

QUESTION 3

Probabilité d'invasion biologique et environnement local

Alban THOMAS¹, Andy SHEPPARD², Estelle GOZLAN³

¹ INRA / LERNA, Université des sciences sociales, 21, allée de Brienne - 31000 Toulouse –
Courriel : Thomas@toulouse.inra.fr

² CSIRO Entomology, GPO Box 1700, Canberra, ACT 2601, Australia – Courriel : Andy.sheppard@csiro.au

³ INRA / INA-PG - Économie Publique, BP 01 - 78850 Grignon – Courriel : Esgozlan@grignon.inra.fr

Résumé

Nous identifions, pour les espèces décrites comme menaçantes dans le contexte de la Nouvelle-Calédonie, les caractéristiques locales de l'environnement et du système de surveillance identifiées comme essentielles pour évaluer la probabilité d'invasion dans le contexte néo-calédonien. Il s'agira de présenter la succession d'évènements conduisant à un envahissement du milieu (importation volontaire ou non, installation, propagation durable, etc.) et de mettre en lumière les points de contrôle possibles associés à chaque étape du processus de l'invasion. Cette note tient compte en particulier de la situation « en bout de chaîne » des îles de l'archipel dans leurs relations avec la Grande Terre. Sur la base de la littérature existante et des données disponibles (économiques, commerciales) pour la Nouvelle-Calédonie, nous proposons une liste des voies d'introduction et des facteurs de propagation particulièrement préoccupants. Les différentes étapes d'un processus d'invasion comprennent l'introduction, l'établissement et la propagation. Les différents facteurs liés à l'environnement humain et naturel sont discutés dans la première section, en insistant

sur l'importance de la prise en compte de l'hétérogénéité des situations, ainsi que sur l'importance différenciée de ces facteurs selon l'étape du processus d'invasion. L'évaluation de la probabilité d'invasion est ensuite discutée sur la base de la littérature existante. Dans la littérature, la majorité des articles se concentrent sur l'évaluation de la probabilité d'introduction, en relation avec les flux commerciaux (importations) et de passagers (tourisme). En conséquence, les performances des moyens d'action proposés pour réduire l'introduction d'espèces pourront être plus facilement évaluées que des mesures d'éradication par exemple, sur la base de travaux réalisés dans d'autres pays. Les points de contrôle possibles sont présentés, en relation avec les grands types d'action possibles : interdiction/prévention, contrôle et éradication. Cette approche par les points de contrôle est inspirée de l'approche HACCP, recommandée par les grands organismes internationaux pour le contrôle d'autres risques (sanitaires notamment) lorsque la sécurité dépend d'une chaîne d'évènements. On procède ensuite à une revue de la littérature sur l'évaluation des probabilités d'invasion, selon les régions du monde : Australie, Nouvelle-Zélande, Hawaii, Afrique du Sud, etc. Les implications pour le cas de la Nouvelle-Calédonie sont présentées, en reprenant les facteurs locaux influençant les probabilités d'invasion, et les avantages et les inconvénients des points de contrôle possibles. Nous concluons que les invasions involontaires par voies d'entrée commerciales (containers) sont associées à des probabilités non négligeables en raison de l'insuffisance des moyens de contrôle néo-calédoniens à la frontière. De plus, la probabilité d'invasions par introduction volontaire de la part de particuliers, ou de pépiniéristes, est particulièrement forte et nécessite une remise à niveau rapide des dispositifs de contrôle des envois postaux en particulier. Enfin, la fragmentation du territoire, la structure des exploitations agricoles, et le fait que la Nouvelle-Calédonie soit constituée en archipel sont autant de facteurs indiquant que la probabilité d'établissement et de propagation est relativement élevée.

