

Colloque organisé à l'occasion des 20 ans du DSF

## Seconde session

### Apports de l'analyse épidémiologique

Benois Marçais

Equipe Interaction Arbres-Microorganismes,  
INRA Nancy



#### Contexte d'utilisation des données DSF

Nous avons, avec des collègues pathologistes de Bordeaux, commencé à utiliser les données de la base DSF à l'occasion du contrat Carbofor pour lequel il nous a été demandé d'étudier l'impact du changement climatique sur une série de maladies forestières. Ce travail représentait pour nous un changement important puisque nous avons l'habitude de travailler sur des maladies modèles, en particulier l'encre du chêne rouge. Sortir de ces maladies modèles n'était pas évident par manque de données. En particulier, nous connaissons très mal la répartition des maladies et des agents pathogènes en France. Par exemple, l'oïdium du chêne est connu pour être présent sur l'ensemble du pays mais la variation régionale de son impact n'est pas connue. Sans ce type de données, il n'est pas possible de calibrer des modèles de niche pour les agents pathogènes.

La base du DSF est une source intéressante de données car elle couvre l'ensemble du territoire français et possède également une large couverture en termes d'essences et de maladies. Ces données nous permettent d'aborder des maladies autres que nos modèles d'étude et d'aller au delà de régions d'étude limitées pour répondre à la question de l'impact du changement climatique (diapositive 2).

#### Un exemple d'utilisation des données DSF : la collybie

Une première utilisation des données du DSF est la réalisation de cartes d'impact des parasites. Prenons le cas concret de la collybie à pied en fuseau, pourridié du chêne. Ce basidiomycète s'observe relativement facilement car il produit de façon régulière des carpophores bien reconnaissables. La base de données du DSF nous permet d'identifier les différents hôtes de ce champignon et de connaître la répartition de son impact : on le rencontre beaucoup dans le Sud-Ouest et le Nord-Est.

### Des données biaisées

Un problème est que les informations relevées dépendent beaucoup à la fois de la densité des correspondants-observateurs et de la présence de l'espèce hôte. Il n'y a, par exemple, pas beaucoup d'informations sur les chênes dans les Landes. De nombreux correspondants-observateurs sont présents mais ils concentrent de façon normale leurs observations sur les pins. Dans l'inter-région Ouest, la densité de correspondants observateurs est moindre et donc il y a moins de mentions en général. À l'opposé, la forte mention de Collybie dans le Nord-Est est corrélée à une forte présence de chêne et une forte densité de correspondants-observateurs dans la région (diapositive 3, Figure 1).

#### **Mention COLLFUS base DSF**

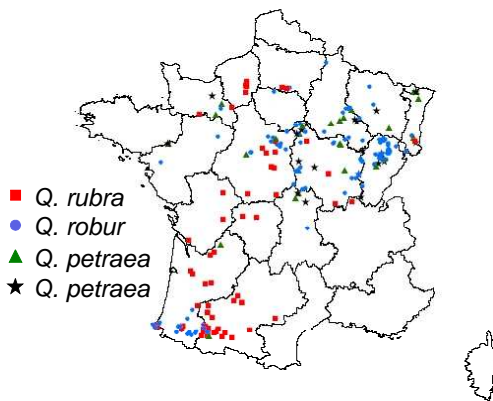


Figure 1. Mentions brutes COLLFUS base DSF (1989-2006)

### Standardisation des données

La mention brute, c'est-à-dire le nombre de mention dans une zone, ne signifie donc rien. Il faut standardiser les données.

#### *Exemple en médecine :*

Au niveau théorique ce problème est assez courant. En médecine par exemple, le nombre local de cas de maladies dépend de la densité de la population, des caractéristiques de la population, du nombre de médecins présents et des structures médicales. Les épidémiologistes humains ont mis au point toute une série de méthodes pour prendre en compte ce phénomène. Ils standardisent en utilisant la distribution spatiale de cas de maladies « autres » utilisé comme références. C'est à dire qu'ils identifient une population cible de leur maladie d'intérêt puis ils choisissent une série de maladies qui cible la même population à risque, qui touche les mêmes types d'individus, qui reflète donc à la fois la densité de la population hôte, sa structure et la façon dont elle est observée.

