

APPLICATION D'UN ÉCHANTILLONNAGE ALÉATOIRE STRATIFIÉ POUR L'ÉTUDE DE LA DISTRIBUTION DES FOURMIS DES BOIS

Anne FREITAG¹, Antoine GUISAN² & Daniel CHERIX^{1,3}

¹ Musée de Zoologie, Palais de Rumine, CP 448, 1000 Lausanne 17, Suisse
Anne.Freitag@serac.vd.ch

² Centre suisse de Cartographie de la Faune, Terreaux 14, 2000 Neuchâtel, Suisse
Antoine.Guisan@cscf.unine.ch

³ Institut d'Écologie, Université de Lausanne, 1015 Lausanne, Suisse
Daniel.Cherix@serac.vd.ch

Résumé: Dans les études écologiques, la planification de la collecte des données sur le terrain est une étape déterminante. Une stratégie d'échantillonnage bien planifiée permet une analyse optimale des données et leur modélisation par des outils statistiques performants (p. ex. modèles linéaires généralisés). Pour étudier la distribution de 4 espèces de fourmis des bois (*Formica rufa*, *F. polyctena*, *F. lugubris*, *F. paralugubris*) dans le canton de Vaud, en Suisse, nous avons mis en place un échantillonnage aléatoire stratifié. L'échantillonnage des stations à visiter est stratifié selon 4 gradients environnementaux susceptibles d'affecter la distribution des espèces étudiées: (i) l'altitude (<800 m, 800-1200 m, >1200 m), (ii) la pente (1-20°, 25-45°), (iii) l'exposition (tendance sud-est, tendance nord-ouest) et (iv) la position par rapport à la forêt (en forêt, en lisière). La combinaison de ces variables permet de définir 24 situations environnementales (= strates). Pour chaque strate environnementale, 10 stations de 1 ha sont choisies aléatoirement. Le plan d'échantillonnage est réalisé au moyen d'un système d'information géographique (SIG). Sur le terrain, chaque station est soigneusement explorée selon un parcours standard pour recenser les espèces présentes et la densité de fourmilières. L'analyse des données collectées permettra de tester quelles variables environnementales ont une influence sur la distribution des différentes espèces de fourmis des bois, puis d'ajuster un modèle statistique permettant de prédire leur domaine potentiel de distribution.

Mots-clés: SIG, échantillonnage aléatoire-stratifié, *Formica s.str.*, fourmis des bois.

Abstract: Random-stratified sampling design for the study of red wood ants distribution.

Designing the sampling of data in the field is a very important stage in ecological studies. A well-designed sampling strategy allows an optimal use of the data collected and their modeling through powerful statistical analyses. We developed a random-stratified sampling to study the distribution of four red wood ant species (*Formica rufa*, *F. polyctena*, *F. lugubris*, *F. paralugubris*) in the Canton de Vaud, Switzerland. The stations are sampled according to four environmental gradients considered *a priori* as important for explaining the distribution of the species: (i) elevation (<800 m, 800-1200m, >1200 m), (ii) slope angle (1-20° or 25-45°), (iii) slope aspect (south-east trend or north-west trend) and (iv) location considering the forest structure (forest or edge). Twenty-four different environmental situations (= strata) are defined by combining these variables. Ten samples of 1 ha are randomly selected from each environmental stratum. The random-stratified sampling is performed using a geographic information system (GIS). In the field, each station is carefully inspected to locate and identify all wood ant nests. The analysis of the data will allow to test which environmental factor has an influence on the distribution of the species, and then to fit a predictive habitat distribution model for each species.

Key words: GIS, random-stratified sampling, *Formica s.str.*, red wood ants.

INTRODUCTION

Malgré les nombreuses études dont les fourmis des bois (*Formica* sensu stricto) sont l'objet depuis des décennies (Gösswald, 1989, 1990), l'auto-écologie des différentes espèces reste encore mal connue. La description récente d'une nouvelle espèce, *Formica paralugubris* (Seifert, 1996), autrefois confondue avec *Formica lugubris*, ajoute encore à l'incertitude qui règne sur l'écologie de ce groupe. Les informations disponibles sur la répartition des fourmis des bois, les facteurs écologiques expliquant leur distribution ou la densité des colonies sont lacunaires (pour la Suisse, voir Kutter, 1977). Cette situation est la conséquence d'un problème récurrent en écologie: les études détaillées nécessitent un grand investissement en temps. Dès lors, la qualité des observations et la quantité de données collectées s'opposent souvent: les études détaillées ne concernent que de petites populations locales (Sudd et coll., 1977 ; Cherix, 1981 ; Gleyre, 1999) et les études à grande échelle manquent souvent de précision (Ronchetti, 1966 ; Otto, 1968 ; Klimetzek et Wellenstein, 1970 ; Kutter, 1977 ; Travan, 1998). A cela s'ajoute un autre problème : l'absence de planification précise de l'échantillonnage lors des travaux menés à grande échelle. Les données collectées dans de telles conditions sont difficiles à analyser et l'information obtenue reste purement descriptive. Cette situation n'est pas inéluctable. L'apparition de nouveaux outils informatiques, comme les systèmes d'information géographique (SIG), et le développement de méthodes statistiques adaptées aux problématiques écologiques rendent possible la réalisation d'études performantes à grande échelle (voir Maggini, 1999 ; Guisan et Zimmermann, 2000 par exemple).