Introduction

L'intrusion d'espèces envahissantes dans un écosystème préexistant est souvent appréhendée par les économistes des ressources naturelles et de l'environnement comme un type particulier de pollution. En d'autres termes, que l'invasion biologique ait une cause volontaire liée à l'activité économique (usage de l'espèce à des fins commerciales, par exemple) ou involontaire (tourisme, commerce international), un dommage est généralement engendré par cette invasion. Nous définirons le risque d'invasion comme la probabilité d'aboutissement d'un processus complet, de l'introduction de l'espèce à sa propagation, en passant par son établissement, et conduisant à un dommage environnemental caractérisé (c'est-à-dire identifié). À la différence d'autres risques environnementaux (accident industriel, catastrophe naturelle) dont l'occurrence est plus brutale et les effets plus immédiats, l'évaluation du risque associé à une invasion doit intégrer la capacité de l'écosystème récepteur à absorber les « chocs » liés aux introductions, sur une période relativement longue. Cette capacité est affectée par des choix issus en partie des circonstances économiques locales, d'où la nécessité de tenir compte de facteurs à la fois biologiques et économiques. Plus précisément, la succession d'évènements conduisant à un envahissement du milieu récepteur doit être analysée avec, pour chaque étape du processus, la probabilité associée ainsi que les caractéristiques locales du milieu.

Un autre aspect important distingue les invasions biologiques d'autres phénomènes de pollution traités par les économistes : le fait que des dommages *a priori* très élevés soient associés à une probabilité d'occurrence très faible. On parle alors de risques catastrophiques, apparentés à des épisodes naturels extrêmement rares (irruptions volcaniques, tsunamis, catastrophes industrielles du type Seveso) pour lesquels l'aptitude à probabiliser peut être remise en cause.¹

Une difficulté tient à la définition retenue ci-dessus concernant l'invasion d'espèces exotiques. En effet, le caractère discret (dichotomique) de l'évènement, à savoir invasion ou non-invasion comme processus durable, ne permet pas de prendre en compte la graduation des dommages comme fonction de l'ampleur de l'invasion. Une autre possibilité serait alors de considérer une valeur seuil de la probabilité d'invasion, au-delà de laquelle les dommages environnementaux seraient considérés comme significatifs. L'on ne s'intéressera alors non pas à la probabilité d'invasion *stricto sensu*, mais à l'évènement pour lequel « la probabilité que les dommages soient supérieurs à X % est supérieure à Y % ». Nous reviendrons sur ce point plus tard.

Dans la démarche retenue ici, on présentera les étapes successives du processus de l'invasion afin d'identifier les acteurs économiques, les facteurs et les contextes à risque, et éventuellement afin de mettre en évidence des points critiques (méthode HACCP) en vue d'un meilleur contrôle. Cette approche linéaire, même si elle souffre

¹ Dans les cas extrêmes d'occurrence trop rare, voire inexistante, on parlera alors d'incertitude plutôt que de risque, cette dernière notion faisant référence à des évènements probabilisables mobilisant des distributions statistiques « régulières ».

d'une schématisation réductrice, nous semble acceptable étant donné la nature de la Nouvelle-Calédonie comme milieu récepteur (archipel possédant une île principale).

Les différentes étapes du processus d'invasion biologique peuvent être résumées de la façon suivante. Tout d'abord, l'introduction de l'espèce dans le milieu, de façon volontaire ou non, constitue la condition initiale du processus ; elle a majoritairement une origine humaine. La deuxième étape réside dans l'établissement ou la naturalisation, et est tributaire du degré de résistance et d'acclimatation de l'espèce. La troisième et dernière étape de l'invasion est la propagation de l'espèce à partir de ses foyers d'établissement. Une action de contrôle est envisageable lors de chacune des trois étapes de ce processus, et des considérations autant techniques qu'économiques doivent être prises en compte pour juger de la pertinence de ces actions.

