauze (Gers) après la période 1985-1987 (Marçais *et al*, 1996). Cette période aurait été très défavorable pour la maladie à Buxerolles (Vienne) ou à Mirambeau (Charente-Maritime) et encore plus à Blois (Loir-et-Cher) ou à Tavaux (Jura). Par contre, à Anglet (Pays Basque), la période n'a pas été aussi défavorable pour la maladie : s'il y a eu un impact sur le développement des chancres, le parasite n'a pas été totalement éliminé.

Pour une station donnée et une année fixée, on constate que la note de survie de *P. cinnamomi* dans les troncs de chêne pédonculé est supérieure à la note de survie de *P. cinnamomi* dans les troncs de chêne rouge. Cela est dû au fait que le coefficient de transmission thermique est plus faible chez le chêne pédonculé, à cause d'une écorce plus épaisse. La différence peut avoir une importance biologique certaines années comme en 1981 à Buxerolles. Effectivement, dans tous les postes étudiés, la fréquence d'années à hivers défavorables à la survie hivernale de *P. cinnamomi* est plus élevé pour les chênes rouge que pour les chênes pédonculés (tableaux N° 3 et 4).

4/ CARTOGRAPHIE ET ZONAGE DES NOTES DE SURVIE

De façon à mettre en évidence la variabilité inter-annuelle de la survie du champignon, une analyse fréquentielle des notes de survie est effectuée pour chaque station du domaine d'étude. Pour chaque stations, les paramètres statistiques tels que le 1^{er} décile (Q_{10}), le 1^{er} quintile (Q_{20}), la valeur médiane (Med), la valeur moyenne (Moy), le 4^{ème} quintile (Q_{80}), le dernier décile (Q_{90}) sont calculés. La cartographie d'un de ces paramètres statistiques permet de mettre en évidence la variabilité spatiale de la survie du champignon. La cartographie est réalisée grâce au Système d'Information Géographique Arcview. Les tracés sont réalisés à partir de l'interpolation des valeurs statistiques des notes de survie en points de grille avec un maillage de 4 km. L'interpolation en 1/r² utilisée, a été réalisée en limitant le nombre de stations prises en compte lors du calcul aux 5 valeurs disponibles les plus proches.

La carte N °4 donne la répartition de la médiane de la note de survie de *P. cinnamomi* dans les troncs de chêne rouge en France. Les zones à risques pour le chêne rouge se trouvent dans les régions où la médiane de la note de survie est au-dessus de 0.5, en particulier dans le tiers ouest du pays, le chêne rouge étant absent en zone méditerranéenne. En effet, quand la note de survie est au-dessous de ce seuil de 0.5, les chancres ont tendance à régresser. Par conséquent, dans les zones où la note médiane est au-dessous de 0.5, la maladie ne devrait pas pouvoir s'établir. Le quart nord-est du pays est encore plus défavorable puisque la médiane de la note de survie est au dessous de 0.05. Or, il a été constaté que les hivers où la note de survie est au dessous de 0.05, *P. cinnamomi* est éliminé de chancres montant à plus de 2 m de haut sur le tronc des arbres (Marçais *et al*, 1996).

Afin de compléter et d'approfondir les résultats obtenus avec l'analyse des quintiles, déciles et médiane, il a été décidé de calculer et de cartographier la fréquence d'obtention d'une note de survie inférieure ou égale à plusieurs seuils choisis spécifiquement.

Les valeurs sélectionnées sont les suivantes :

- 0.05 : note correspondant à une guérison totale des chancres.
- 0.2 : note correspondant à une guérison partielle.
- 0.5 : note à partir de laquelle un développement des chancres est possible.

