

Les espèces animales invasives dans le Pacifique: l'apport de la spatialisation dans le cas de la fourmi envahissante *Wasmannia auropunctata*

Animal invasive species in the Pacific: Contribution of data spatialisation in the case of the invasive ant Wasmannia auropunctata

Hervé JOURDAN

IRD, Nouvelle-Calédonie, jourdan@noumea.ird.nc

Pascal DUMAS

IRD, Nouvelle-Calédonie, dumas@noumea.ird.nc

Mots clés : invasions biologiques, fourmi, principe de précaution, globalisation, prévision, spatialisation, SIG, États insulaires, Pacifique.

Keywords: Ant, Biological invasions, GIS, Globalisation, Precautionary Principle, risk assessment, data spatialisation, SIG, Pacific islands.

Résumé : Dans un monde globalisé, les invasions biologiques sont une menace environnementale grandissante, longtemps sous-estimée. Le développement du commerce international, la réduction des barrières douanières (et des contrôles phytosanitaires), associés à l'accélération des transports et des capacités d'échanges, sont à l'origine d'un transfert d'espèces entre territoires jamais observé au cours de l'histoire du vivant. Silencieusement, partout sur la planète, les faunes et les flores se banalisent sous la pression d'envahisseurs dispersés par les activités humaines. Du point de vue des populations humaines, les espèces déplacées représentent un risque sanitaire, agricole et environnemental, synonyme de pertes de ressources ou de surcoûts pour les économies concernées. Cette situation est particulièrement sensible dans le Pacifique où une constellation d'îles États doit faire face à un bombardement incessant d'espèces nouvelles alors que leurs frontières sont difficiles à défendre. Ces îles offrent des écosystèmes fragiles, avec des populations humaines aux limites de l'équilibre avec l'environnement. L'évaluation de ce risque apparaît aujourd'hui prioritaire, dans la perspective d'une gestion de l'environnement insulaire. Pour illustrer ce risque, nous présentons l'exemple de la fourmi électrique, *Wasmannia auropunctata* et de sa propagation en Nouvelle-Calédonie. À l'aide d'un Système d'information géographique, nous avons intégré les données de distribution spatiale disponible, couplées à la définition de facteurs limitants (altitude, pluviométrie et températures moyennes) et de facteurs anthropiques, afin d'évaluer le risque de propagation à l'échelle du territoire. L'altitude et la pluviométrie apparaissent comme des descripteurs pertinents pour la propagation de l'envahisseur. Bien que les éléments présentés restent préliminaires et nécessitent une précision de l'outil pour la définition d'une échelle de risque, ils soulignent déjà l'intérêt d'une approche spatiale pour la prévision et la prévention des phénomènes envahissants.

Abstract: Biological invasions are a growing concern for human populations. All over the earth, fauna and flora are losing silently their originalities through an unseen displacement of invaders by human agency. To the human populations point of view, invaders represent sanitary, agricultural and environmental risks that threaten further economic development. This is an important threat for Pacific states, where ecosystems are highly fragile and sensitive to invasion, and for which borders are difficult to defend. So that, in the context of insular environment management, invasive risk prevision tools are highly required. To illustrate this risk, we focus on the case of the spread of the little fire ant, *Wasmannia auropunctata* in New Caledonia. A Geographical Information System has been used to integrate ant spatial distribution data as well as to integrate various environmental and human parameters. These information have been compared in order to validate limitation factors to the ant spreading at the territory scale. Altitude and rain appear pertinent limits. Despite our elements are preliminary in nature and require precision to define a true risk scale, we emphasise the potential diagnostic value of spatial approach for prevision and prevention of invasive risk.

I - Le risque représenté par les envahisseurs biologiques

A - Le risque

Avec la destruction des habitats, les invasions biologiques sont une cause majeure d'érosion de la biodiversité. Elles sont synonymes d'une uniformisation des faunes et flores à l'échelle planétaire (Pimentel et al., 2000, 2001). L'invasion biologique peut être définie comme l'accroissement durable de l'aire de répartition d'une espèce. Cette définition considère une espèce qui se trouve à l'extérieur de son aire de répartition naturelle ou de son aire de dispersion potentielle (sans intervention humaine) ; elle est applicable à tout ou partie d'un individu susceptible de survivre et de se reproduire aussi bien dans des écosystèmes naturels que semi-naturels et se comportant comme un agent de perturbation pour les habitats concernés. Hors de leurs aires de répartitions d'origine, ces espèces sont libérées des pressions exercées par leurs prédateurs et leurs parasites, elles peuvent alors proliférer et devenir envahissantes sans qu'aucune « régulation naturelle » n'intervienne dans le nouvel environnement (Elton, 1958 ; Mack et al., 2000 ; Shea et Chesson, 2002). Depuis les travaux de Mac Arthur et Wilson (1967), il est bien établi que les communautés naturelles sont en équilibre dynamique : leur structure n'est pas figée mais en perpétuel remaniement. Dans la nature, la survie des organismes est conditionnée par leur capacité à se maintenir sur des territoires ou à en conquérir. Si l'invasion apparaît donc comme un processus naturel (série d'événements isolés, expression des fluctuations naturelles de l'environnement), le problème actuel relève de l'accélération du processus.

Le développement de l'activité humaine abolit en grande partie les barrières de l'isolement géographique, avec en corollaire une augmentation de la fréquence des invasions. Depuis la fin du dernier conflit mondial, la multiplication des voies de communication et l'intensification des trafics routier (et des linéaires associés), ferroviaire, aérien et maritime (transport de containers et eaux de ballast), augmentent inexorablement la fréquence des introductions accidentelles d'espèces, auxquelles viennent s'ajouter les introductions délibérées à partir de l'agriculture ou de l'élevage. Les déplacements d'espèces se font sur des distances de plus en plus grandes, mettant en contact des entités biologiques sans aucune histoire commune, sans passé co-évolutif. Ainsi, dans un territoire isolé comme celui des îles Hawaii, le rythme d'apparition d'une invasion sans intervention anthropique est estimé à une espèce tous les 50 000 ans (Brown, 1989). À partir de la période polynésienne, la fréquence d'introduction est estimée à une introduction tous les 10 ans, pour atteindre 20 espèces par an pour la période contemporaine (D'Antonio et Dudley, 1995). En outre, le changement global du climat sous l'influence des activités humaines apparaît aujourd'hui comme un facteur favorable à l'expansion des espèces introduites (Dukes et Mooney, 1999).