Analyse générale des processus d'invasion

Introduction de l'espèce dans le milieu

La première étape d'un processus d'invasion concerne l'introduction de l'espèce, volontaire ou non, *via* des vecteurs relativement nombreux (*pathways*). Burgiel et ses collaborateurs (2005) identifient par exemple 14 possibilités d'introductions volontaires directement dans l'environnement, 8 types d'introductions volontaires initialement contrôlées, et 17 voies d'introductions involontaires (Tableau 1). La nature de l'invasion joue de façon triviale un rôle déterminant dans la probabilité d'invasion, mais aussi dans le nombre et les caractéristiques des points de contrôle possibles. L'importance de cette distinction est également majeure d'un point de vue économique : comme on le verra dans la suite, une invasion volontaire obéit bien souvent à des considérations économiques ou commerciales directes, c'est-à-dire que l'introduction vise à combler un manque ou à satisfaire un besoin ressenti par une population ou par des acteurs locaux du milieu envahi. L'introduction possède par conséquent une valeur liée à son usage ultérieur qu'il est relativement aisé de quantifier (chiffre d'affaires attendu, etc.). Par opposition, une introduction involontaire ne correspond que rarement à un besoin exprimé par la population locale (ou le milieu) ; même si l'on ne peut pas exclure un aspect bénéfique à terme d'une introduction involontaire, le principe de rationalité devrait plutôt permettre de classer ce type d'introductions dans la catégorie de celles engendrant des dommages environnementaux².

² Si une espèce exotique ne crée pas de dommages environnementaux (connus) et correspond à un besoin local, une filière d'approvisionnement se serait déjà mise en place, à moins d'un coût de livraison à l'utilisateur final dépassant l'utilité associée à cette espèce.

Tableau 1 : Exemples de vecteurs d'introduction d'espèces envahissantes

Introductions volontaires		Introductions involontaires
Introductions directes dans l'environnement	Introductions en captivité / endiguement	
Agriculture	Evasion de jardins botaniques ou privés	Bâtiments, véhicules (terre, air, mer)
Forêt	Zoos	Ballasts
Amélioration du sol	Élevage animal	Nettoyage de coques (marine)
Horticulture	Apiculture	Fret maritime
Préservation de l'environnement	Aquaculture	Containers maritimes
Lâchers de poissons	Commerce d'animaux de compagnie	Bagages / équipements personnels
Chasse et pêche	Autres commerces (aquarium, horticulture d'étangs, etc.)	Produits agricoles
Lâcher de mammifères comme source de nourriture	Unités de recherche	Contaminants des semences
Contrôle biologique		Terre, gravier, sable, etc.
Aide alimentaire		Bois
Contrebande		Matériel d'emballage
Usages religieux, esthétiques, médicaux		Equipements, machines et véhicules souillés (militaires, construction)
		Courrier postal
		Déchets solides
		Aquaculture (parasites, maladies)
		Fleurs coupées
		Jardineries commerciales

Source : Burgiel et al., 2005

Des introductions involontaires peuvent se produire en association avec la plupart des vecteurs ou des voies mentionnées dans la liste des introductions volontaires. Un vecteur, ou une voie (*pathway*) au sens large, est défini ici comme le moyen (véhicule), le but ou l'activité (agriculture, horticulture), ou le produit (bois) par lequel une espèce exotique peut être convoyée vers une nouvelle localisation, volontairement ou non.

Introductions volontaires

Les introductions volontaires, au vu de la discussion précédente, seront donc perçues comme associées à des activités humaines permettant aux populations et/ou utilisateurs locaux de bénéficier des propriétés des espèces introduites. Le premier type d'activités appartient à la catégorie « intérêt économique » et concerne plutôt des activités mobilisant les espèces introduites comme des facteurs de production ou de recherche et développement. L'agriculture, l'horticulture, l'industrie biotechnologique et la recherche agronomique sont des exemples importants, en tant que secteurs de production à part entière, mais aussi en raison du volume d'introduction d'espèces en jeu. En Nouvelle-Zélande par exemple, on estime à 75 % la proportion de mauvaises herbes (*weeds*) menaçant l'environnement et introduites pour usage horticole (Sherley et Lowe, 2000). Dans ce premier type d'activités, il faut également mentionner l'introduction d'espèces végétales avec un objectif louable : celui de créer un milieu sauvage protégé (pour exemple, les *mangrove trees* sur l'île Rodrigue dans l'océan Indien).