La carte N° 5 de fréquence d'obtention d'une note de survie de *P. cinnamomi* inférieure ou égale à 0.5 dans les troncs de chêne rouge confirme bien que les zones à risque sont situées dans le sud-ouest et sur la côte atlantique. Ces zones correspondent à de très faibles fréquences (de 0 à 20 %) d'obtention d'une note de survie inférieure ou égale à 0.5 : le gel n'est presque jamais un facteur limitant dans ces régions. Seuls des gels exceptionnels comme celui de l'hiver 1985 vont influencer l'évolution de la maladie et des gels de ce type ont lieu moins d'une année sur dix (carte N° 6). Dans les Pyrénées-Atlantiques, et notamment au Pays Basque où l'encre du chêne est particulièrement sévère, la maladie peut se développer sans être limitée par le gel plus de neuf années sur dix. En revanche, des zones comme la Touraine où au plus 60 % des années sont favorables à la maladie (note de survie supérieure à 0.5) et où 10 à 20 % des années sont extrêmement défavorables (note de survie inférieure ou égale à 0.05) paraissent peu propices à la maladie.

La carte N° 7 de fréquence d'obtention d'une note de survie de *P. cinnamomi* inférieure ou égale à 0.5 dans les troncs de chêne pédonculé montre une répartition géographique des zones à risque identiques à celle du chêne rouge mais avec un décalage spatial. La zone à risque pour cette essence pourrait donc s'étendre d'environ une centaine de kilomètres vers l'est.