Nous avons ainsi entrepris une importante étude de la distribution des fourmis des bois dans une vaste région de Suisse occidentale pour combler les lacunes de nos connaissances sur la répartition de ces insectes. Grâce à une planification rigoureuse de l'échantillonnage, ce travail nous apportera de précieuses informations descriptives sur l'écologie de différentes espèces de *Formica* s.str., mais surtout nous permettra de tester quantitativement l'influence de diverses variables environnementales sur leur distribution. Nous présentons ici le plan d'échantillonnage élaboré.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Zone d'étude

Cette étude a été menée dans le canton de Vaud (Suisse occidentale). Par sa situation géographique, ce canton représente une région idéale pour l'étude des fourmis des bois. A cheval sur le Jura, le Plateau et les Alpes, il offre une grande diversité de milieux et d'habitats forestiers échelonnés de 380 m d'altitude (bord du Léman) jusqu'à la limite supérieure des forêts (1900-2100 m). Environ un tiers du canton (soit 94'000 ha) est recouvert de massifs forestiers susceptibles d'abriter des fourmis des bois. Six des huit espèces de *Formica* s.str. présentes en Europe se rencontrent ainsi dans le canton de Vaud : *Formica lugubris* Zett., *F. paralugubris* Seifert, *F. polyctena* Förster, *F. pratensis* Retzius, *F. rufa* L., *F. truncorum* Fabr. (Kutter, 1977 ; Seifert, 1996). *Formica aquilonia* Yarrow 1955, présente en Engadine (Kutter, 1977), n'est pas connue de Suisse occidentale mais sa présence n'y est pas exclue (B. Seifert et A. Maeder comm. pers.).

Stratégie d'échantillonnage

Nous avons réalisé un échantillonnage aléatoire-stratifié (Cherix et coll., 1998 ; Wessels et coll., 1998) dont le principe est le suivant : a) l'échantillonnage des stations à visiter est stratifié à l'aide de variables environnementales dont nous considérons *a priori* qu'elles ont une grande influence sur la distribution des fourmis, b) au sein de chaque

strate les stations à échantillonner sont choisies au hasard, et c) plusieurs "réplicats" sont échantillonnés dans chaque strate (mais à des localisations bien distinctes de la zone d'étude).

Choix des variables environnementales

Parmi les nombreux facteurs susceptibles d'influencer la distribution des fourmis des bois (conditions climatiques, durée de la période de végétation, ensoleillement du nid, ressources en nourriture, ...), nous avons retenu quatre variables qui déterminent les conditions climatiques de la station et les possibilités d'ensoleillement de la fourmilière. Ces paramètres, en influençant le microclimat régnant à l'intérieur de la fourmilière, jouent un rôle important dans le développement du couvain et donc des sociétés de fourmis (Gösswald, 1989). Nous avons émis l'hypothèse que la distribution géographique des fourmis des bois dépend dans une large mesure de ces paramètres et que les différentes espèces ne présentent pas les mêmes besoins microclimatiques.

Ne disposant pas à l'heure actuelle de mesures spatiales suffisamment fines et fiables des conditions climatiques sur l'ensemble du terrain d'étude, nous avons utilisé 3 variables topographiques en remplacement: altitude, exposition, pente. L'ensoleillement potentiel du nid a été évalué en prenant en compte une quatrième variable, à savoir la localisation de la station par rapport à la forêt (en lisière ou en pleine forêt).

Ce choix est également basé sur nos connaissances actuelles de l'influence de ces variables sur la distribution des fourmis des bois. L'altitude, qui détermine entre autres la durée de la période d'activité, la température et l'intensité de la radiation solaire affecte la répartition des différentes espèces (Kneitz et coll., 1962 ; Klimetzek, 1970 ; Cherix et Burgat, 1979 ; Travan, 1998). L'exposition de la station influence également le microclimat (température). Elle joue de plus un rôle dans l'ensoleillement direct des fourmilières auquel les fourmis des bois sont très sensibles : elles recherchent souvent une exposition est ou sud (Klimetzek, 1970 ; Cherix, 1981). Le facteur pente, en plus de son influence sur l'insolation, peut être déterminant pour l'installation des fourmilières. Si le terrain est trop pentu, l'établissement des nids est impossible en raison de l'instabilité du matériel de construction (Travan, 1998). Le choix de l'emplacement des nids en lisière ou en pleine forêt, qui conditionne dans une certaine mesure l'ensoleillement direct du dôme, varie d'une espèce à l'autre (Otto, 1968).

Stratification des variables environnementales

Chaque variable environnementale a été divisée en catégories. Sur la base de nos connaissances sur la distribution altitudinale des fourmis des bois en Suisse (Cherix et Higashi, 1979), nous avons défini trois tranches d'altitude: bord du lac (380 m) à 800 m, 801 à 1200 m, au-delà de 1200 m. L'exposition a été divisée en deux classes: exposition "favorable" (nord-est à sud-ouest en passant par est et sud), exposition "défavorable" (sud-ouest à nord-est en passant par ouest et nord). Deux types de pentes ont été pris en compte: pente faible de 1 à 20° et pente forte de 25 à 45°. Les pentes nulles (0°) ont été éliminées car aucune exposition ne pouvait y être attribuée. Ceci n'a pas posé de problème de biais dans l'échantillonnage car ces zones sont très rares dans notre zone d'étude et ne concernent que des plaines presque complètement dévolues à l'agriculture et donc dépourvues de forêts. Au-dessus de 45°, la pente a été considérée comme trop importante pour permettre l'installation des fourmilières. Les stations de pente comprise entre 20 et 25° ont été exclues pour bien distinguer les pentes faibles et fortes. L'emplacement des stations dans la forêt a été divisé en deux catégories: en lisière et en pleine forêt (à plus de 50 m d'une lisière).

Réalisation des cartes

Quatre cartes thématiques ont été réalisées dans un SIG à partir de différentes sources de données. Le modèle numérique d'altitude (à résolution de 25 m) a été utilisé pour générer les cartes d'altitude, d'exposition et de pente. Les zones de lisière et de forêt ont

été définies à partir du plan d'ensemble (cadastre) au 1:10'000. Les cartes thématiques ont été réalisées avec une résolution à l'hectare.

Pour l'échantillonnage, nous avons créé une carte synthétique en additionnant les quatre cartes thématiques dans le SIG. La combinaison des 4 variables environnementales et de leurs différentes catégories nous a permis de définir 24 situations environnementales (3 altitudes x 2 expositions x 2 pentes x 2 emplacements dans la forêt = 24) qui constituent autant de strates. Sur la carte synthétique, chaque hectare est identifié par l'une de ces combinaisons (ou par la combinaison nulle des stations hors échantillonnage, c'est-à-dire les zones sans forêt et les zones à pente différente de 1-20° et 25-45°).

Ces 24 combinaisons ont été utilisées pour stratifier l'échantillonnage. Un nombre équivalent de répliqués, dans notre cas 10, ont été choisis aléatoirement au sein de chaque combinaison. Au total, 240 stations de 1 hectare ont été échantillonnées sur l'ensemble du territoire vaudois.

Prospection des stations

Sur le terrain, chaque station a été explorée en suivant un parcours standard (transects parallèles espacés de 15 m). Toutes les fourmilières de *Formica* s.str. observées ont été recensées (Gleyre et Freitag, 2000). Dans chaque nid, 10 ouvrières ont été prélevées pour identification ultérieure de l'espèce.

Analyse ultérieure des données

Grâce à cet échantillonnage strictement planifié, il nous sera possible de tester, parmi les variables environnementales de stratification choisies, celles qui ont une influence sur la distribution des différentes espèces de fourmis des bois dans le canton de Vaud. Sur la base de ces données, nous pourrons ensuite calibrer un modèle linéaire généralisé (GLM) pour chaque espèce, comme utilisé par Maggini et coll. (1999) et Guisan et Hofer (sous presse), pour prédire leur distribution potentielle (voir Guisan et Zimmermann, 2000 pour une synthèse générale).

REMERCIEMENTS

Ce travail de recherche est financé par la fondation MAVVA (Dr L. Hofmann, Montricher, Suisse) et par le Service des forêts, de la faune et de la nature du canton de Vaud (Dr C. Neet). Nous tenons à leur exprimer ici nos remerciements.