La deuxième catégorie d'introductions volontaires concerne les activités de « loisirs » (animaux de compagnie, jardinage, tourisme). L'échelle des activités, surtout individuelles et parfois collectives, reste modeste et l'usage des espèces introduites cantonné à une satisfaction finale (par opposition à la première catégorie où ces espèces

servaient de facteurs de production). Cependant, le comportement conduisant à des introductions volontaires comporte par la suite un risque non négligeable de dissémination accidentelle (culture de plantes en espace non confiné) ou volontaire (abandon ou élimination d'animaux), s'agissant d'individus peut être moins responsables. Cette hypothèse peut ainsi être motivée par une connaissance peut-être plus limitée des risques liés à certaines espèces de la part de particuliers, plutôt que de la part d'entreprises spécialisées.

La dernière catégorie d'introductions volontaires d'espèces est heureusement beaucoup rare : il s'agit d'actes de malveillance ou de sabotage, par exemple le bio-terrorisme³. Si les espèces végétales sont *a priori* moins concernées que les espèces animales et les substances chimiques ou radioactives, cela tient en partie à la volonté dans ce cas d'introduire des espèces dont les pouvoirs de nuisance sont reconnus, en particulier par la population dans le cas du bio-terrorisme.

Les points de contrôle associés à des introductions volontaires sont de loin les plus simples à imaginer et à mettre en place, dans la mesure où la bonne foi des « importateurs » est moins à mettre en cause (sauf dans le cas de la contrebande). Les introductions associées à des activités économiques (première catégorie ci-dessus), étant donné leur volume et leurs canaux de transmission plus institutionnalisés, peuvent faire l'objet d'un passage par un point de contrôle douanier à l'entrée du territoire. La constitution de listes « blanche », « noire » ou « grise » (éléments dont le passage dans la liste blanche / noire est soumis à des vérifications ou des demandes d'informations supplémentaires, des conditions particulières, etc.) permet dans ce cas de rejeter, définitivement ou temporairement lors de l'importation commerciale, une espèce jugée non souhaitable (méthode de quarantaine).

Les introductions volontaires à usage individuel ou collectif de loisirs (deuxième catégorie ci-dessus) suivent le même schéma que celles d'intérêt économique, mais leur échelle plus limitée peut rendre le contrôle plus hasardeux. Cela dépend du degré de connaissance par l'individu de la dangerosité des espèces introduites, et également de son comportement (éventuellement irresponsable). La diffusion de l'information sur les listes de produits concernés par la quarantaine peut s'accompagner par un contrôle aléatoire ou systématique, en fonction du personnel et des moyens techniques disponibles.

Introductions involontaires ou accidentelles

Comme mentionné par Burgiel et ses collaborateurs (2005), les vecteurs d'introduction involontaire des espèces incluent ceux liés aux introductions volontaires pour ce qui concerne les activités humaines. Il convient cependant d'en ajouter deux catégories : 1) les vecteurs liés à une activité humaine ne mobilisant pas l'espèce *a priori* ; 2) les vecteurs naturels.

Dans la première catégorie apparaissent les projets industriels ou miniers, par exemple, qui ne font pas appel à l'espèce à proprement parler mais qui peuvent favoriser son introduction *via*, notamment, l'introduction de main-d'œuvre immigrée

³ Voir le *Nosferatu* de F.W. Murnau (1922) pour une espèce introduite par bateau très particulière, les rats.

temporaire. Ces introductions involontaires sont vraisemblablement difficiles à détecter si le nombre d'employés migrants et/ou l'équipement contaminé est significatif. Pour de telles introductions, le point de contrôle est comparable à celui décrit précédemment pour les introductions volontaires, mais le mode de détection doit être adapté. En effet, les personnes et les marchandises importées sont susceptibles d'en être les vecteurs principaux, de façon relativement indépendante de l'activité finale. Par conséquent, ce type d'introduction est le plus aléatoire, dans la mesure où la destination économique des biens ou des personnes ne doit plus être le seul critère.