5/ CONCLUSIONS

Les résultats de cette étude montrent que les zones potentiellement à risque pour la maladie de l'encre du chêne sont nettement plus étendues que les zones avec mention actuelle de maladie. Il est donc malheureusement tout à fait possible, dans les prochaines années, de voir la maladie de l'encre se développer dans de nouveaux secteurs. En particulier, la Bretagne apparaît comme étant particulièrement propice au développement de cette maladie. L'encre y aurait probablement le même impact qu'au Pays basque.

Le chêne rouge a développé la maladie de l'encre sur plus de départements et depuis plus longtemps que le chêne pédonculé et la zone d'extension possible de la maladie sur chêne rouge est assez importante mais limitée toutefois aux zones côtières et au grand sud-ouest.

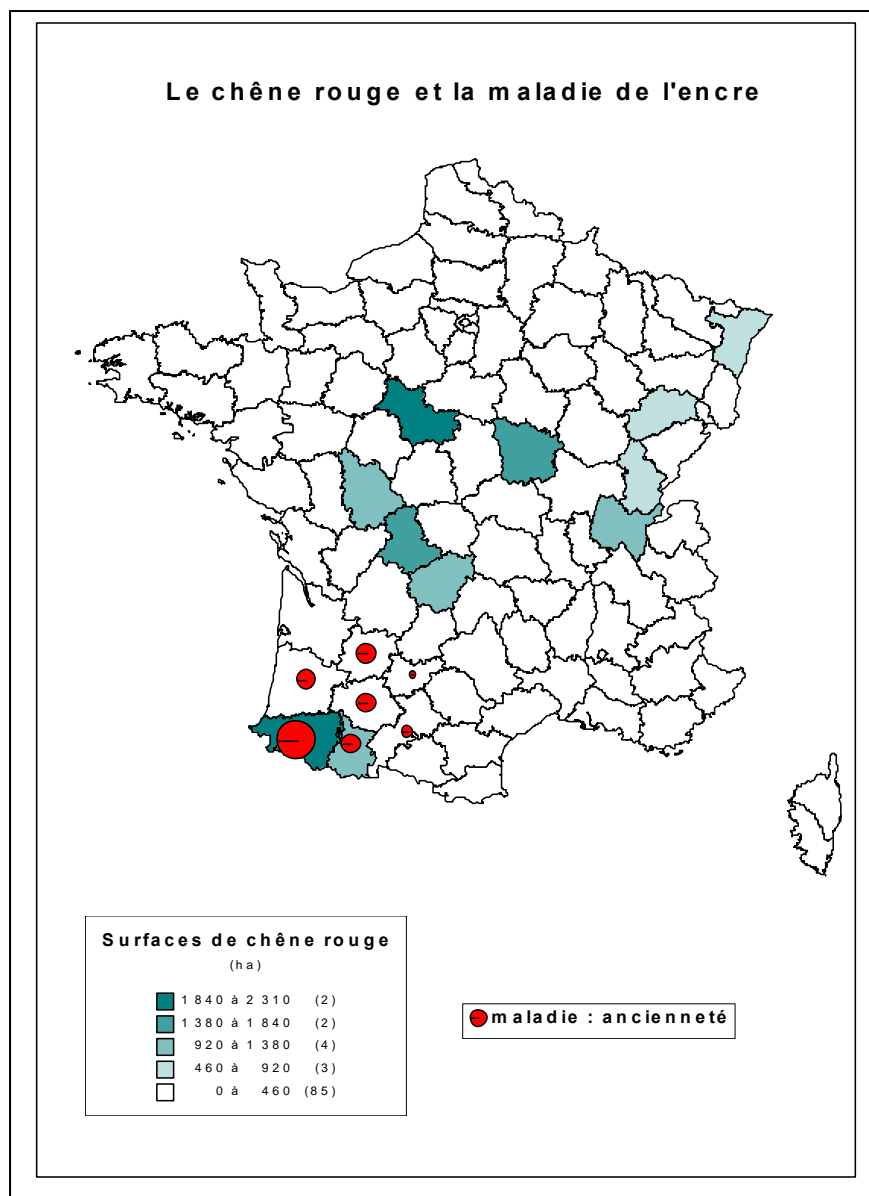
Dans la zone méditerranéenne, le gel n'est pas un facteur limitant pour *P. cinnamomi*. Si dans cette région ni le chêne rouge, ni le chêne pédonculé ne sont présents, la maladie de l'encre est observée sur d'autres espèces de chênes, en particulier sur le chêne vert et le chêne liège (Robin *et al*, 1998). Toutefois, sur ces espèces, le développement de chancres sur les troncs ne semble pas causer de gros problèmes. En particulier, le chêne vert est plus sensible à ce parasite que les autres chênes et les infections racinaires peuvent le faire dépérir.