#### *Exemple avec la collybie :*

Dans la base DSF, pour le chêne et la collybie à pied en fuseau, nous avons pris en compte toutes les mentions sur arbres âgés, donc surtout les défoliateurs, les dépérissements et les problèmes qui lui sont liés (armillaire, agrile). Nous avons exclu la processionnaire du chêne car elle est presque exclusivement présente dans le Nord-Est de la France. La diapositive 4 (carte 1 et 2, Figure 2) présente la répartition de la mention de collybie et celle des maladies de référence. La mention de collybie et de référence est très forte dans le Sud-Ouest du fait de la forte présence de chênes rouges dans cette zone. Les deux mentions sont aussi fortes dans le Nord-Est, liées à la forte surface de chênes pédonculés et sessiles dans

cette région. En pratique la Collybie attaque plusieurs hôtes : le chêne pédonculé, le chêne sessile et le chêne pubescent, ainsi que le chêne rouge. Ces arbres n'ont pas la même sensibilité, et cela a été pris en compte dans le calcul de la référence. En effet, une référence sur pédonculé pèse moins qu'une référence sur chêne rouge, tout simplement parce que cette essence est moins sensible que le chêne rouge à la collybie. Le poids est calculé comme le nombre de mention de collybie sur une espèce de chêne divisé par le nombre de mentions de maladie de référence sur cette espèce. Les chênes sessiles et pubescents, tous deux peu sensibles sont comptabilisés ensemble.

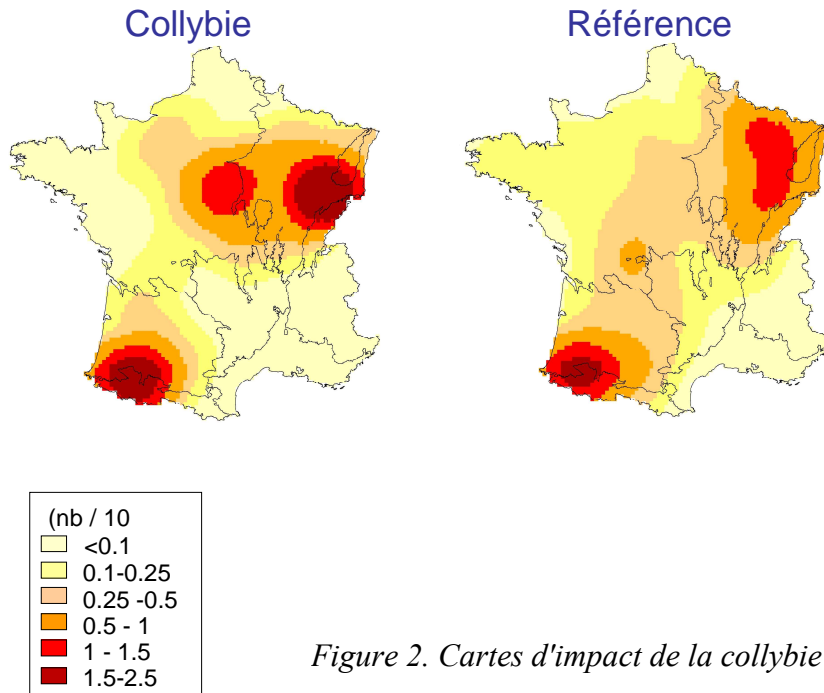


Figure 2. Cartes d'impact de la collybie

On obtient en résultat la densité de mention de Collybie en divisant la mention de collybie par la mention de référence : la mention est plus forte dans le Nord du pays (diapositive 4, carte 3, Figure 3).

### Mention COLLFUS

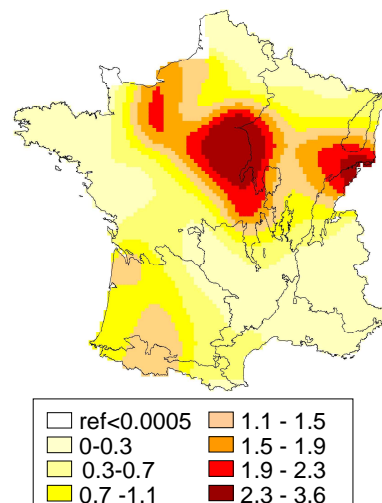


Figure 3. Mentions COLLFUS standardisées

La forte mention brute de collybie dans le Sud-Ouest est seulement une conséquence de la forte mention sur chênes rouges. *A priori*, si dans le Sud-Ouest il y a beaucoup de mentions, c'est parce qu'il y a beaucoup d'hôtes sensibles, et non parce que le milieu est beaucoup plus favorable à la maladie.

*Des écarts types pour une fiabilité de carte :*

Avec ces techniques, nous pouvons aller plus loin en calculant des écarts types qui indiquent à quel endroit la carte est fiable (carte 4, diapositive 4). Par exemple, en Normandie, la carte n'est pas très fiable. Cela est lié au fait qu'il n'y a pas suffisamment de références dans cette région pour permettre de standardiser correctement la carte.

Les résultats permettent donc d'obtenir une carte indiquant les zones où l'impact de la maladie est fort et une carte des zones où la carte est fiable.

Tester la robustesse de la carte

Toutefois, tester la robustesse de la carte obtenue grâce à la base DSF (diapositive 5) est souhaitable. Pour cela, nous devons posséder des données autres permettant d'effectuer des comparaisons. Nous avons utilisé le réseau 16 km x 16 km qui est réalisé avec un mode d'échantillonnage très différent. Toutefois, comme les observations sur ce réseau sont aussi effectuées par les correspondants-observateurs du DSF, les données ne sont pas réellement indépendantes. La comparaison montre des résultats cohérents avec ceux obtenus à partir de la base de cas du DSF. La carte a donc du sens et semble robuste. Ces données permettent d'envisager le développement de modèle pour expliquer la distribution des maladies forestières en France.

Le réseau européen permet une réelle estimation de la prévalence des maladies, c'est-à-dire de la proportion d'arbres affectés, par opposition à la base DSF qui ne permet qu'une estimation relative de l'importance locale des maladies. Par exemple, la prévalence de la collybie dans les peuplements de chênes pédonculés de plus de 100 ans de la moitié sud de la France est comprise entre 1 et 7 % d'arbres atteints par la collybie tandis qu'entre 16 et 25 % des arbres sont atteints dans le Nord de la France. Cette très forte prévalence de la collybie dans le Nord de la France est assez étonnante. Elle est liée à la présence sur le réseau européen de chênes pédonculés dans des stations à risque, c'est-à-dire des sols filtrants peu hydromorphes. Ces situations peu favorables sont très fréquentes sur le réseau européen. Or celui-ci est représentatif de la forêt français

La base DSF : des données pour les maladies émergentes

Un autre intérêt de la base DSF est de documenter des maladies non modèles, en particulier les maladies émergentes comme la maladie des bandes rouges sur pin laricio, induite par *Dothistroma* sp. Cette maladie ne posait pas vraiment de problème en France dans le passé. Elle était citée seulement à cause de son importance sur le pin radiata dans l'hémisphère Sud. Par contre aujourd'hui cette maladie est limitante pour le pin laricio dans certaines régions. Comme la plupart des émergences, elle n'a pas été prévue par les pathologistes. Nous n'avons donc aucunes données sur cette maladie qui est pourtant un bon modèle pour étudier l'impact de l'évolution du climat. En effet, d'après des données britanniques et canadiennes, l'émergence de la maladie des bandes rouges serait liée à des printemps plus chauds et plus humides. La base DSF fournit des données qui nous permettent de documenter cette émergence (diapositive 6, Figure 4)). Ces données nous permettent de

développer des modèles reliant la sévérité relative de la maladie avec le climat et de tester si la modification passée de celui-ci peut être liée à l'émergence du *Dothistroma*.



Figure 4. Impact en France de *Dothistroma septospora*

#### Distribution des espèces cryptiques (diapositive 7)

Un autre point sur cette maladie est l'identité de l'agent causal. Nous pensons que cette maladie des bandes rouges était induite par un seul pathogène, *Dothistroma septosporum*. Or, la maladie peut également être liée à *Dothistroma pini*, agent qui ne se distingue pas morphologiquement du *Dothistroma septosporum* et qui était décrit uniquement en Amérique du Nord. Il nous a paru important de déterminer à quel agent était liée l'émergence de la maladie dans les années 90. Une enquête de deux ans à pour cela été organisée en partenariat avec le DSF, le LNPV et l'INRA. Nous avons mis au point à cette occasion un test de détection moléculaire en collaboration avec le LNPV. Ceci nous a permis de déterminer la répartition de ces agents pathogènes en France.

- Un premier point important est la large présence de *Dothistroma pini* alors qu'il est sensé être absent en Europe (points noirs et carrés noirs de la carte de la diapositive 7, Figure 5). C'est même l'agent majoritaire en France. *Dothistroma septosporum* est aussi présent un peu partout (ronds blancs ou noirs sur la carte) en France.

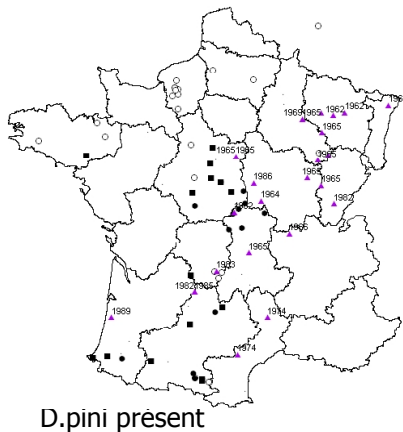


Figure 5. Distribution des espèces de la maladie des bandes rouges (*D.pini* et *D.septosporum*)



D.pini présent

▲ : échantillon d'herbier DSF

- Un deuxième point est la localisation plus méridionale de *Dothistroma pini* par rapport à *Dothistroma septosporum*. Il semblerait donc y avoir un zonage climatique et nous essayons de préciser ce point par de nouveaux envois d'échantillons.

### 1. Facteurs de risques associés aux maladies (diapositives 8 et 9)

Les facteurs de risques associés aux maladies représentent un problème important en épidémiologie. Un type d'enquête classique en épidémiologie est l'enquête cas-témoins où des cas de maladie sont comparés à un nombre équivalent de cas sains utilisés comme référence. Ce type d'enquête permet de calculer un « odd ratio » qui correspond à une mesure de l'augmentation du risque de cas de maladies associé à un facteur. La base DSF permet d'obtenir une liste de cas.

De bons cas de références sont plus difficiles à obtenir. Une possibilité est d'utiliser les fiches de la base DSF réalisées sur la même essence, mais pour d'autres problèmes. Cela se pratique souvent en médecine avec, par exemple, la comparaison des entrées dans un hôpital pour une maladie d'intérêt avec des entrées pour d'autres types de problèmes utilisés comme référence. Une autre possibilité est d'obtenir des « cas sains » à partir d'un tirage aléatoire de placettes d'inventaire IFN par exemple. Nous n'avons pas encore exploré ce cas, mais devrait donner de bons résultats.

La diapositive 9 montre un exemple de ce type de travail réalisé sur la collybie.

### 2. *Phytophthora cinnamomi* sur chêne (diapositive 10)

*Phytophthora cinnamomi* induit l'encre du chêne dont le principal symptôme est un chancre sur la base du tronc ; les arbres affectés ne dépérissent pas. L'hôte principal de l'encre est le chêne rouge. Nous avons pourtant montré par inoculation qu'il n'est pas plus sensible que le chêne pédonculé à *P. cinnamomi*. Il est par contre, à la différence du chêne pédonculé, massivement planté. Or les plantations présentent classiquement de gros risques pour les *phytophthoras* car les pépinières sont souvent affectées. Ils traitent souvent avec des fongistatiques qui arrêtent la maladie mais n'éliminent pas l'agent pathogène et vendent donc des plants contaminés qui exportent la maladie. Ce phénomène est-il important du point de vue épidémiologique ? La base de données du DSF permet de répondre à cette question. En effet, alors que seules 10 % des fiches concernant le chêne pédonculé dans le Sud-Ouest correspondent à des plantations, cette proportion est de 66 % pour les fiches concernant l'encre. L'odd ratio est de 17, ce qui signifie que le risque d'encre dans les plantations de *Q. robur* est 17 fois plus élevé que dans les régénérations naturelles. Le problème d'encre du chêne rouge dans le Sud-Ouest est donc en grande partie lié à l'introduction de *P. cinnamomi* par plants de pépinières contaminés lors de la plantation. Cette information, disponible grâce à la base DSF, ne serait autrement accessible que par une enquête lourde.

### 3. Etude de la diversité des agents pathogènes forestiers (diapositives 12 et 13)

Corinne Vacher de l'UMR Biogeco de Bordeaux a fait une étude sur la variabilité spatiale de la diversité des champignons parasites forestiers en France. La carte, réalisée à partir des données DSF, montre le nombre d'agents pathogènes liés aux arbres qui sont signalés par département. Ce genre de carte doit être standardisé. En effet, si le climat peut faire varier la diversité des agents pathogènes forestiers, d'autres facteurs peuvent jouer. L'effet taille de l'échantillon (surface ou type de forêt) peut être important, de même que l'effort d'échantillonnage et la façon dont l'observation est effectuée. L'effort d'échantillonnage, mesuré par le nombre de fiches réalisées sur d'autres insectes sur le même département, est en particulier un facteur important à prendre en compte. Après standardisation, qui prend en compte l'ensemble de ces biais potentiels, les résultats montrent qu'il y a effet significatif de la température. En pratique il faut des températures d'été relativement basses et hivernales relativement élevées. La pluviométrie qui était attendue apparaît moins importante.

### Conclusion (diapositive 14)

Pour conclure, les données du DSF nous ont permis d'aborder des échelles nouvelles, tant d'un point de vue spatial que temporel qu'il aurait été difficile d'appréhender d'une autre manière. Cela nous a permis ces dernières années de travailler sur des questions nouvelles telles que le changement climatique, le déterminant de la diversité des pathogènes en France ou la structure des cortèges d'agents pathogènes et d'obtenir des données précieuses sur les maladies émergentes avec un fort gain de temps. L'exemple de *Chalara fraxinea* en France est assez parlant : quelques mois après la mention de cette maladie en France, les données du DSF permettent de fournir une carte de la répartition de la maladie ce qu'aucun des autres collègues européens n'est pour l'instant capable de fournir.

Donc merci pour toutes ces observations et cette base de données qui nous a été bien utile.