La seconde catégorie concerne des introductions plutôt accidentelles, tributaires de phénomènes naturels tels que les cyclones, les vents ou les marées. Bien entendu, la nature des invasions risque d'être bien plus limitante dans ce cas, se cantonnant ainsi à des espèces essentiellement végétales. Il apparaît difficile de proposer des points de contrôle pour un tel type d'introductions dont l'ordre de grandeur est en principe heureusement assez limité.

En résumé, le contrôle des espèces potentiellement envahissantes est d'autant plus aisé que leur introduction est volontaire et liée à une activité économique d'envergure (horticulture d'ornement, animaux, ou produits agricoles et commodités entrant dans des processus de fabrication industriels). L'introduction volontaire est par contre plus malaisée à contrôler si l'usage est individuel ou concerne de petits collectifs (tourisme, usage domestique, etc.). En ce qui concerne les introductions involontaires, le même type de critère s'applique, avec une difficulté croissante dans le décalage entre la destination finale des produits (ou des personnes) et la « vocation » de l'espèce envahissante.

Établissement (naturalisation)

Il est bien connu que, dans le processus d'invasion par une espèce exotique, la deuxième étape d'établissement est souvent caractérisée par un ralentissement de l'activité de reproduction de l'espèce, avant la phase finale de propagation. Cette deuxième étape est cruciale pour le processus d'invasion, constituant un moment d'adaptation avec le milieu naturel local. Mack et ses collaborateurs (2000) indiquent plusieurs facteurs explicatifs de cette latence, parmi lesquels la sélection naturelle favorisant des génotypes rares ou nouvellement créés en adaptation au nouvel environnement.

On peut distinguer deux sortes de facteurs favorisant l'établissement d'une espèce menaçante. La première catégorie de facteurs concerne l'environnement naturel et humain, la seconde les facteurs spécifiques à l'espèce et son mode d'introduction.

Facteurs liés à l'environnement naturel et humain

Un milieu accueillant à proximité du point d'entrée favorise naturellement l'établissement, d'autant plus que ce milieu est moins soumis à des mouvements humains ou à des épisodes climatiques inattendus. Le type de sol, les plantes-hôtes et la proximité climatique sont des exemples de tels facteurs.

Le fractionnement du milieu d'accueil joue également un rôle important, dans la mesure où ce dernier sert alors de zone refuge dont l'accès à d'autres espèces (l'homme,

en particulier) est difficile. De telles zones, relativement protégées de toute intrusion par la nature du terrain et/ou la nature limitée de l'occupation de l'espace par les activités humaines, favorisent l'établissement des espèces dont la survie suite à l'introduction peut être remise en cause. Des exemples d'établissements favorisés par un fractionnement du milieu incluent des obstacles naturels tels des bras de rivière ou de mer, des reliefs particuliers ou des sols particulièrement stériles. Bien entendu, si la probabilité d'établissement dépend de la présence d'un milieu fractionné, en contre partie il apparaît naturel de supposer que ce dernier ne sera pas un facteur important d'introduction : la difficulté d'accès favorise l'établissement mais ne favorise pas *a priori* l'introduction. Par contre, si l'invasion peut être provoquée par un effectif très réduit d'espèces à l'étape initiale, la probabilité d'établissement au final sera le produit d'une probabilité d'introduction faible et d'une probabilité d'établissement élevée pour ce type de milieu.

Enfin, le dernier type de facteurs est lié à l'environnement humain : la présence de contrôles autour du point d'entrée. Il s'agit ici de la charnière entre les deux premières phases de l'invasion : après l'introduction, mais avant le succès de l'établissement. Puisque la période de latence au cours de laquelle les espèces s'établissent dans un milieu favorable (et *a priori* protégé) est souvent longue, la probabilité de détection a de grandes chances d'être bien supérieure à celle obtenue lors de la phase d'introduction. Par conséquent, lorsque les espèces s'établissent à proximité des points d'entrée, pour lesquels la densité de population est vraisemblablement importante, la probabilité de l'établissement sera faible car celle de la détection sera importante. Par contre, pour les espèces s'établissant loin des points d'entrée, la probabilité d'établissement dépendra, pour ce qui est des facteurs humains, de l'intensité de l'activité économique et résidentielle, favorisant une détection plus rapide.

Facteurs liés à l'espèce introduite et à son mode d'introduction

On parle souvent de plasticité, ou « résilience », pour caractériser les espèces dont l'établissement est plus aisé. Meyer (2000) cite les facteurs suivants, souvent rencontrés dans les espèces particulièrement envahissantes :

- un taux de croissance rapide ;
- une maturité sexuelle précoce ;
- une forte capacité reproductive ;
- un pouvoir de dispersion effectif (par le vent, les oiseaux) ;
- une forte persistance des graines dans le sol ;
- une tolérance à une grande variété de conditions écologiques, en particulier pour la germination et la croissance.

La diversité génétique des individus introduits est un autre déterminant favorable de l'établissement (Williamson, 1996). La multiplicité des souches, par exemple, introduit une diversification supplémentaire des risques et accroît par conséquent la probabilité de succès de l'établissement. Il est à noter que cette diversité serait plutôt un facteur jouant à la baisse sur la probabilité d'introduction puisque des contrôles spécifiques sur des souches particulières ont alors plus de chances de détecter une invasion multi-formes.

Le caractère répété de l'introduction dans le milieu favorise certainement l'établissement, notamment pour des espèces plus fragiles ayant besoin d'une densité de population plus importante pour réussir leur établissement (Mack, 1995). Ceci vaut également en général pour des espèces dont la population introduite initiale est sensible à des chocs exogènes sur l'environnement ; la multiplication des sites d'introduction augmente alors la probabilité de survie de l'espèce par diversification des lieux et des conditions d'établissement.

Propagation

Selon plusieurs auteurs, la dernière étape de l'invasion, celle de la propagation, dépend autant de facteurs humains (ou naturels, mais accidentels) que de facteurs liés aux caractéristiques intrinsèques de l'espèce ou du milieu récepteur. Dans de nombreux cas répertoriés, c'est en réalité la combinaison d'un milieu favorable et d'un catalyseur exogène, sous la forme d'une modification du milieu par l'homme, qui conduit à la propagation.

Pour certaines espèces envahissantes végétales, la règle des « 3 x 10 », ou dite aussi des « un dixième », est recommandée par certains auteurs comme première approximation (Williamson et Fitter, 1997). Selon cette dernière, la probabilité de progression à l'étape suivante du processus d'invasion (de l'introduction à l'établissement, puis de l'établissement à la propagation) est égale à 10 %. Williams et ses collaborateurs (2000) considèrent cette règle comme une borne inférieure et préconisent plutôt celle du « une ou deux espèces menaçantes pour 100 introductions », ou *NZ rule*.

Facteurs liés à l'environnement (naturel et humain)

On a vu plus haut que des introductions répétées favorisent l'établissement des espèces ; il apparaît alors naturel de supposer qu'il en est de même pour la probabilité de propagation. Selon des modèles écologiques adaptés à certaines espèces (Mack, 1995), la propagation peut être causée par le dépassement de la densité maximale tolérable de l'espèce dans son milieu d'accueil. La propagation serait alors obtenue par l'abondance d'introductions de même type, dans le même milieu d'établissement.

La nature des voies de communication est un facteur plus important encore, surtout en ce qui concerne les espèces dont la phase d'établissement est courte. De façon assez triviale, ce facteur de propagation est opposé à celui du fractionnement pour la phase d'établissement d'espèces pour lesquelles cette dernière est longue. La construction de nouvelles voies de communication, l'aménagement résidentiel ou commercial, et la modification de l'occupation des sols en agriculture sont autant de facteurs de perturbation favorisant la propagation. Des facteurs humains plus ou moins accidentels, comme les incendies, sont également cités.

Facteurs liés à l'espèce

Si certains facteurs de propagation liés à l'espèce sont vraisemblablement identiques à ceux identifiés à la section « Facteurs liés à l'espèce introduite et à son mode d'introduction » ci-dessus, d'autres sont plus particulièrement liés à la probabilité de propagation. Des exemples sont fournis par Sherley et Lowe (2000) de l'utilisation

par les espèces envahissantes d'autres espèces (allochtones ou non) qui leur servent de véritables moyens de communication. Des cochons sauvages et des chèvres peuvent ainsi propager des semences suite à la consommation de plantes établies.

Les interactions avec des espèces locales pour un même taxon, en fonction des compatibilités génétiques, peuvent être considérées davantage comme des facteurs de propagation que d'établissement. Il convient d'ajouter à ce phénomène la possibilité d'hybridation (augmentation de la diversité génétique conduisant à un taux de reproduction ou de résistance supérieur). Williams et ses collaborateurs (2000) discutent de telles probabilités dans le cas de la Nouvelle-Zélande.

Évaluation des probabilités d'invasion

De nombreuses références bibliographiques traitent de l'évaluation des probabilités d'invasion, ou d'introduction comme première étape d'un processus plus complexe d'invasion (voir quelques exemples chapitre suivant). La grande majorité des travaux existants se concentrent sur des espèces particulièrement représentatives, ou associées à un dommage environnemental ou économique majeur, et/ou sur des milieux spécifiques. Il existe trois catégories de modèles : 1) ceux basés sur des critères géographiques, climatiques et/ou biophysiques ; 2) ceux utilisant des équations « gravitaires » corrélant l'effectif d'espèces envahissantes découvertes avec des données commerciales et économiques ; 3) ceux utilisant des données réelles d'inspection.

Dans la première catégorie, on peut mentionner les résultats d'un modèle d'invasion à grande échelle pour la fourmi rouge, décrit par Morrison et ses collaborateurs (2004). Utilisant des données essentiellement climatiques, les auteurs prédisent la probabilité d'invasion de cette espèce pour l'ensemble des pays du globe, y compris les îles et archipels. De tels modèles évacuent l'influence des vecteurs d'introduction mais peuvent intégrer des considérations relatives à l'établissement et à la propagation des espèces.

Par opposition, les modèles de la seconde catégorie ne s'intéressent qu'aux déterminants de l'introduction tels que le volume cumulé de marchandises importées, la taille du pays, la densité de population, etc. Le modèle de Dalmazzone (2000) constitue une version très simplifiée d'un type de modélisation gravitaire dont les paramètres sont estimés à partir d'un échantillon d'une trentaine de pays.

La troisième catégorie de modèles procède souvent d'une échelle plus fine, et pour des espèces dont le mode d'introduction est fortement spécifique (coques de bâtiment, palettes en bois, ballasts de navires, etc.)

De façon générale, plusieurs critères peuvent être avancés pour évaluer la probabilité d'invasion :

- La probabilité d'invasion est croissante avec le volume cumulé d'importations de marchandises et du trafic passager.

Ce critère concerne la probabilité d'introduction (première étape du processus). Outre les déterminants quantitatifs, tels le volume de produits importés et le nombre de

passagers, il importe de tenir compte de la provenance des biens et marchandises, ainsi que de la fréquence d'arrivée. Concernant les contrôles douaniers à la frontière entre les États-Unis et le Mexique, la probabilité de détection est fortement corrélée avec le mode de transport utilisé et avec le pays d'origine (Work *et al.*, 2005). Quant à la fréquence des échanges, ce déterminant doit être comparé aux possibilités de contrôle et de détection locales, en particulier lors des périodes de pointe.

- La probabilité d'invasion décroît dans le temps avec celle d'invasion des autres milieux ou pays similaires.

Ce critère vaut pour les trois étapes du processus d'invasion. En effet, une espèce ayant envahi des milieux comparables et n'ayant pas encore envahi le milieu considéré aura d'autant moins de chances de le faire dans le futur. Ce critère, évoqué par Costello et ses collaborateurs (2005) dans le cadre général des grands pays industrialisés, vaut moins pour la zone Pacifique dont le développement économique est plus récent. L'accélération du commerce international avec des partenaires diversifiés doit permettre de moduler ce critère qui reste cependant intéressant à considérer dans le cas d'échanges répétés avec des partenaires commerciaux bien identifiés, et pour des biens de nature similaire.

- La probabilité d'invasion est positivement corrélée avec le degré de similitude entre les principaux partenaires commerciaux et le pays importateur.

On a affaire ici avec les deux dernières étapes du processus d'invasion (établissement et propagation). Les interactions entre les espèces exotiques et le milieu jouent bien entendu le rôle principal, mais les activités humaines ne doivent pas être négligées. Par exemple, l'existence d'infrastructures (routières, aménagements résidentiels particuliers) propices à la diffusion des espèces et similaires des deux côtés (partenaire commercial et milieu récepteur) peut contribuer à favoriser l'établissement et/ou la propagation des espèces envahissantes.

- Les produits intermédiaires sont plus susceptibles de favoriser la propagation d'espèces envahissantes que les produits finis destinés à être utilisés ou consommés rapidement. On peut citer dans cette catégorie les végétaux tels les pousses et les bulbes destinés à être (re-)plantés localement, par exemple.
- La probabilité de propagation dépend du nombre de perturbations exogènes causées au milieu d'établissement (événements climatiques et naturels, aménagements routiers ou miniers, déforestation, etc.)

Ce dernier critère a été présenté plus haut comme relativement indépendant des traits génétiques des espèces, mais pouvant dépendre de vecteurs de propagation locaux (espèces locales, matériel routier, etc.).

Les points de contrôle possibles

Les trois grandes catégories de mesures utilisées dans le contrôle des invasions biologiques sont :

- 1) l'interdiction, la prévention et le traitement pour la phase d'introduction ;

- 2) la détection sur le terrain pour l'établissement ;
- 3) l'éradication (ou le contrôle) pour la phase de propagation.

Si ces trois types de mesures sont impuissants à éradiquer l'invasion, la dernière solution, qui n'est alors plus du ressort du contrôle, réside dans la mitigation, à savoir l'adaptation du milieu par des mesures appropriées. La définition d'une liste de points de contrôle vise à proposer une structure permanente de surveillance concernant essentiellement le point 1) ci-dessus, et éventuellement le point 2).

Mentionnons tout d'abord que la définition de points de contrôle, dans une problématique d'évaluation et de prévention d'invasions biologiques, est compatible avec le système HACCP (*Hazard Analysis Critical Control Point*). Le système HACCP fournit un cadre adapté à une politique de suivi des risques d'invasions biologiques, assise sur une évaluation des risques d'introduction, d'établissement et de propagation. En effet, l'adoption du système par le comité du *Codex Alimentarius* correspond à une volonté de surveillance exhaustive de l'ensemble d'un système alimentaire, de la production au consommateur final.

L'approche HACCP est recommandée par l'OMS et la FAO en ce qui concerne l'évaluation des risques alimentaires et sanitaires. Le système HACCP permet d'identifier le ou les dangers spécifiques, de les évaluer et d'établir les mesures pour les maîtriser. Le système repose sur les sept principes suivants :

- Principe 1 - