

FORÊT • NATURE

OUTILS POUR UNE GESTION
RÉSILIENTE DES ESPACES NATURELS

Tiré à part de la revue **Forêt.Nature**

La reproduction ou la mise en ligne totale ou partielle des textes
et des illustrations est soumise à l'autorisation de la rédaction

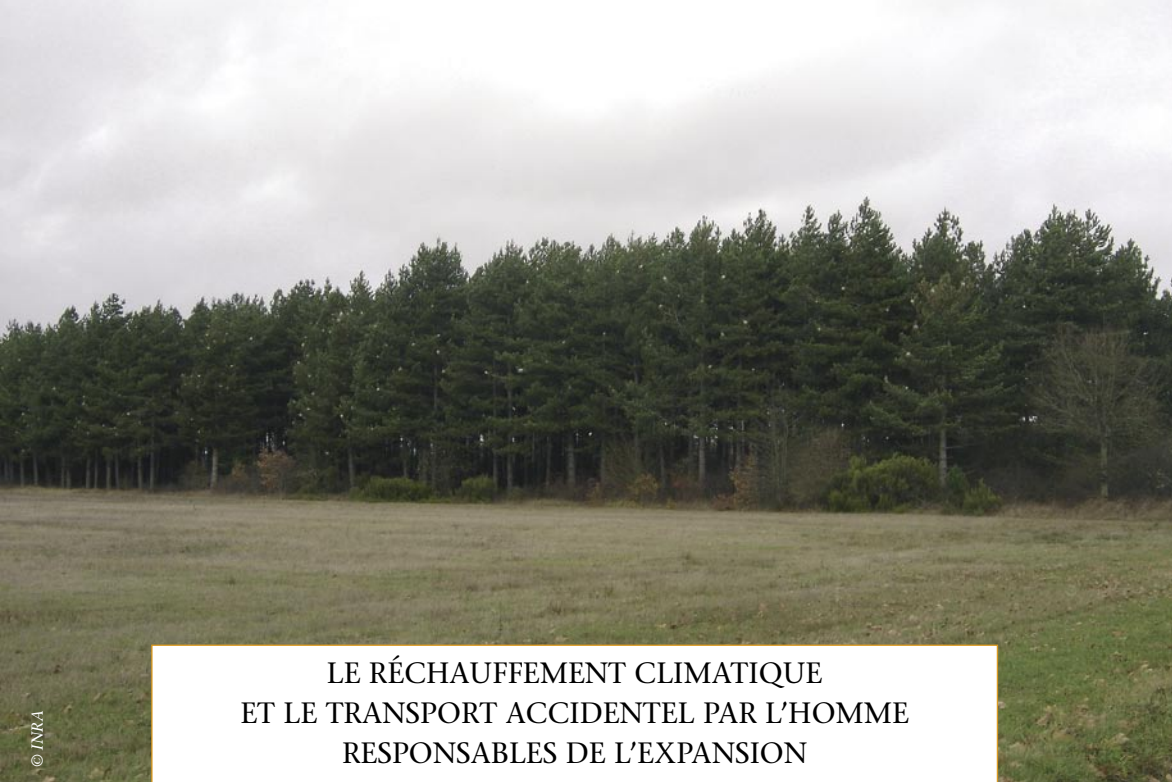
foretnature.be

Rédaction : Rue de la Plaine 9, B-6900 Marche. info@foretnature.be. T +32 (0)84 22 35 70

Abonnement à la revue Forêt.Nature :
librairie.foretnature.be

Abonnez-vous gratuitement à Forêt.Mail et Forest.News :
foretnature.be

Retrouvez les anciens articles de la revue
et d'autres ressources : **foretnature.be**



LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE
ET LE TRANSPORT ACCIDENTEL PAR L'HOMME
RESPONSABLES DE L'EXPANSION
DE LA CHENILLE PROCESSIONNAIRE DU PIN

CHRISTELLE ROBINET – JÉRÔME ROUSSELET – CHARLES-ÉDOUARD IMBERT
DANIEL SAUVARD – JACQUES GARCIA – FRANCIS GOUSSARD – ALAIN ROQUES

En France, la processionnaire du pin progresse vers le nord et en altitude depuis les années '90. La hausse des températures hivernales est la première cause de cette progression, mais le transport accidentel d'individus, vraisemblablement lors de la transplantation de grands arbres, permet à la chenille de progresser encore plus vite.

La processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* (DEN. & SCHIFF.) (*Lep., Notodontidae*), est un insecte grégaire, ravageur des pins, présent dans la plupart des pays du pourtour méditerranéen et le long du littoral Atlantique. En se nourrissant des aiguilles, elle ralentit la croissance des arbres et provoque une perte économique importante dans les forêts de production si aucun traitement n'est appliqué. Elle constitue également un problème d'ordre paysager dans les forêts de loisir et sur les arbres

ornementaux car les chenilles tissent des nids bien visibles dans les pins et peuvent entraîner de sévères défoliations particulièrement inesthétiques (figure 1). De plus, elles peuvent provoquer des allergies plus ou moins graves en libérant des poils urticants aux derniers stades larvaires, en particulier lors des processions de nymphose au printemps. L'étude de cet insecte est donc socio-économiquement importante. Par ailleurs, la processionnaire offre aux scientifiques un modèle très intéressant pour compren-

dre l'impact du changement climatique. En effet, contrairement à la plupart des insectes, la processionnaire du pin effectue son développement larvaire durant l'hiver, ce qui la rend extrêmement sensible aux variations de températures de l'hiver, saison où le réchauffement est le plus important en Europe. La processionnaire est un très bon candidat pour déceler les premiers effets du réchauffement climatique, d'autant plus que la température affecte également son abondance, sa phénologie et ses interactions avec d'autres espèces. De plus, la modification des habitats et les effets d'autres activités humaines, indépendamment de leur potentiel d'émission de gaz à effet de serre, viennent s'ajouter au changement du climat.

LA PROCESSIONNAIRE DU PIN
PROGRESSE VERS LE NORD
ET EN ALTITUDE

La présence de la processionnaire du pin est relativement facile à détecter grâce aux nids que les chenilles tissent dans les arbres. À cause des problèmes qu'elle occasionne, une surveillance du territoire français a été mise en place dès 1969. Par la suite, des observations systématiques sur un réseau de plusieurs centaines de placettes, associées à des signalements spontanés, ont permis d'enregistrer chaque année les fluctuations temporelles, d'anticiper les pullulations et de mettre en place des traitements en forêt lorsque cela est nécessaire. Ce réseau,

Figure 1 – Nid de processionnaire du pin (à gauche) et pin fortement attaqué par la processionnaire (à droite).



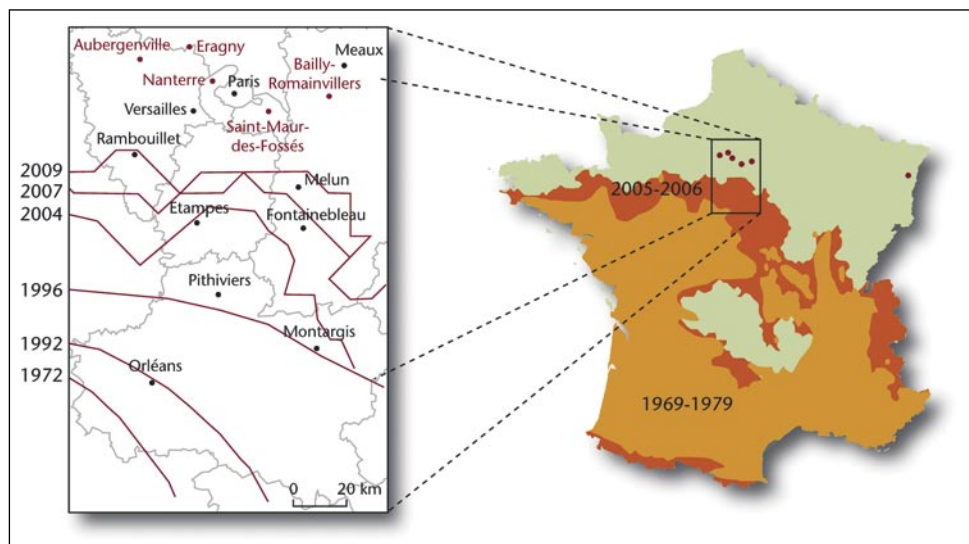


Figure 2 – Progression de la chenille processionnaire du pin en France et zoom sur les Régions Centre et Île-de-France. Les points rouges indiquent les foyers isolés.

actuellement géré par le Département de la Santé des Forêts (dépendant du Ministère de l'Agriculture en France), n'avait pas pour but de cartographier l'aire de distribution. Cependant, ces données, couplées à d'autres cartes de présence de la processionnaire, ont pu nous fournir des indications précieuses sur les changements qui ont eu lieu dans le passé. Quant à l'avancée de l'insecte en France au cours de ces dernières années, elle a été cartographiée en détail par l'INRA d'Orléans (sur une grille de 8 km × 8 km à l'échelle nationale en 2005-2006).

Jusque dans les années '90, l'aire de distribution de la processionnaire du pin était relativement stable. Elle était limitée essentiellement par une combinaison entre la moyenne des températures du mois de janvier (avec un minimum de -4 °C) et l'inso-lation (avec un minimum de 1 800 heures par an)^{3, 4}. Elle se rétractait lors des hivers froids comme ceux de 1986-1988 et 1994,

et elle reprenait son aire de distribution maximale lors des hivers plus doux². Dans la région d'Orléans, la limite maximale de son aire était caractérisée par la Loire. Or, dès 1992, la processionnaire a franchi la Loire et n'a cessé de progresser depuis⁵. Cette expansion est observée partout en France (figure 2), en particulier en Région Centre où cette progression a atteint 5,6 km par an dans les années '90. Elle se poursuit actuellement en Île-de-France où il semblerait que certains territoires puissent être de plus en plus communément confrontés à la fois à des dégâts de processionnaire du pin en hiver et à des dégâts de processionnaire du chêne en été.

La processionnaire progresse également en altitude, dans les Alpes, les Pyrénées et le Massif-Central. Dans la vallée Venosta/Vinschgau (Alpes italiennes), elle a progressé de 7 mètres par an en pente sud et 3 mètres par an en pente nord en moyenne entre 1975 et 2004¹.

Les principaux facteurs qui pourraient expliquer cette expansion sont : le réchauffement climatique et la plantation d'arbres hôtes. Or, les pins sont largement distribués, notamment au-delà de l'aire de distribution de la processionnaire. Ils ne pouvaient donc pas limiter la distribution de l'insecte dans le passé. De plus, dans les régions forestières de la Région Centre, leur surface n'a pas changé significativement depuis les années '70. La plantation de pins n'est donc pas le facteur expliquant la progression actuelle de l'insecte dans cette région.

L'ALIMENTATION DES LARVES EST SOUMISE À DES CONDITIONS DE TEMPÉRATURES

La température minimum létale se situe autour de -10 à -17 °C selon la taille de la colonie^{1, 3, 6}, mais ce seuil de température n'est pas le seul facteur pour expliquer la mortalité des populations. En effet, les températures agissent sur les capacités d'alimentation des larves et donc sur la survie des colonies. La température du nid durant le jour doit être supérieure à 9 °C et la température de l'air la nuit suivante doit être supérieure à 0 °C pour permettre aux larves de sortir du nid pour s'alimenter durant la nuit¹. Si l'une de ces deux conditions n'est pas vérifiée, les larves ne s'alimentent pas. Les chenilles peuvent survivre plusieurs jours consécutifs sans s'alimenter, mais au-delà d'une certaine limite, ce jeûne provoque la mort d'une partie de la colonie. Le taux de mortalité décroît lorsque le nombre d'heures d'alimentation augmente. Devant la difficulté d'obtenir ces données de température horaire de l'air mais aussi à l'intérieur du nid, une variable a été définie afin de donner une indication globale

sur les capacités d'alimentation durant la période de développement larvaire, il s'agit de la moyenne des températures minimales d'octobre à mars.

UN PREMIER MODÈLE D'EXPANSION DE LA PROCESSIONNAIRE DU PIN

Modèle bioclimatique

En utilisant les températures journalières et une estimation des températures du nid à l'aide de la température maximale et de l'insolation, nous avons pu déterminer le nombre de jours d'alimentation des larves durant la période hivernale dans le sud du Bassin-Parisien sur les périodes 1992-1996 et 2000-2004. Ce calcul montre une zone défavorable à la processionnaire du pin durant la première période faisant office de barrière à la progression, alors que la zone au sud-ouest et la région parisienne étaient favorables⁸ (figure 3). Dans la deuxième période, cette barrière s'est levée, et la processionnaire a franchi cette zone. Cette étude montre trois points importants : (1) la progression de la processionnaire était limitée par le climat dans le passé, (2) Paris et sa région étaient favorable à la survie de la processionnaire depuis longtemps, et (3) la progression de l'insecte est maintenant limitée uniquement par ses capacités de dispersion dans cette région.

Nous avons mis en place une expérience de translocation sur le terrain : des colonies prélevées dans la région d'Orléans ont été implantées le long de transects allant de la zone d'expansion jusqu'au-delà du front en région parisienne. Au printemps, nous les avons récupérées avant les processions et nous avons calculé leur taux de survie. Malgré une décroissance du taux de survie le long de ces transects, un nombre

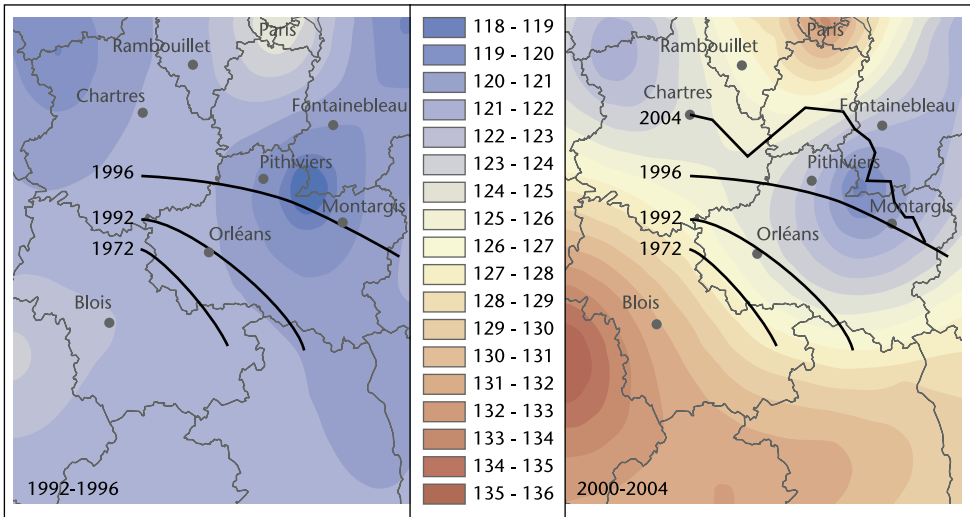


Figure 3 – Nombre moyen de jours d'alimentation durant la période de développement larvaire (octobre à mars) au cours des périodes 1992-1996 et 2000-2004 (modifié d'après ROBINET et al.⁸). Les zones rouges sont les plus favorables à l'insecte.

important de larves ont été capables de survivre largement au-delà de la limite de leur aire de distribution, confirmant ainsi les résultats du modèle bioclimatique.

Modèle d'expansion

Connaître les zones favorables à la processionnaire est un élément important pour anticiper sa progression. Toutefois, cela ne signifie pas que l'insecte pourra atteindre ces zones. Pour mieux prévoir ses capacités d'expansion, il faut considérer à la fois la contrainte climatique mais également ses capacités de dispersion. Nous avons donc développé un modèle de dynamique spatio-temporelle décrivant à la fois la mortalité due aux conditions climatiques, la dispersion des femelles (responsables de la dissémination des pontes) et la croissance de la population, tout en tenant compte de la répartition géographique des pins^{7,9}. Les paramètres de ce modèle sont estimés grâce à des expériences menées sur le terrain et à la cartographie

des fronts historiques. Ce modèle appliqué au sud du Bassin-Parisien retrace bien l'évolution passée de l'aire de distribution avec une rétraction lors des hivers froids et une progression continue depuis les années '90. Le modèle prévoit une colonisation de Paris *intra-muros* en 2025 sous certaines hypothèses, qui sont notamment : une capacité de vol de 3 km, une absence de dispersion due à l'homme, et une augmentation des températures correspondant à un scénario climatique modéré.

APPARITION RÉCENTE DE FOYERS ISOLÉS LOIN DE L'AIRE DE DISTRIBUTION

Ces dernières années, des foyers isolés ont été découverts loin de l'aire de distribution naturelle de la processionnaire du pin en région parisienne (Bailly-Romainvilliers en 2003, Nanterre en 2007, Aubergenville, Eragny, et Saint-Maur-des-Fossés en 2008)

et dans l'Est de la France (Obernai en 2008) (figure 2). En utilisant différentes approches, détaillées ci-dessous, nous avons montré que des individus ont probablement été introduits au stade chrysalide lors de plantation de grands arbres¹⁰.

Provenance des individus fondateurs des foyers

La distance entre les foyers de la région parisienne et l'aire de distribution actuelle est de l'ordre de 30 à 50 km. La distance entre Obernai et l'aire de distribution est d'environ 190 km. Or, les adultes femelles ont de faibles capacités de vol³. Dans le passé, elles étaient estimées de l'ordre d'une centaine de mètres à 2 km. Le modèle d'expansion suggère une capacité légèrement supérieure (3 à 4 km) et les données de progression montrent une dispersion encore plus importante (5,6 km). Nous avons donc testé les capacités de vol des femelles sur manège de vol. Il s'avère que plus d'une femelle sur dix a parcouru au moins 5 km en 2009, mais aucune n'a dépassé 10,5 km. Par conséquent, il semble impossible que des adultes femelles aient pu parcourir la distance qui sépare les foyers isolés de l'aire de distribution.

Par ailleurs, d'un point de vue génétique, au moins trois des cinq foyers isolés dans le Bassin-Parisien ne proviennent probablement pas des populations du front le plus proche. Les individus d'Eragny et d'Aubergenville sont génétiquement plus proches de ceux des populations d'Italie et de la moitié Est de la France, et ceux de Bailly-Romainvilliers sont proches de celles de la Péninsule Ibérique et du Sud-Ouest de la France. La plupart des individus ont en effet été génétiquement assignés (pour le premier ordre) à ces régions et dans aucun cas à la zone d'expansion.

Quant aux individus provenant de Saint-Maur-des-Fossés et Nanterre, ils sont principalement assignés aux populations du Nord-Ouest de la France. D'après cette analyse génétique, on ne peut donc pas écarter que ces deux populations proviennent de la zone d'expansion.

Moyen de dispersion à longue distance

L'étude du cortège parasitaire spécifique dans la zone nouvellement infestée peut fournir des indications sur le stade d'introduction d'un insecte. Des pontes ont été prélevées dans les foyers isolés et le long de la zone d'expansion. La distance entre le front de progression et les foyers isolés est telle qu'une dispersion naturelle des parasitoïdes des oeufs dans les foyers isolés paraît peu probable. La présence d'espèces spécialistes de la processionnaire du pin ne serait alors possible que par une co-introduction dans les pontes de leur hôte, et éventuellement une co-installation. Or, le taux de parasitisme des pontes est nul dans les foyers isolés malgré un taux assez élevé dans l'aire de distribution naturelle (36 à 44 % des pontes en zone d'expansion naturelle et 100 % dans des populations du Sud-Est de la France), ce qui laisserait penser que la processionnaire du pin a été introduite à un stade autre que l'oeuf. Cette observation seule ne prouve rien, mais, en disséquant des nids, nous avons en revanche trouvé des hyménoptères tachinaires, *Phryxe caudata*, parasites spécialistes des chenilles et chrysalides de la processionnaire du pin. Ces dernières n'étant sans doute pas non plus en mesure de coloniser ces foyers par leurs propres moyens, cela suggère que la processionnaire a vraisemblablement été introduite au stade larve ou chrysalide, emmenant avec elle la partie de son

cortège parasitaire associée à l'un de ces stades. En effet, la première génération de tachinaire se développe sur les larves du 2^{ème} au 4^{ème} stade, et une deuxième génération parasite les larves du dernier stade et émerge de la chrysalide dans le sol. L'introduction au stade larve est toutefois peu vraisemblable car les larves forment des nids bien visibles dans les pins et cette caractéristique permet de repérer facilement les arbres infestés, réduisant ainsi le risque d'un transport accidentel de nids. Finalement, une introduction au stade chrysalide paraît le scénario le plus vraisemblable, même s'il n'est pas possible d'en écarter d'autres définitivement. Les adultes pourraient éventuellement être transportés, mais en raison de leur courte durée de vie et la présence de *Phryxe caudata*, ce scénario paraît moins vraisemblable.

Le transport de la processionnaire du pin au stade chrysalide est tout à fait plausible car les chrysalides peuvent être facilement transportées sans être détectées dans la motte de terre lors de la transplantation de grands arbres. D'ailleurs, ce mode de dispersion avec la terre a été démontré pour la processionnaire du chêne entre l'Europe continentale et le Royaume-Uni.

De meilleures conditions climatiques et des îlots de chaleur

Avec le réchauffement climatique, de nouveaux territoires deviennent favorables à la processionnaire du pin. L'avancée de l'insecte n'est pas une relation linéaire avec le réchauffement. Même si le climat se stabilisait, la processionnaire pourrait continuer d'avancer jusqu'à envahir l'ensemble du territoire devenu favorable les années précédentes. Par ailleurs, Paris et sa périphérie est une région particulièrement chaude, probablement dû à un

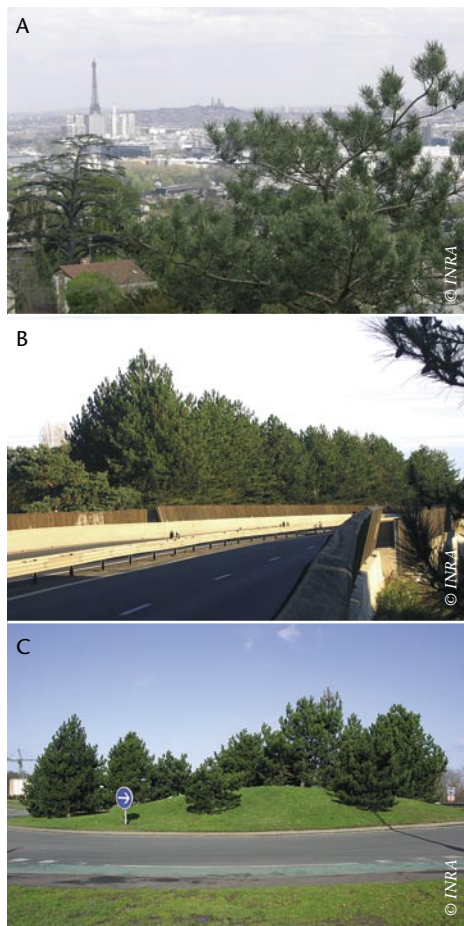


Figure 4 – Pins en zone urbaine : (A) à Paris, (B) le long d'une autoroute, et (C) sur un rond-point.

micro-climat induit par l'activité humaine. Durant les vagues de froid de janvier 2009 et janvier 2010, les foyers isolés dans le Bassin-Parisien ont ainsi mieux survécu que dans la zone naturelle d'expansion. Par ailleurs, l'absence de parasites des œufs pourrait diminuer la mortalité, augmenter la taille des colonies et ainsi favoriser encore plus la survie hivernale. Si tel était le cas, il s'agirait d'un nouvel exemple de l'importance du découplage des interactions entre espèces. En plus d'îlots de chaleur, les zones urbaines offrent un

habitat particulièrement favorable. Cet insecte forestier est ainsi devenu une nuisance urbaine colonisant les pins isolés le long des routes, des autoroutes, sur les ronds-points et dans les parcs et jardins (figure 4). Ces pins sont généralement bien exposés, et les conditions de survie hivernales sont plus favorables. De plus, la présence de sols, sans couvert et bien drainés, sont souvent propices à la phase hypogée lors du printemps.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La processionnaire du pin progresse actuellement en France et en Europe suite à la hausse des températures hivernales. Alors qu'elle semblait progresser par ses propres moyens dans les années '90, l'apparition de foyers isolés loin de l'aire d'expansion montre que des individus ont été probablement transportés accidentellement lors du transport et de la plantation de grands arbres, accélérant ainsi l'extension de son aire de distribution. Désormais, à proximité de Paris, on peut observer aisément des sites où coexistent la même année la processionnaire du pin et la processionnaire du chêne, une espèce congénérique plus septentrionale dans l'ensemble. Des études comparatives entre les deux espèces pourraient permettre de mieux comprendre leur dynamique et leur distribution. Dans le cas de la processionnaire du pin, les milieux anthropisés se sont avérés particulièrement favorables à la colonisation par l'insecte tant en termes de microclimat que d'habitat. Du fait de l'existence de milliers de pins d'alignement, de parc et de jardin disséminés dans le paysage, le rapport coût-bénéfice des méthodes de lutte traditionnelles est radicalement différent qu'en forêt. De nouvelles méthodes

adaptées à cette situation doivent être développées à présent.

Alors que de nombreux facteurs peuvent ainsi faciliter l'expansion de la processionnaire, d'autres facteurs pourraient néanmoins la limiter. Par exemple, en montant vers le nord, la durée du jour étant plus courte, le nid ne pourra peut-être pas bénéficier d'un ensoleillement suffisant pour maintenir une température convenable dans le nid durant l'hiver. Par ailleurs, l'effet du changement climatique est complexe. Pour l'instant, nous avons principalement étudié l'effet d'une hausse de la moyenne des températures minimales hivernales. Or, les scénarios climatiques prévoient une fréquence accrue des événements climatiques extrêmes. Comme leurs effets peuvent accroître ceux du réchauffement moyen ou à l'inverse être antagonistes, ils restent à ce jour difficiles à prévoir. Pour preuve, la canicule du mois d'août 2003 a entraîné une avancée dix fois plus rapide en altitude dans les Alpes italiennes et *a contrario* un effondrement des populations en Région Centre. Il faut noter que seules les limites nord et altitudinales ont été suivies en détail, et à ce jour, aucune donnée ne permet de connaître l'évolution de la limite sud de son aire de distribution en Afrique du Nord. Nous ne pouvons donc pas dire si l'aire s'étend réellement ou si elle se déplace. Enfin, une part d'incertitude sur les prévisions futures est liée aux adaptations, en particulier phénologiques, qui pourraient apparaître dans les populations de front. À travers la date d'émergence des adultes et la diapause prolongée, le cycle biologique de cet insecte peut évoluer localement et faire face à des contraintes climatiques variées. La processionnaire a en effet colonisé des milieux contrastés, soit à étés chauds (climat

méditerranéen : émergence tardive) soit à hivers froids (latitude et altitude élevées : émergence précoce, cycle biennal). En revanche, les régions où les deux pressions sont réunies conjointement (climat continental) ne sont pas propices à des populations à développement larvaire hivernal et paraissent difficilement colonisables. ■

BIBLIOGRAPHIE

- 1 BATTISTI A., STASTNY M., NETHERER S., ROBINET C., SCHOPF A., ROQUES A., LARSSON S. [2005]. Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures. *Ecol. Appl.* **15** : 2084-2096.
- 2 BOUHOT-DELDUC L. [2005]. *Dynamique des populations de la processionnaire du pin et extension de son aire de colonisation de 1981 à 2004 en France. Bilan de la santé des forêts en 2004*. Rapport du Ministère français de l'Agriculture, 6 p.
- 3 DÉMOLIN G. [1969]. Comportement des adultes de *Thaumetopoea pityocampa* SCHIFF. Dispersion spatiale, importance écologique. *Annales des Sciences forestières* **26** : 81-102.
- 4 DÉMOLIN G., ABGRALL J.-F., BOUHOT-DELDUC L. [1996]. Évolution de l'aire de la processionnaire du pin en France. *Les cahiers du DSF* 1-1996, p. 26-28.
- 5 GOUSSARD F., SAINTONGE F.-X., GERI C., AUGER-ROZENBERG M.-A., PASQUIER-BARRE F., ROUSSELET J. [1999]. Accroissement des risques de dégâts de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* DENIS & SCHIFF. en région Centre, dû au réchauffement climatique (*Lepidoptera, Thaumetopoeidae*). *Annales de la Société Entomologique de France* **35** : 341-343.
- 6 HOCH G., TOFFOLO E.P., NETHERER S., BATTISTI A., SCHOPF A. [2009]. Survival at low temperature of larvae of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* from an area of range expansion. *Agricultural and Forest Entomology* **11** : 313-320.
- 7 ROBINET C. [2006]. *Modélisation mathématique des phénomènes d'invasion en écologie : exemple de la chenille processionnaire du pin*. Thèse de l'EHESS, Paris, 210 p.
- 8 ROBINET C., BAIER P., PENNERSTORFER J., SCHOPF A., ROQUES A. [2007]. Modelling the effects of climate change on the potential feeding activity of *Thaumetopoea pityocampa* (DEN. & SCHIFF.) (*Lep., Notodontidae*) in France. *Global Ecology and Biogeography* **16** : 460-471.
- 9 ROBINET C., ROUSSELET J., GOUSSARD F., GARCIA J., ROQUES A. [2010]. *Modelling the range expansion with global warming of an urticating moth : a case study from France*. In : *Atlas of Biodiversity Risk*. Settele J. et al. (eds.), Pensoft Publishers, Sofia-Moscow, p. 86-87.
- 10 ROBINET C., IMBERT C.-E., ROUSSELET J., SAUVARD D., GARCIA J., GOUSSARD F., ROQUES A. [2010]. Warming up combined with the trade of large trees allowed long-distance jumps of pine processionary moth in Europe. *Biological Invasions* (Soumis).

CHRISTELLE ROBINET

christelle.robinet@orleans.inra.fr

JÉRÔME ROUSSELET

CHARLES-ÉDOUARD IMBERT

DANIEL SAUVARD

JACQUES GARCIA

FRANCIS GOUSSARD

ALAIN ROQUES

Unité de Recherches
de Zoologie Forestière,
INRA Orléans

2163, avenue de la Pomme de Pin
CS 40001 Ardon
F-45075 Orléans cedex 2