RÉFÉRENCES

- Cherix, D., 1981. *Contribution à la biologie et à l'écologie de Formica lugubris Zett. (Hymenoptera, Formicidae) - Le problème des super-colonies*. Thèse de Doctorat, Université de Lausanne.
- Cherix, D. and M. Burgat, 1979. A propos de la distribution verticale des fourmis du groupe *rufa* dans les parties centrale et occidentale du Jura suisse. *Bulletin SROP II-3*: 37-48.
- Cherix, D. and S. Higashi, 1979. Distribution verticale des fourmis dans le Jura vaudois et recensement préliminaire des bourdons (Hymenoptera, Formicidae et Apidae). *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.* 356: 316-324.
- Cherix, D., R. Maggini, A. Guisan, M.-A. Schneider and Y. Gonseth, 1998. Échantillonner, oui mais comment ? 2^e Conférence sur les espaces protégés alpins, Aosta (Italia).
- Gleyre, M., 1999. *Bilan du programme Jorlog : état des connaissances faunistiques dans les forêts de la Ville de Lausanne (Jorat). Approche globale de la biodiversité : application d'un SIG. Évolution dans le temps: exemple du groupe Formica rufa*. Diplôme, Universités de Genève et Lausanne.
- Gleyre, M. and A. Freitag, 2000. *Approche comparative de 3 techniques de recensement des fourmis des bois (groupe Formica rufa) dans les forêts lausannoises*. Rapport non publié, Lausanne.

- Gösswald, K., 1989. *Die Waldameise. Band 1: Biologische Grundlagen, Ökologie und Verhalten*. Aula-Verlag, Wiesbaden.
- Gösswald, K., 1990. *Die Waldameise. Band 2: Die Waldameise im Ökosystem Wald, ihr Nutzen und ihre Hege*. Aula-Verlag, Wiesbaden.
- Guisan, A. and U. Hofer, sous presse. Modélisation du domaine de distribution potentielle des espèces. In: *Les Reptiles de Suisse. Répartition - Habitats - Protection* (U. Hofer, J.-C. Monney and G. Dusej, Eds). Birkhäuser Verlag, Basel.
- Guisan, A. and N.E. Zimmermann, 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecol. Model.* 135: 147-186.
- Klimetzek, D., 1970. Zur Bedeutung des Kleinstandorts für die Verbreitung hügelbauender Waldameisen der *Formica rufa*-Gruppe (Hymenoptera: Formicidae). *Z. ang. Ent.* 66: 84-95.
- Klimetzek, D. and G. Wellenstein, 1970. Vorkommen und Verbreitung hügelbauender Waldameisen der *Formica rufa*-Gruppe (Hymenoptera: Formicidae) in Baden-Württemberg. *Allg. Forst- u. J.-Ztg* 141: 172-178.
- Kneitz, G., W. Gernert and H. Rammoser, 1962. Hügelbauende Waldameisen (Formicidae, Gen. *Formica*) in den Vogesen. *Waldhygiene* 4: 203-219.
- Kutter, H., 1977. *Insecta Helvetica Fauna. 6: Hymenoptera Formicidae*. Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft, Zürich.
- Maggini, R., 1999. *Etude de la distribution de Formica exsecta Nyl. (Hymenoptera: Formicidae) au Parc National Suisse à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG)*. Diplôme, Université de Lausanne.
- Maggini, R., A. Guisan and D. Cherix, 1999. Étude de la distribution de *Formica exsecta* Nyl. à l'aide d'un système d'information géographique. *Cratschla* 2: 20.
- Otto, D., 1968. Zur Verbreitung der Arten der *Formica rufa* Linnaeus-Gruppe. I. Häufigkeit, geographische Verteilung und Vorzugsstandorte der Roten Waldameisen im Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik. *Beitr. Ent.* 18: 671-692.
- Ronchetti, G., 1966. Le formiche del gruppo *Formica rufa* sulle Alpi orientali italiane. *Boll. Soc. Entomol. ital.* 46: 123-137.
- Seifert, B., 1996. *Formica paralugubris* nov. spec. - a sympatric sibling species of *Formica lugubris* from the western Alps (Insecta: Hymenoptera: Formicoidea: Formicidae). *Reichenbachia* 31: 193-201.
- Sudd, J.H., J.M. Douglas, T. Gaynards, D.M. Murray and J.M. Stockdale, 1977. The distribution of wood-ants (*Formica lugubris* Zetterstedt) in a northern English forest. *Ecol. Entomol.* 2: 301-313.
- Travan, F., 1998. Über den Einfluss von Standortfaktoren auf die Besiedlung des bayerischen Hochgebirges durch Waldameisen (*Formica* spp.) (Hymen., Formicidae). *Anz. Schädlingskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz* 71: 105-109.
- Wessels, K.J., A.S. Van Jaarsveld, J.D. Grimbeek and M.J. Van der Linde, 1998. An evaluation of the gradsect biological survey method. *Biodiv. Conserv.* 7: 1093-1121.