Du point de vue des communautés vivantes, l'invasion ne se solde pas uniquement par la modification de la composition (ajout ou disparition d'espèces), elle affecte la structure et le fonctionnement des écosystèmes (Mack et al., 2000, Shea et Chesson, 2002). Selon Vitousek et al. (1996), les invasions biologiques sont responsables d'un changement global de l'environnement qui est aussi significatif que ceux résultant de la pollution de l'air, des sols ou de l'eau. En milieu insulaire, les introductions d'espèces ont des conséquences particulièrement désastreuses. Plusieurs hypothèses scientifiques ont été formulées pour tenter d'expliquer cette sensibilité particulière aux espèces allochtones. L'isolement des populations et un certain cloisonnement des communautés ont permis aux faunes et flores insulaires d'évoluer en fonction de pressions de sélection différentes de celles rencontrées ailleurs. Les écosystèmes insulaires présentent souvent des espèces spécialisées, et bien souvent un certain nombre de « niches écologiques vides » (absence de groupes entiers du fait de l'isolement), qui offrent autant

d'opportunités d'installation pour les espèces envahissantes, libérées de leurs prédateurs et compétiteurs naturels (Shea et Chesson, 2002).

Du point de vue des sociétés humaines, les invasions biologiques sont non seulement responsables de pertes irrémédiables de biodiversité (dommageables pour l'avenir des sociétés tant d'un point de vue écologique, patrimonial ou culturel), mais aussi de conséquences économiques directes. La propagation d'envahisseurs biologiques représente un risque sanitaire, agricole et environnemental, synonyme à terme de pertes de ressources ou de surcoûts pour les économies concernées. En pratique, ce sont surtout les cas spectaculaires par les nuisances induites, ou les plus explosifs à l'échelle humaine, qui ont prévalu dans l'étude des phénomènes invasifs. Ceci a conduit plusieurs auteurs dont Brown (1989) à estimer que les milieux anthropiques sont plus sensibles aux invasions que les milieux naturels. Mais, ce constat apparaît le fruit d'un biais d'observation : déplacées par l'Homme, la plupart des espèces envahissantes sont des espèces adaptées à son voisinage ou aux milieux qu'il utilise. Ces organismes ont donc plus de chances de s'établir dans des zones qui intéressent l'Homme et, pour les mêmes raisons, plus de chances d'y être détectées.

B - Évaluation du risque

La prise de conscience de la pré-éminence de l'homme dans ces phénomènes, les conséquences sur le fonctionnement des écosystèmes et les fortes interactions avec les activités humaines ont conduit aux premières évaluations globales du coût. Ainsi, Pimentel *et al.* (2000) estiment que les espèces envahissantes représentent un coût annuel économique de l'ordre de 138 milliards USD par an pour le seul territoire des USA. Dans le même temps, 98 % de la production alimentaire repose sur des espèces introduites pour une valeur de 500 milliards USD (Pimentel *et al.*, 2000).

Aujourd'hui, ce constat se solde par un vaste débat engagé dans un cadre institutionnel international, en particulier autour de l'application du *Sanitary and phytosanitary standards agreement* à l'Organisation mondiale du commerce¹ ou des discussions engagées lors des dernières réunions des parties de la convention sur la diversité biologique (à Nairobi en mai 2000, à La Haye en mars 2002 ou à Kuala Lumpur en février 2004), où des textes relatifs au problème des espèces envahissantes ont été débattus. Dans un contexte de globalisation, il est intéressant par ailleurs de noter que les pays les plus libéraux (Usa, Australie, Nouvelle-Zélande) sont ceux où la question est la plus sensible et où les législations sont les plus développées. Par exemple, en Nouvelle-Zélande, le « *Biosecurity act* », en vigueur depuis 1993, représente la législation la plus offensive sur ce sujet (autoriser l'exclusion, l'éradication et la gestion des espèces indésirables (envahissantes) aussi bien celles déjà introduites que de promouvoir la prévention de nouvelles arrivées (renforcement des mesures de contrôle aux frontières)). Accord fondateur de l'OMC, le *Sanitary and phytosanitary standards agreement*

¹ Accord relatif aux mesures sanitaires et phytosanitaires. Il reconnaît que les gouvernements ont le droit d'adopter de telles réglementations, mais que celles-ci ne devraient être appliquées que dans la mesure où elles sont nécessaires à la protection de la santé et de la vie des personnes et des animaux ou à la préservation des végétaux et ne devraient pas créer une discrimination arbitraire ou injustifiée entre les Membres où des conditions identiques ou similaires existent. Les Membres devraient accepter les mesures sanitaires et phytosanitaires d'autres Membres comme équivalentes si le pays exportateur démontre au pays importateur qu'avec ses mesures, le niveau approprié de protection sanitaire ou phytosanitaire dans le pays importateur est atteint. L'accord contient des dispositions relatives aux procédures de contrôle, d'inspection et d'homologation. L'accord énonce aussi des prescriptions relatives à la transparence, notamment la publication des réglementations, la mise en place de points d'information nationaux et l'adoption de procédures de notification (Source : OMC 1998).

est l'un des textes les plus sensibles ; il pose un réel problème aux petits États : comment répondre à l'exigence de cet accord pour imposer des mesures phytosanitaires qui ne soient pas perçues comme une entrave au commerce international tout en ne remettant pas en cause la biosécurité de leur territoire. Cette situation est particulièrement sensible dans le Pacifique, où une constellation d'îles États doivent faire face à un « bombardement » incessant d'espèces nouvelles alors que leurs frontières sont difficiles à défendre. Ces îles offrent des écosystèmes fragiles, avec des populations humaines aux limites de l'équilibre avec l'environnement. Ce risque est aujourd'hui à prendre en compte par les gestionnaires de l'environnement.

Cependant, comme le souligne Lodge (1993), on ne peut juger une espèce à partir de son seul statut de native ou d'introduite, avec l'idée que toutes les introduites sont nuisibles et qu'il faut les éradiquer. Au niveau des États, il doit y avoir un strict encadrement des espèces à introduire en appliquant le principe de précaution, avec un souci principal : n'introduire une espèce que dans la mesure où son introduction est synonyme d'une plus value évidente pour les populations humaines. L'Homme est responsable de nouvelles combinaisons d'espèces qui formeront les écosystèmes du futur, aussi, les sociétés doivent être capables de gérer l'environnement en intégrant ce nouveau risque anthropique. Ce risque envahissant doit être pris en compte pour anticiper, établir des stratégies de contrôle et de gestion des frontières.