Sur chêne pédonculé, malgré une aire potentielle plus importante que pour le chêne rouge, l'encre n'est signalée actuellement que sur 2 départements. Ceci est probablement lié à la rareté de *P. cinnamomi* dans les peuplements de chênes pédonculés. En effet, *P. cinnamomi* est un champignon du sol qui ne se dissémine pas à grande distance seul. Les voies de contaminations sont la terre et l'eau contaminées et, surtout les plants infectés. Le risque d'introduction du parasite est moindre dans les peuplements de chênes pédonculés, généralement régénérés naturellement par les glands produits sur place, que dans les peuplements de chênes rouges, régénérés par plantation de jeunes arbres produits dans des pépinières. Il faut d'ailleurs souligner que les peuplements de chênes pédonculés touchés par l'encre et identifiés, sont des plantations. Etant donné la surface occupée par le chêne pédonculé et son importance économique et écologique, l'étendue des zones à risques, largement plus importante que pour le chêne rouge, est très inquiétante. Il est impératif d'éviter d'introduire *P. cinnamomi* dans la chênaie française, en particulier dans les zones à risques.

BIBLIOGRAPHIE

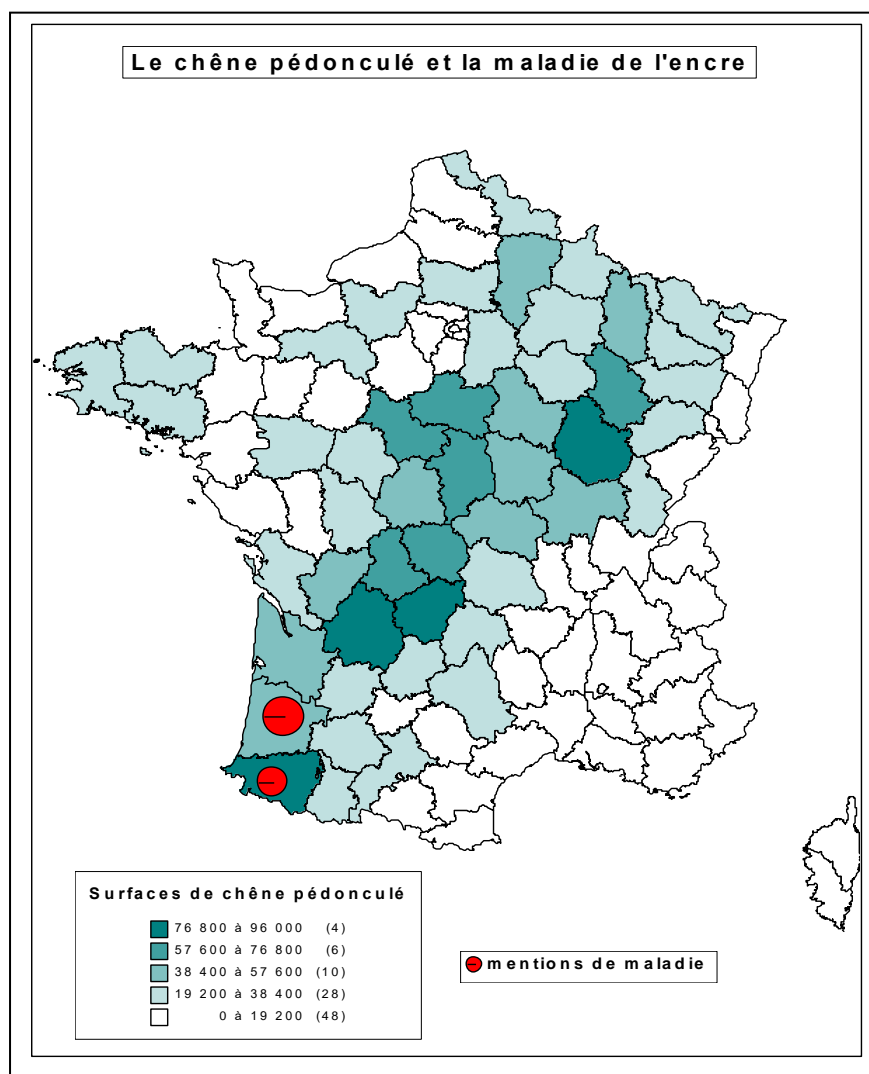
- Choisnel E., 1977 : Le bilan d'énergie et le bilan hydrique du sol , *La Météorologie*, VIème série, n°11, 103-159.
- Lévy A., 1995, L'encre du chêne rouge d'Amérique, répartition en France, facteurs stationnels dans le Piémont des Pyrénées occidentales. *Les Cahiers du D.S.F, n°1, 41 p*
- Marçais B., F. Dupuis, M.L. Desprez-Loustau, 1996, Modelling the influence of winter frosts on the development of the ink disease of oak, caused by *Phytophthora cinnamomi*. *Ann.Sci.For*, 53,369-382.
- Maugard F., 1997, L'encre sur chêne pédonculé, une inquiétude nouvelle dans le sud-ouest. *Les Cahiers du D.S.F, n°1, 29-30*.
- Normandin D., 1990, Le chêne français et ses produits dérivés, marché intérieur et concurrence internationale. *Revue forestière française*, vol.VLII, n°2, 110-118.
- Robin C., M. L. Desprez-Loustau, G. Capron, C. Delatour, 1998, First record of *Phytophthora cinnamomi* on cork and holm oaks in south-eastern France and evidence of pathogenicity. *Ann.Sci.For*, 55,869-883.
- Timbal J., M. Bartoli, M. Buffet, 1994, Introduction et utilisation du chêne rouge en France. In *Le chêne rouge d'Amérique*. INRA, Paris. 15-24.

CARTE N° 1



(d'après les données de l'IFN et du DSF, carte réalisée par ML Desprez-Loustau, INRA Bordeaux)

CARTE N° 2



(d'après les données de l'IFN et du DSF, carte réalisée par ML Desprez-Loustau, INRA Bordeaux)

CARTE N°3

**Répartition des stations d'altitude < 1000 m,
disposant de relevés de températures
sur une période de 30 ans : 1968-1998**

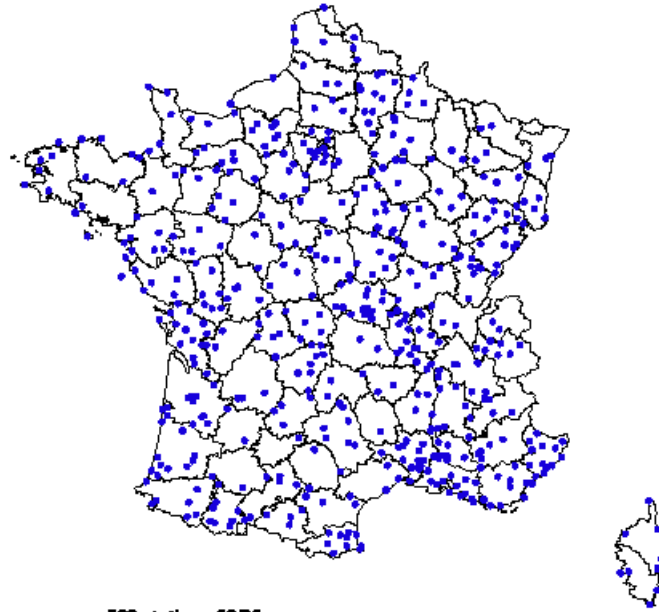


Tableau n° 1 : Notes de survie de *Phytophthora cinnamomi* dans les troncs de chêne rouge (face sud) par hiver

Département	Commune	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Jura	Tavaux	0.000	0.384	0.221	0.129	0.000	0.000	0.000
Loir-et-Cher	Blois	0.585	0.898	0.849	0.802	0.001	0.005	0.006
Vienne	Buxerolles	0.328	0.893	0.733	0.625	0.001	0.024	0.001
Charente-Maritime	Mirambeau	0.756	0.936	0.814	0.859	0.003	0.328	0.010
Hautes-Pyrénées	Ossun	0.479	0.915	0.648	0.827	0.006	0.519	0.151
Landes	Dax	0.902	0.935	0.893	0.918	0.033	0.725	0.207
Pyrénées Atlantiques	Anglet	0.926	0.936	0.914	0.931	0.174	0.866	0.724

Tableau n° 2 : Notes de survie de *Phytophthora cinnamomi* dans les troncs de chêne pédonculé (face sud) par hiver

Département	Commune	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Jura	Tavaux	0.001	0.637	0.455	0.351	0.000	0.001	0.001
Loir-et-Cher	Blois	0.718	0.908	0.873	0.868	0.002	0.013	0.001
Vienne	Buxerolles	0.621	0.919	0.815	0.811	0.002	0.074	0.003
Charente-Maritime	Mirambeau	0.849	0.936	0.846	0.909	0.007	0.488	0.017
Hautes-Pyrénées	Ossun	0.710	0.931	0.761	0.904	0.013	0.661	0.239
Landes	Dax	0.926	0.936	0.908	0.928	0.057	0.803	0.314
Pyrénées Atlantiques	Anglet	0.933	0.936	0.923	0.933	0.259	0.894	0.764

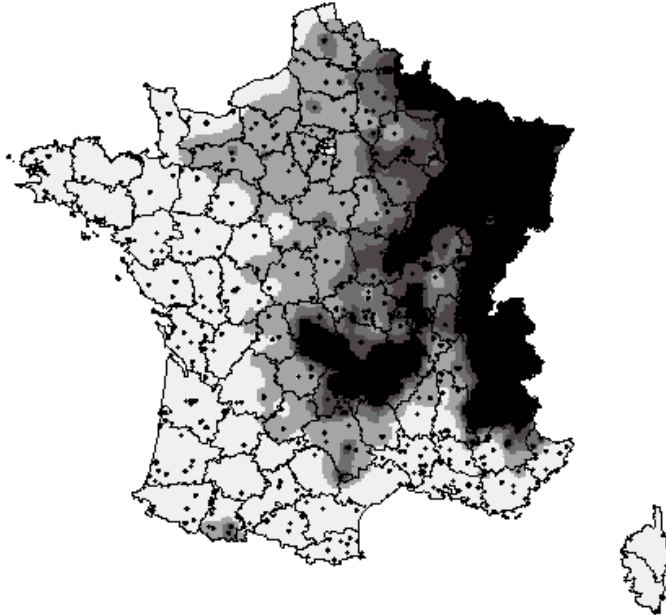
Tableau n°3 : Fréquences d'obtention (en %) d'une note de survie de *Phytophthora cinnamomi* <= aux seuils 0.05, 0.2 et 0.5, dans les troncs du chêne rouge

Département	Commune	Fréquence d'obtention d'une note de survie		
		<= 0.05	<= 0.2	<= 0.5
Jura	Tavaux	43	63	90
Loir-et-Cher	Blois	20	27	30
Vienne	Buxerolles	17	27	33
Charente-Maritime	Mirambeau	7	10	27
Hautes-Pyrénées	Ossun	3	10	17
Landes	Dax	3	3	7
Pyrénées Atlantiques	Anglet	0	3	3

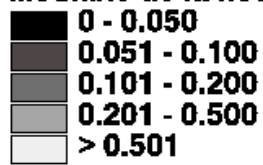
Tableau n° 4: Fréquences d'obtention (en %) d'une note de survie de *Phytophthora cinnamomi* <= aux seuils 0.05, 0.2 et 0.5, dans les troncs du chêne pédonculé

Département	Commune	Fréquence d'obtention d'une note de survie		
		<= 0.05	<= 0.2	<= 0.5
Jura	Tavaux	37	50	80
Loir-et-Cher	Blois	17	23	30
Vienne	Buxerolles	10	23	30
Charente-Maritime	Mirambeau	7	10	17
Hautes-Pyrénées	Ossun	3	3	10
Landes	Dax	0	3	7
Pyrénées Atlantiques	Anglet	0	0	3

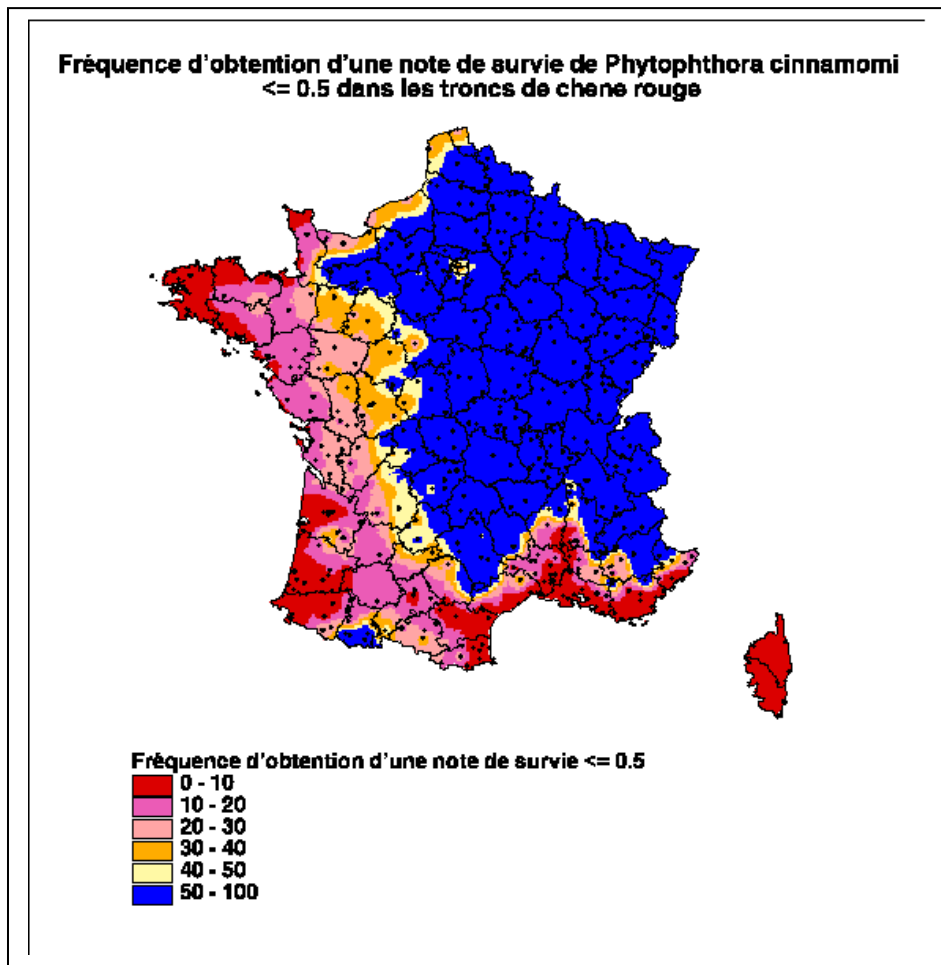
**Médiane de la note de survie de *Phytophthora cinnamomi*
dans les troncs de chene rouge**



Médiane de la note de survie

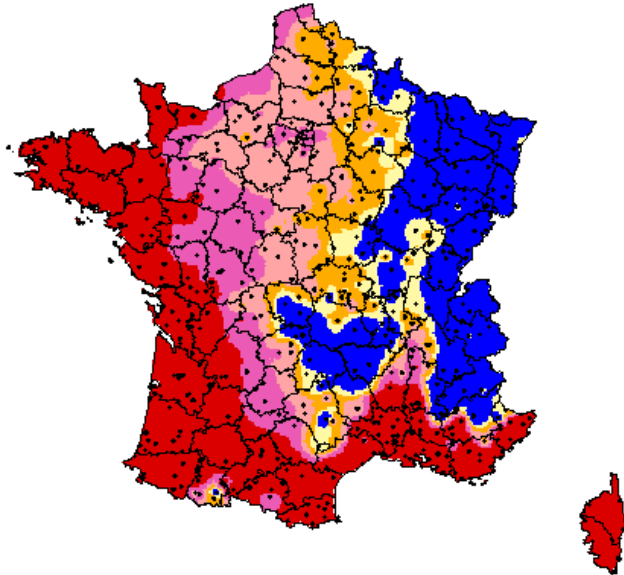


CARTE N° 5



CARTE N°6

Fréquence d'obtention d'une note de survie de *Phytophthora cinnamomi*
 ≤ 0.05 dans les troncs de chêne rouge

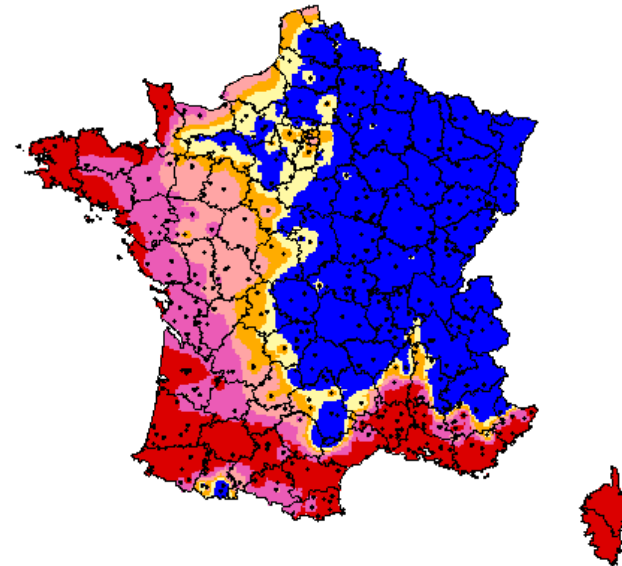


Fréquence d'obtention d'une note de survie ≤ 0.05



CARTE N°7

Fréquence d'obtention d'une note de survie de *Phytophthora cinnamomi*
 ≤ 0.5 dans les troncs de chêne pédonculé



Fréquence d'obtention d'une note de survie ≤ 0.5

