

# Modélisation spatio-temporelle de la propagation de l'armillaire du pin maritime par un processus de Gibbs

## Proposition de stage M2

L'armillaire du pin maritime est un champignon-parasite observé dans la forêt des Landes. Parmi les espèces d'Armillaire, *Armillaria ostoyae* constitue une menace importante pour les forêts de résineux, en infectant les racines de ces arbres et provoquant leur mort à plus ou moins brève échéance. Compte tenu de forts enjeux économiques, l'élaboration des stratégies de lutte contre le champignon est à l'origine de la démarche scientifique pour comprendre les mécanismes de propagation de la maladie (voir [1], [6]). La proposition de stage s'inscrit dans cette optique. Un modèle spatio-temporel pour décrire la propagation de la maladie est proposé et fera l'objet de l'analyse statistique à partir de données expérimentales.



FIGURE 1 – L'armillaire.

**Dispositif expérimental** L'expérience a été réalisée sur un site de 3 ha, localisé dans la partie côtière de la forêt des Landes de Gascogne ([1]). La nouvelle plantation des pins y a été établie en 1984 à la place de l'ancienne forêt, infestée par l'armillaire et défrichée avant 1984. Le champignon a persisté dans le sol ou sur des souches, en constituant une source d'inoculum infectant des arbres nouvellement plantés. Le suivi de 3876 arbres, disposés régulièrement en 51 lignes, a débuté en 1985 et a duré 17 ans. Le statut de chaque arbre (mort ou vivant) a été recensé chaque année et la cause de mortalité (armillaire ou autre origine) a été déterminée. La figure 2 illustre le dispositif expérimental observé en 1990.

**Modèle proposé** Chaque arbre est repéré par sa position sur la grille régulière  $S$ . Son état sanitaire est recensé une fois par an pendant  $N = 17$  années et classés en une de trois catégories : sain, mort de l'armillaire ou mort pour une autre raison (maladie, tempête ...). On notera par  $X(s, t)$  l'état de l'arbre situé en  $s$  l'année  $t$ ,  $s \in S$ ,  $0 \leq t \leq n = 16$ . On dira que :

$$X(s, t) = \begin{cases} 0 & \text{si l'arbre est sain} \\ (k, l) & \text{sinon} \end{cases}$$

ou  $k$  est le nombre d'années depuis la mort de l'arbre ( $0 \leq k \leq t$ ) et  $l$  désigne la cause de sa mort ( $l = 1$  pour l'armillaire,  $l = 2$  pour d'autres causes). On notera par  $\Lambda$  l'ensemble de valeurs de  $X(s, t)$  et par  $\mathcal{X}$  l'espace de configurations de  $\mathbf{X} = \{X(s, t) : s \in S, t \in \{0, \dots, n\}\}$ . Le processus de Gibbs sur l'espace  $\mathcal{X}$  est défini par une équation :

$$P_\beta(\mathbf{X} = x) = \frac{1}{Z(\beta)} \exp(-\beta H(x)) \quad (1)$$

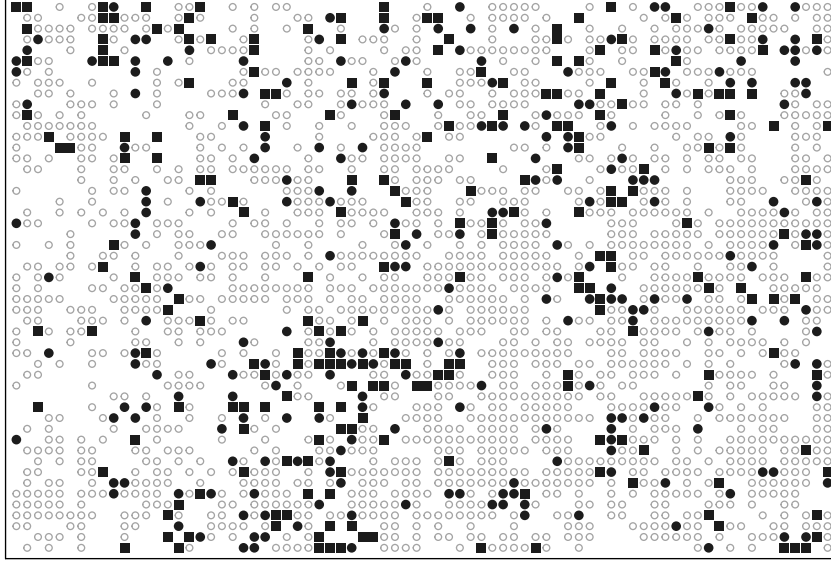


FIGURE 2 – Dispositif expérimental des Landes en 1990 : cercles - arbres sains, disques - arbres morts en 1990 - armillaire, carrées - arbres morts en 1990 - autre cause. Des régions vides correspondent aux arbres morts avant 1990.

pour  $H : \mathcal{X} \rightarrow \mathbb{R}$  et  $\beta \geq 0$ . La fonction  $H(x)$  est appelée le potentiel du modèle et  $Z(\beta)$  est une constante de normalisation du modèle, en général intraitable. Sous l'hypothèse markovienne le potentiel du modèle 1 s'exprime comme la somme des contributions de tous les points et la somme des interactions entre des paires de points voisins :

$$H(x) = \sum_{(s,t)} U(x(s,t)) + \sum_{(s,t) \sim (s',t')} V(x(s,t), x(s',t')) \quad (2)$$

pour des fonctions  $U : \Lambda \rightarrow \mathbb{R}$  et  $V : \Lambda \times \Lambda \rightarrow \mathbb{R}$ . Le symbole  $\sim$  est utilisé pour la relation de voisinage entre deux points  $(s,t)$  et  $(s',t')$ . L'hypothèse markovienne s'interprète ici par le fait que la probabilité d'observer un arbre malade en  $(s,t)$ , conditionnellement à l'histoire de l'épidémie, dépend uniquement de l'état sanitaire des arbres - voisins de  $s$  observé en période précédant directement  $t$ .

**Déroulement du stage** Le travail de stage consistera tout d'abord à préciser le modèle : spécifier la notion de voisinage et proposer les termes de la fonction de potentiel qui tiennent compte des hypothèses biologiques sur le mode de propagation de l'armillaire. Dans un premier temps on pourra

s’inspirer de l’article [2], traitant le problème similaire. Les paramètres du modèle seront estimés par la méthode de maximum de pseudo-vraisemblance [3] et les tests d’hypothèses basés sur les résultats asymptotiques [4] seront effectués. Le simulateur du modèle basé sur les algorithmes MCMC [5] sera mis en place. Il sera utilisé pour valider le modèle sur l’ensemble de données de propagation de l’armillaire récemment acquises.

**Profil recherché** Une formation en mathématiques appliquées/statistiques ou une formation en agronomie avec des bonnes connaissances en statistiques. La connaissance de R ou un autre langage de programmation est demandée. L’expérience dans l’analyse des données spatiales (ou spatio-temporelles) sera un atout. Le candidat qui envisage de faire une thèse sera le bienvenu.

**Laboratoire d’accueil** Le stage sera réalisé à l’Institut Ellie Cartan de Lorraine, à Nancy. Il sera encadré par Katarzyna Adamczyk (INRAE/Inria-Pasta) et Radu Stoica (IECL/Inria-Pasta), en collaboration avec d’autres membres de l’équipe Pasta. Les interactions fortes sont à prévoir avec les chercheurs de l’équipe “Génétique et écologie des maladies des forêts” de l’UMR BIOGECO à Bordeaux.

**Gratification de stage** Environ 550 euros en fonction de la législation actuelle.

**Dossier de candidature/échéances** Lettre de motivation, CV et le dernier bulletin de notes sont à adresser à Katarzyna.Adamczyk@inrae.fr avant le 20 décembre. L’arbitrage aura lieu avant le 15 janvier. Le stage commencera en février/mars et durera 5 à 6 mois.

## Références

- [1] Lung-Escarmant, B. and Guyon, D. (2004). *Temporal and Spatial Dynamics of Primary and Secondary Infection by Armillaria ostoyae in a Pinus pinaster Plantation*, Ecology and Epidemiology 4 : 125-131.
- [2] Chadoeuf, J., Nandris, D, Geiger, J.P., Nicole, M. and Pierrat, J.C. (1992). *Modélisation Spatio-Temporelle d’une Epidémie par un Processus de Gibbs : Estimation et Tests*, Biometrics, 48 : 1165-1175.
- [3] Besag, J. E. (1974). *Spatial interaction and the statistical analysis of lattice system*, Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 76 : 192-236.
- [4] Guyon, X. *Random Fields on a Network : Modeling, Statistics, and Applications (Probability and Its Applications)*, Springer, 1995.
- [5] Asmussen, S. and Glynn, P.W. (1998) *Stochastic simulation : Algorithms and Anamysis*, Springer, 2007.
- [6] Labbé, F., Marcais B., Dupouey J.-L., Bélouard, T., Capdevielle X., Piou D., Robin, C., Dutech, C. (2015) *Pre-existing forests as sources of pathogens ? The emergence of Armillaria ostoyae in a recently planted pine forest*, Forest Ecology and Management, 357 : 248-258.