Mais, encore faut-il disposer d'éléments de diagnostic pour distinguer et hiérarchiser les menaces. Au-delà de l'inventaire par les services compétents de la liste des organismes candidats et de la définition des voies d'entrées, il est nécessaire de développer des outils de prévision pour établir à l'échelle des territoires concernés, les capacités d'installation et de propagation d'espèces indésirables.

La gestion d'un risque, qu'il soit naturel ou anthropique, nécessite la manipulation de données spatiales : effectuer un inventaire des occurrences du phénomène, couplé à une analyse spatiale poussée. Estimer le risque revient donc à répertorier les différents sites comportant les mêmes critères. On passe ainsi d'un inventaire à une amorce de prévision d'un risque. Dans la perspective des invasions biologiques, le processus d'invasion n'apparaît pas comme un continuum, mais plutôt comme une série d'étapes discrètes, où chaque étape suppose le franchissement de barrières biotiques et abiotiques, ce qui nous renvoie aux caractéristiques des milieux qui génèrent des contraintes quant à la répartition des espèces. Dans l'analyse de risque, l'adaptation à ces contraintes peut être caractérisée par un certain nombre de paramètres abiotiques. Il est possible d'envisager une généralisation de l'occurrence d'un envahisseur dans une certaine gamme de conditions, et par conséquent, de généraliser le risque à tous les habitats offrant cette gamme de conditions. L'outil le mieux adapté à la recherche d'un tel résultat nous semble être un Système d'Information Géographique. Les SIG se définissent comme des ensembles de données repérées dans l'espace et structurées de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision (Didier, 1993). Les informations relatives aux caractéristiques des milieux sont intégrées et analysées sous la forme de couches d'information géo-référencées (topographie, bassins versants, températures, etc.). Leur manipulation et leur croisement en vue d'une exploitation cartographique des résultats obtenus permettent ainsi de générer une information spatialisée directement exploitable par le gestionnaire de l'environnement.

II - Une illustration : l'invasion de la Nouvelle-Calédonie par la fourmi néotropicale *Wasmannia auropunctata* (Roger)

Pour illustrer notre propos, nous proposons de présenter la menace *Wasmannia auropunctata* en Nouvelle-Calédonie. Cet archipel illustre parfaitement les contraintes des milieux

insulaires, avec une faune et une flore hautement originales et diversifiées, mais soumis à une forte pression d'espèces envahissantes (Gargominy et al., 1996). Parmi les menaces envahissantes, les Formicidae représentent un groupe à fort pouvoir de nuisance, de par leur commensalisme avec l'Homme et leur caractère de groupe clé de voûte dans la plupart des écosystèmes tropicaux. Identifiée comme l'une des espèces envahissantes les plus menaçante (Lowe et al., 2000), *Wasmannia auropunctata*, la fourmi électrique ou petite fourmi de feu (eu égard à sa piqûre douloureuse), est originaire d'Amérique tropicale. Il s'agit d'un envahisseur en expansion dans la ceinture tropicale grâce au commerce humain, en particulier dans le Pacifique où la faible technicité des populations humaines les laisse démunies face à cet envahisseur agressif (Jourdan et al., 2002 ; Mairouch, 2002). Aujourd'hui, cet envahisseur est non seulement une menace pour l'environnement néo-calédonien mais plus largement pour le développement des États insulaires du Pacifique (Jourdan et al., 2002 ; Chazeau et al., 2004). Introduite accidentellement en Nouvelle-Calédonie entre 1957 et 1963 avec du matériel contaminé (vraisemblablement à l'occasion de l'importation de jeunes plants de pins allochtones (*Pinus caribaea* Wild) destinés à un programme de reforestation). Cet envahisseur présente les caractéristiques communes au groupe fonctionnel des « *tramp species* », qui rassemble les fourmis les plus envahissantes de la planète (Holway et al., 2002). On signalera en particulier des caractéristiques socio-biologiques (polygynie et unicolonialité) associées à une plasticité écologique (régime polyphage opportuniste, fourragement très actif, tolérance pour l'implantation des nids, tolérance aux perturbations anthropiques) qui lui permettent une grande diversité d'expression. L'efficacité colonisatrice de *W. auropunctata* en Nouvelle-Calédonie peut sembler paradoxale. En effet, seules les ouvrières sont capables de déplacements significatifs, or celles-ci ne peuvent suffire à établir et à propager l'espèce : il faut du couvain sexué ou une reine fécondée mais cette dernière n'effectue pas de vol nuptial ; le déplacement naturel par bourgeonnement des colonies est donc généralement très lent (Jourdan, 1999). La raison de son succès tient pour beaucoup au rôle de vecteur que l'Homme a joué dans son introduction dans sa large distribution initiale sur l'archipel.

A - Un bref rappel de la nuisance occasionnée par l'envahisseur *W. auropunctata*

Cette fourmi se caractérise par un impact social important. Ainsi, malgré sa faible taille (1,2 mm), sa piqûre occasionne des douleurs et des démangeaisons, même si des réactions allergiques sont rarement signalées. Ces piqûres, ou la crainte des piqûres, affectent la vie quotidienne et interfèrent avec de nombreuses activités à l'extérieur, en particulier en milieu tribal mélanésien. Un impact en santé publique est même évoqué (vecteur potentiel de pathogènes), lorsqu'il y a fourragement incessant d'ouvrières dans les cuisines, salles de bains et toilettes (Mairouch, 2002). Cet envahisseur interfère avec les activités agricoles en affectant les animaux d'élevage et domestiques : mortalité de poussins, lapereaux ... ; cécité des chats, chiens, du bétail... ; exclusion des animaux de certains sites avec des risques en terme de nutrition et de déshydratation (Chazeau et al., 2002). Cette fourmi perturbe également les cultures, en occasionnant des dommages aux plantes et aux fruits en raison de son association à des Hémiptères phytophages (cochenilles, pucerons...), mais également par une action dissuasive pour la main-d'œuvre en caféiculture et arboriculture (Jourdan et al., 2002). Enfin, il faut également considérer les conséquences pour les écosystèmes naturels, où elle altère les équilibres écologiques en transformant la structure et le fonctionnement des écosystèmes, par une élimination de la majorité des invertébrés, tout en favorisant certains autres (Jourdan, 1999 ; Jourdan et al., 2001).

En Nouvelle-Calédonie, la progression continue de cette espèce est une nuisance majeure qui nécessite d'appréhender la capacité d'établissement et de propagation à l'échelle de l'archipel.

B - Tentative d'une analyse du risque envahissant pour une gestion environnementale du phénomène « fourmi électrique »

La complexité de la distribution de la fourmi électrique incite à une approche globale de sa propagation, qui prenne en compte tous les éléments des systèmes biologiques, physiques et humains et, d'autre part, qui considère ces différentes composantes aussi bien dans leurs interactions que prises isolément. Nous avons donc couplé les données connues de distribution spatiales de *W. auropunctata* avec diverses données descriptives des conditions de milieu au travers d'un SIG afin de définir et spatialiser le risque de propagation : il s'agit de mettre en évidence des facteurs limitant la propagation sur certains territoires. Cette approche permet d'engager une analyse spatiale à une échelle globale, sur laquelle l'entomologiste n'a pas « l'habitude de travailler », et qui permet de proposer au gestionnaire une appréhension globale du phénomène. À terme, il s'agira d'effectuer une véritable analyse spatiale du risque en le croisant avec des données géographiques pour faire apparaître les relations entre risques et données géographiques.

1 - Distribution de *Wasmannia auropunctata* en Nouvelle-Calédonie

Notre premier objectif a été de créer une base de données géo-référencées de la distribution de *W. auropunctata* sur l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie, afin de dresser un inventaire du risque déjà présent. L'ensemble des données de répartition connue de *W. auropunctata* a été intégré dans un SIG, l'accent étant mis sur le facteur temps (date des relevés) afin d'appréhender la dynamique de l'invasion.

Les informations de distribution disponibles ont été géo-référencées (projection UTM 58 Sud, WGS 72) et intégrées dans un système d'information géographique sur l'ensemble de la Grande Terre. Cette base de donnée spatialisée est pilotée par le logiciel SIG Arcview® dans lequel sont intégrés les modules d'analyse spatiale et de modélisation 3D (Spatial Analyst® et Surface 3D®). Par ses fonctionnalités d'intégration de données hétérogènes (en mode vecteur ou « raster »), aux formats distincts, et d'actualisation rapide de celles-ci, le SIG nous est apparu comme un outil dynamique très intéressant pour tester nos paramètres (mise en évidence de facteurs limitants expliquant la distribution spatiale de la fourmi électrique). Par ailleurs, ses capacités d'analyse des données à différentes échelles et de cartographie automatique ont permis une véritable approche globale du territoire étudié.

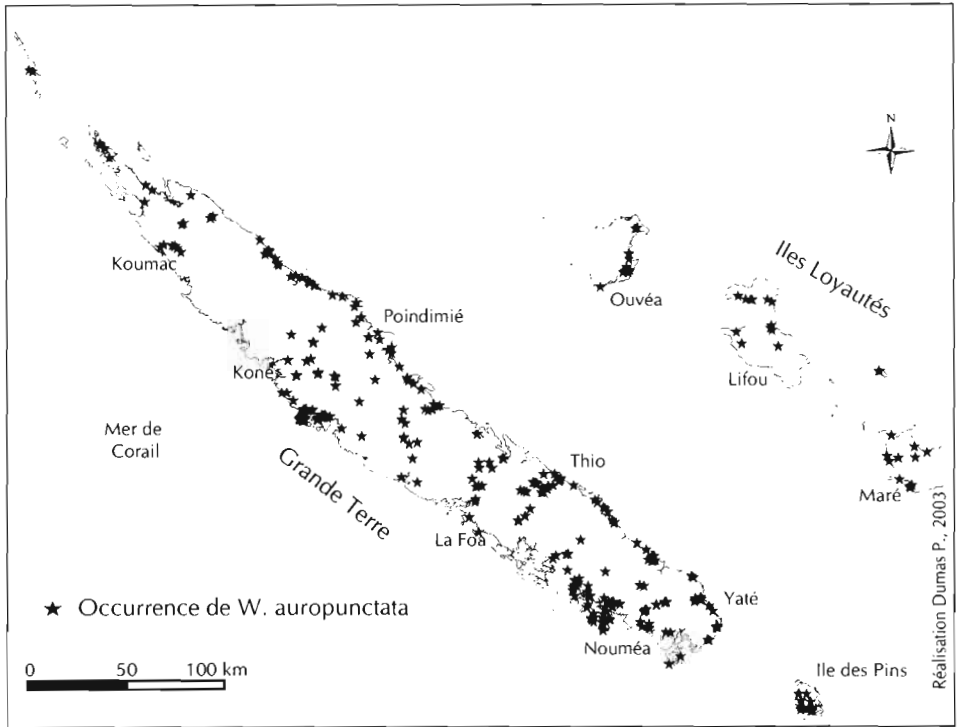
Depuis son identification en 1972 (Fabres et Brown, 1978) jusqu'en 2003, nous avons recensé 364 localités infestées par l'envahisseur au cours de ces 35 années. La cartographie de la distribution globale de *W. auropunctata* sur la Grande Terre et sur les îles Loyauté montre que l'envahisseur a été distribué largement dans l'archipel, aussi bien en milieu anthropisé (jardins vivriers, champs etc.) que dans les milieux naturels (forêt dense humide, forêt sèche, maquis minier, savane) y compris sur les milieux ultrabasiques (fig. 1).

- Les limites à l'expansion de l'envahisseur : établir une carte de territoires menacés par sa propagation. Objectif : Appréhender le risque à l'échelle de l'archipel

Dans un second temps, des informations susceptibles de révéler des facteurs limitants à l'expansion de *W. auropunctata* à l'échelle du territoire ont été intégrées à l'analyse. À partir de la bibliographie (Clark et al., 1982 ; Lubin, 1984 ; Meier, 1994), nous avons établi le caractère mésophile de la fourmi électrique. Cette Formicidae semble préférer des conditions moyennes plutôt que des situations extrêmes ou très contrastées. À partir de ce constat, nous avons choisi d'intégrer au SIG les informations descriptives suivantes :

- températures normales minimales et maximales moyennes (mesurées entre 1971 et 2000),
- précipitations annuelles moyennes (mesurées entre 1971 et 2000),
- topographie (courbes de niveaux, selon un pas de 10 m).

Figure 1 - Distribution de *W. auropunctata* en Nouvelle-Calédonie en 2003 (364 observations)



Toutes ces données ont été ramenées à une référence cartographique commune. Ensuite, chacun des paramètres a été testé pour sa pertinence comme facteur limitant et explicatif de la distribution de l'envahisseur sur l'ensemble de l'archipel. Il s'agit alors de corrélérer la localisation des relevés et la distribution spatiale des paramètres limitants précités, afin d'identifier des seuils de diffusion.

- Le paramètre topographique

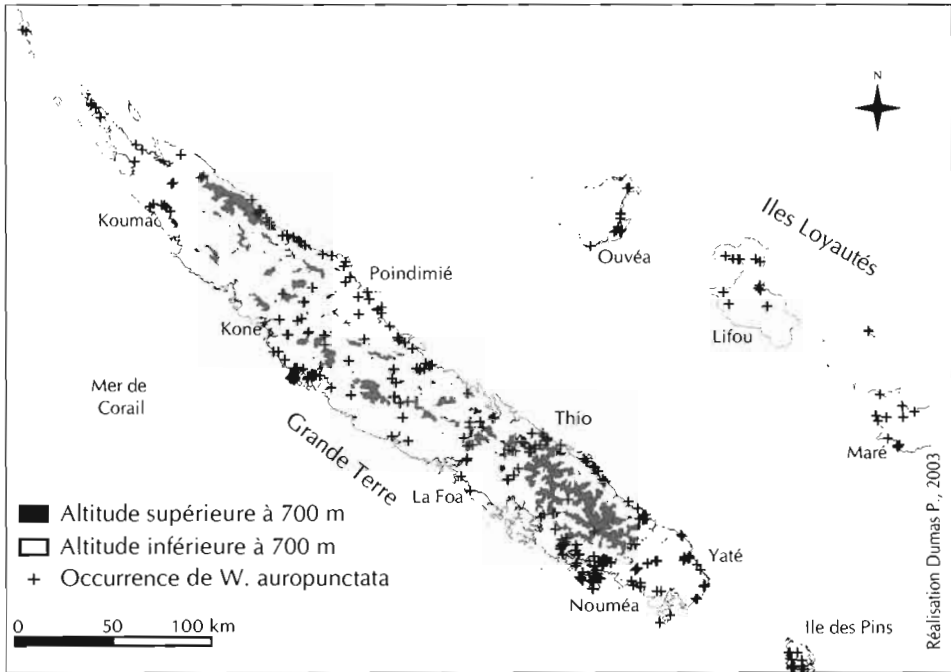
Le croisement de données de distribution et de topographie montre que la fourmi électrique se cantonne à une altitude inférieure à 700 m. En 35 ans, elle n'a jamais été observée au dessus de cette altitude (fig. 2). On la rencontre principalement en plaine, bien que certaines localités d'altitude soient envahies depuis le début des années quatre-vingt, comme les Monts Koghi, à proximité de Nouméa, où elle ne semble plus progresser au dessus de 500 m (Jourdan, 1999), ces observations montrent que ce seul descripteur ne permet pas de prévoir la propagation.

- Le paramètre « précipitations »

Le croisement des paramètres de précipitations et des données de distribution permet de dégager des zones d'exclusions, où l'envahisseur semble ne pas pouvoir s'établir en raison soit d'un excès de sécheresse (pluviométrie <750 mm/an), soit d'une trop grande humidité (pluviométrie >2 800 mm/an) (fig. 3). Cependant, la pente semble moduler ce risque : des colonies peuvent ainsi être lessivées par les eaux de ruissellement sur des versants trop pentus.

- Le paramètre « températures »

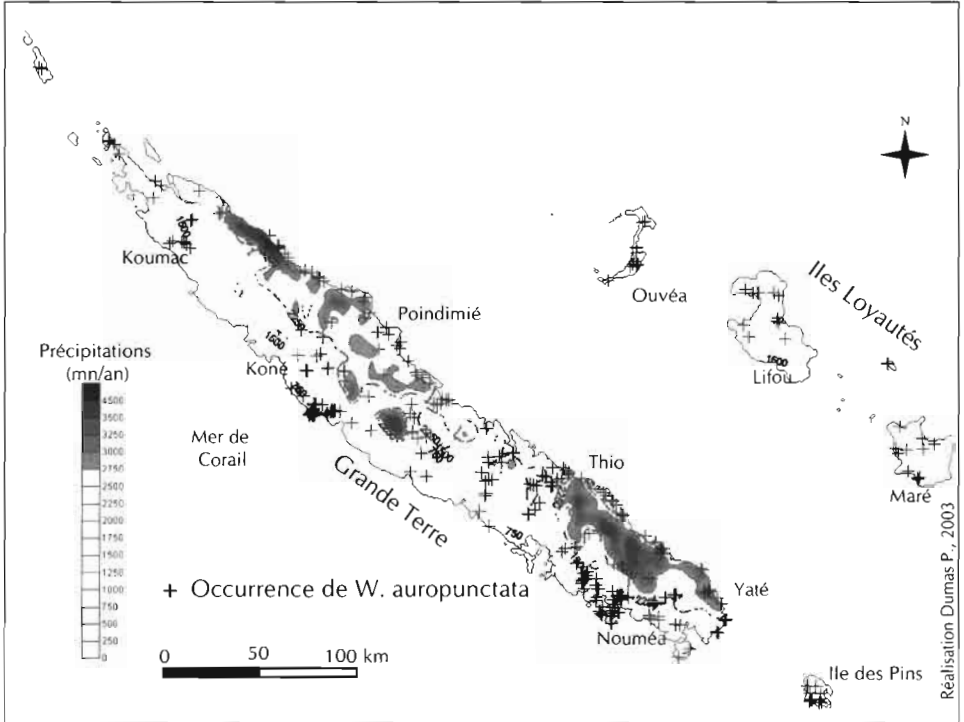
En première approche, le croisement des données de répartition et des classes de températures minimales et maximales (selon un pas de 0,5°C) ne nous a pas permis de détecter

Figure 2 - Exclusion altitudinale de *W. auropunctata*

des classes de risques ou des classes d'exclusion de la fourmi électrique. Les amplitudes de températures moyennes apparaissent a priori compatibles avec les préférences biologiques de *W. auropunctata*. L'utilisation des données de températures moyennes annuelles (mini / maxi) n'est sans doute pas assez sensible. Il vaudrait mieux travailler avec les données mensuelles pour définir de nouvelles classes pluviométriques, données qu'il faudrait coupler au taux d'humidité journalier (Rh à 9h et 15h) pour mieux caractériser les conditions physiques à l'échelle du territoire.

Pour une meilleure intégration de ces paramètres abiotiques, il est nécessaire de revenir à la biologie de l'envahisseur. En effet, une des clés du succès de *W. auropunctata* est sa capacité à nidifier de façon opportuniste en utilisant des cavités et des supports disponibles dans la nature (principalement au sol), sans jamais construire de véritables fourmilières. Cette particularité lui permet d'être mobile et de déménager en réponse à la moindre perturbation. Par contre, cette incapacité à construire des nids constitue un facteur limitant à son établissement, dans la mesure où la nidification à l'interface litière/ atmosphère élimine tout effet de tampon vis à vis des variations brutales de températures et d'humidité. Le couvain est donc soumis aux fluctuations micro-climatiques pour sa survie, la fourmi électrique doit pouvoir trouver rapidement des sites favorables lui permettant de mettre à l'abri les œufs, larves et nymphes pour répondre aux variations climatiques dans les milieux qu'elle fréquente. Dans les milieux soumis à la sécheresse ou au contraire à de fortes pluviométries, cela peut constituer un facteur de mortalité, et par conséquent un frein à la propagation. Il faut donc définir un paramètre synthétique susceptible de rendre compte de ces fluctuations. Si l'on se réfère aux travaux concernant la propagation de la fourmi de feu, la survie du couvain dépend de la température au sol (Korzhukin et al., 2001). L'obtention de ce paramètre ou la modélisation

Figure 3 - Zones d'exclusion pluviométrique de *W. auropunctata*



de ce dernier pourrait être important pour définir les zones menacées par l'expansion de *W. auropunctata*.

- Les principales voies de dispersion

Outre les paramètres abiotiques, la fourmi électrique a une capacité intrinsèque de dispersion faible en raison de l'absence de vol nuptial et de l'existence d'une fondation dépendante (nécessité d'avoir des ouvrières avec les reines) avec bouturage des nouvelles colonies à partir de nids déjà établis. Ainsi, à partir d'un site envahi, la progression annuelle a-t-elle été estimée à 15-20m, parfois >100 m (selon les conditions locales (Meier, 1994 ; Jourdan, 1999)). Ces éléments biologiques ne permettent pas d'expliquer la large distribution de la fourmi électrique, 40 ans à peine après la première incursion.

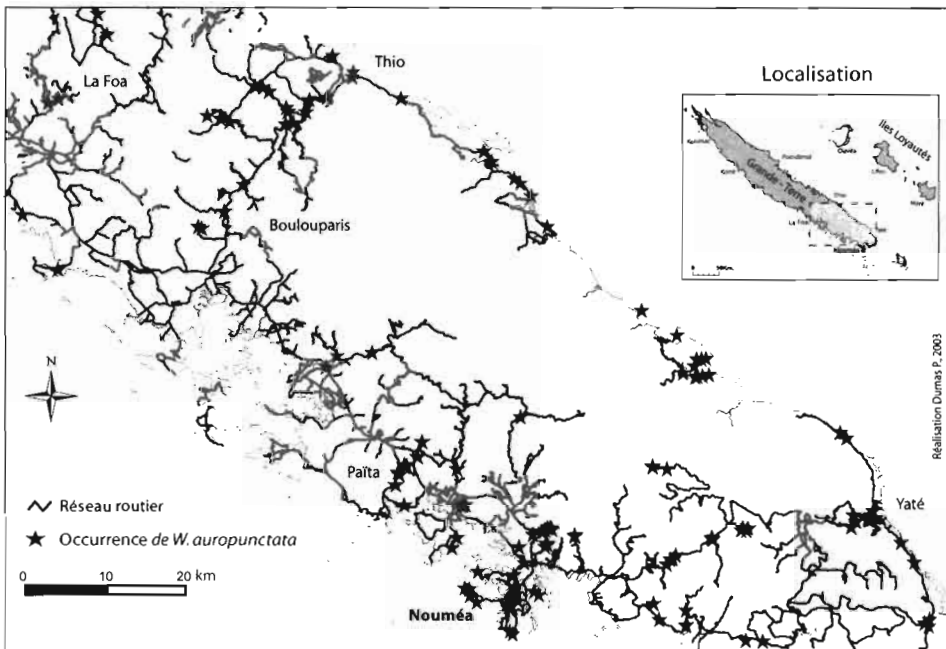
En fait, l'Homme apparaît comme le principal vecteur de la dispersion. Il existe une très forte association entre l'envahisseur et l'Homme, qui déplace la fourmi de façon fortuite avec du matériel contaminé (terre, matériaux de construction...) ou le plus souvent des plantes. Ce phénomène est particulièrement exacerbé en milieu mélanésien où les échanges coutumiers de plantes sont fréquents et où l'absence d'un principe de précaution dans le transfert de plantes entre zones envahies vers des zones indemnes contribue à la propagation de l'envahisseur (Maïrouch, 2002 ; Jourdan et al., 2002). Aussi, nous avons essayé d'intégrer au SIG les informations qui permettent de faire le lien entre l'Homme et la propagation de la fourmi électrique. Pour se faire, nous avons utilisé les capacités analytiques du SIG et les capacités de calcul relatif à l'analyse des réseaux (détermination de la distance la plus courte d'un point à un autre) pour identifier les vecteurs de propagation.

• Les paramètres de la propagation

Nous avons donc considéré la diffusion de *W. auropunctata* au voisinage des implantations humaines (villes et tribus, distance la plus proche), autour du réseau routier mais également le long des cours d'eau (rivières et cours d'eau principaux). Les routes sont d'excellents vecteurs et offrent à travers le territoire des corridors pour la progression de l'envahisseur vers des espaces vierges. À l'image des routes, les cours d'eau peuvent être un vecteur et les zones situées en aval d'une zone infestée sont les plus menacées. Le croisement de la répartition de *W. auropunctata* et la présence de cours d'eau nous permet également d'affiner les facteurs de propagation (*W. auropunctata* est connue pour sa capacité à être entraînée et déplacée lors des épisodes de crues (Jourdan, 1999)). Les cours d'eau sont impliqués dans la dispersion à long terme comme l'illustre la présence de la fourmi dans la baie de Ouinée où il n'existe qu'une occupation humaine réduite. Les conditions micro-climatiques au voisinage des cours d'eau peuvent moduler la distribution et offrir des conditions ponctuelles favorables comme observées le long de la rivière Nekoro et le creek Hervouet en milieu sclérophylle, sur la côte Ouest de la Grande Terre (Chazeau *et al.*, 2003).

En l'état actuel du SIG, le croisement des données de répartition (et le calcul des distances) pour ces différents descripteurs ne permet pas de souligner le lien avec des éléments anthropiques pour la propagation de l'envahisseur. L'intégration des paramètres de propagation est difficile du fait d'un biais des occurrences enregistrées et intégrées dans le SIG : elles représentent les stations pour lesquelles la présence de l'envahisseur a été établie (la fourmi est plus largement distribuée dans l'archipel) et non des informations récoltées systématiquement selon une maille d'échantillonnage couvrant le territoire (fig. 4). Ces occurrences sont un reflet des opportunités d'accès (un biais d'échantillonnage par rapport aux voies d'accès, les occupations humaines et les voies de propagation).

Figure 4 - Diffusion de *W. auropunctata* autour du réseau routier. Exemple de la région Thio- Païta-Nouméa-Yaté



Conclusions-Perspectives

Les éléments présentés restent préliminaires, avec une utilisation à minima des possibilités d'analyse spatiale du SIG. Cependant, ils permettent de souligner l'intérêt de spatialiser la distribution de *W. auropunctata*. Des limites à son expansion ont été définies et nous avons pu montrer l'existence d'une corrélation avec certains paramètres abiotiques : précipitations (les zones dont la pluviométrie moyenne est < 750 mm ou > 2 800 mm/an) mais aussi l'altitude (les zones > 700 m). Par contre, les données de distribution disponibles ne nous ont pas permis de rendre compte des facteurs anthropiques de distribution (implantations humaines, routes...) ou de facteurs naturels (cours d'eau...).

Dans la perspective d'un développement ultérieur de l'outil SIG, il nous paraît nécessaire d'affiner les descripteurs du milieu, notamment par une intégration des données climatiques de l'aire d'origine, pour évaluer le recouvrement climatique avec les conditions de la région d'introduction (développer une écologie prédictive). À l'image des travaux de Korzukhin *et al.* (2001) et de Morrison *et al.* (2004) sur les capacités de propagation de la fourmi de feu (*Solenopsis invicta*), une modélisation plus précise des conditions apparaît également nécessaire, notamment pour les températures. D'autre part, il faudrait réaliser une exploration systématique de portions représentatives de la diversité du territoire néo-calédonien pour avoir un échantillonnage non biaisé de la répartition de *W. auropunctata*.

La démarche proposée pour le développement d'un SIG, bien que préliminaire, offre non seulement des perspectives pour l'évaluation du risque envahissant associé à d'autres modèles biologiques (invertébrés, vertébrés, plantes...) qu'une possibilité de généralisation aux autres États du Pacifique. Ce type d'outil pourrait permettre de répondre aux besoins de surveillance et de hiérarchisation des menaces envahissantes dans les territoires insulaires du Pacifique. Face aux contraintes de la globalisation, il serait possible d'adopter un principe de précaution à l'égard des menaces les plus probables : mobiliser les énergies vers ce qui est le plus menaçant dans des territoires où les moyens humains d'intervention sont faibles.

Remerciements

Nous remercions Météo-France pour nous avoir donné accès aux informations météorologiques utilisées dans cette étude. Nous remercions également vivement Jean Chazeau pour sa relecture du manuscrit et ses commentaires critiques.

Bibliographie

- BROWN J.H. Patterns, modes and extents of invasions by vertebrates In : J. A. DRAKE, H. A. MOONEY, F. DI CASTRI, R. H. GROVES, K. J. KRUGER, M. REJMANEK AND M. WILLIAMSON [eds.], *Biological invasions: A global perspective*. Chichester : John Wiley & Sons, 1989, p. 85-110.
- CBD. *Fifth Ordinary Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity*. 15-26 Mai 2000, Nairobi. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.biodiv.org/doc/meeting.aspx?lg=2&mtg=COP-05> (consulté le 17.05.2004).
- CBD. *Sixth Ordinary Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity*. 7-19 Avril 2002, La Haye. [en ligne]. Disponible sur : <http://www.biodiv.org/doc/meeting.aspx?lg=2&mtg=COP-06> (consulté le 17.05.2004).
- CBD. *Seventh Ordinary Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity*. 9-20 Février 2004, Kuala Lumpur, [en ligne]. Disponible sur : <http://www.biodiv.org/doc/meeting.aspx?lg=2&mtg=COP-07> (consulté le 17.05.2004).
- CHAZEAU J., JOURDAN H., LE BRETON J. *Étude de l'invasion de la Nouvelle-Calédonie*

- par la fourmi pionnière *Wasmannia auropunctata* (Roger) : modalités, impact sur la diversité et le fonctionnement des écosystèmes, moyens d'une maîtrise de la nuisance. (Convention GIP Ecofor / IRD). Nouméa : IRD, 2002, 183 p. + annexes.
- CHAZEAU J., JOURDAN H. *Étude floristique et faunistique de la forêt sèche de Nékoro. 2^e partie. Évaluation de l'intégrité de la faune par l'étude de la myrmécofaune.* Rapport de recherche (Consultance Programme Forêt sèche). Nouméa : IRD, 2003, 35 p.
- CHAZEAU J., JOURDAN, H., LE BRETON J. « Aires protégées et invasions biologiques. Le cas de la fourmi *Wasmannia auropunctata* (Roger) en Nouvelle-Calédonie ». In LEBIGRE J.M. & DECOUDRAS, P. Eds. *Actes du congrès Cap'îles : Aires protégées insulaires et littorales tropicales. – gestion, enjeux, perspectives*, 30-31/10 2001, Nouméa. Collection Îles et Archipels, Vol. 32. Bordeaux : Université de Bordeaux 3, 2004, p. 245-256.
- CLARK D.B., GUAYASAMIN C., PAZMINO O., DONOSO C., PAEZ DE VILLACIS Y. The tramp ant *Wasmannia auropunctata*: autecology and effects on ant diversity and distribution on Santa Cruz Island, Galapagos. *Biotropica*, 1982, vol. 14, p. 196-207.
- D'ANTONIO C.M., DUDLEY T.L. Biological invasions as agents of change on islands Versus Mainlands. In : VITOUSEK P.M., LOOPE L.L., ADSESEN H. Eds. *Islands. Biological diversity and ecosystem function. Ser. Ecological Studies*, vol. 115. Berlin : Springer Verlag, 1995, p. 103-121.
- DIDIER M. *Guide économique et méthodologique des SIG*. Paris : Hermes, 1993.
- DUKES J.S., MOONEY H.A. Does global change increase the success of biological invaders? *Trends in Ecology & Evolution*, 1999, vol. 14, p. 135-139.
- ELTON C.S. *The ecology of invasions by animals and plants*. Londres : Methuen, 1958, 181 p.
- FABRES G., BROWN W. L. The recent introduction of the pest ant *Wasmannia auropunctata* into New Caledonia. *Journal of Australian entomological Society*, 1978, vol. 17, p. 139-142.
- GARGOMINY O., BOUCHET P., PASCAL M., JAFFRÉ T., TOURNEUR J.C. Consequences for biodiversity of plant and animal species introductions in New Caledonia. *Terre et Vie*, 1996, vol. 51, p. 375-402.
- HOLWAY D.A., LACH L., SUAREZ A.V., TSUTSUI N.D., CASE T.J. The ecological causes and consequences of ant invasions. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2002, vol. 33, p. 181-233.
- JOURDAN H. *Dynamique de la biodiversité de quelques écosystèmes terrestres néocalédoniens sous l'effet de l'invasion de la fourmi peste Wasmannia auropunctata* (Roger) (Hymenoptera: Formicidae). Thèse de Doctorat, Entomologie et écologie Tropicale. Toulouse : Université Paul Sabatier, 1999, 376 p. + annexes.
- JOURDAN H., SADLIER R.A., BAUER A. Little fire ant invasion (*Wasmannia auropunctata*) as a threat to New Caledonian lizards: evidence from a sclerophyll forest (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*, 2001, vol. 38, p. 283-301.
- JOURDAN H., CHAZEAU J., BONNET DE LARBOGNE L. The recent introduction of the neotropical tramp ant *Wasmannia auropunctata* (Roger) into Vanuatu Archipelago (Southwest Pacific). *Sociobiology*, 2002, vol. 40, p. 483-509.
- KOLAR C.S., LODGE D.M. Progress in invasion biology: predicting invaders. *Trends in Ecology & Evolution*, 2001, vol. 16, p. 199-204.
- KORZUKHIN M.D., PORTER S.D. THOMPSON L.C., WILEY S. Modeling temperature-dependent range limits for the fire ant *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) in the United States. *Environmental Entomology*, 2001, vol. 30, p. 645-655.
- LE BRETON J. *Étude des interactions entre la fourmi Wasmannia auropunctata* (Roger) 1863 et la myrmécofaune : comparaison d'une situation d'invasion en milieu insulaire (Nouvelle-Calédonie) avec la situation observée dans la zone continentale d'origine

- (Guyane/Amazone). Thèse de Dotorat, Biologie des organismes. Toulouse : Université Paul Sabatier, 2003, 231 p.
- LODGE D.M. Biological invasions: lessons for ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 1993, vol. 8, p. 133-137.
- LOWE S., BROWNE M., BOUDJELAS S. 100 of the world's worst invasive alien species. *Aliens*, 2000, vol. 12, Suppl., p. 1-12.
- LUBIN Y.D. Changes in the native fauna of the Galapagos Islands following invasion by the little red fire ant, *Wasmannia auropunctata*. *Biological Journal of Linnean Society*, 1984, vol. 21, p. 229-242.
- MACK R.N., SIMBERLOFF D., LONSDALE W.M., EVANS H., CLOUT M., BAZZAZ A. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences and control. *Ecological Applications*, 2000, vol. 10, p. 689-710.
- MACARTHUR R.H., WILSON E.O. *The theory of island Biogeography*. Princeton : Princeton University Press, 1967, 209 p.
- MAÏROUCH N. *Fourmis introduites par l'homme en milieu océanien : importance et perception d'un phénomène invasif en Nouvelle-Calédonie*. DEA ADen. Orléans : Université d'Orléans, 2002, 136 p.
- MEIER R.E. Coexisting patterns and foraging behavior of introduced and native ants (Hymenoptera Formicidae) in the Galapagos islands (Ecuador). In : WILLIAMS D.F. ED. *Exotic ants: Biology, impact, and control of introduced species*. Boulder : Westview Press, 1994, p. 44-62.
- MINISTRY FOR THE ENVIRONMENT, New Zealand Republic. *Biosecurity Act du 26 août 1993*. NZ Reprint Series Volumes, 38, 1993, p. 139.
- MORRISON L.W., PORTER S.D., DANIELS E., KORZUKHIN M.D. Potential global range expansion of the invasive fire ant, *Solenopsis invicta*. *Biological Invasions*, 2004, vol. 6, p.183-191.
- OMC, 1998. *Mesures sanitaires et phytosanitaires : Comprendre l'Accord de l'OMC sur les mesures sanitaires et phytosanitaires* [en ligne]. Disponible sur : http://www.wto.org/french/tratop_f/sps_f/spsund_f.htm (consulté le 17.05.2004).
- PIMENTEL D., LACH L., ZUNIGA R., MORRISON D. Environmental and economic costs associated with non-indigenous species in the United States. *BioScience*, 2000, vol. 50, p. 53-65.
- PIMENTEL D., MCNAIR S., JANECKA J., WIGHTMAN J., SIMMONDS C., O'CONNELL, C., WONG V, RUSSEL L., ZERN J., AQUINO T., TSOMONDO T. Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2001, vol. 84, pp. 1-20.
- SHEA K., CHESSON P. Community ecology theory as a framework for biological invasions. *Trends in Ecology & Evolution*, 2002, vol. 17, p. 170-176.
- VITOUSEK P.M., D'ANTONIO C.M., LOOPE L.L., WESTBROOK R. Biological invasions as global environmental change. *American Scientist*, 1996, vol. 84, p. 468-478.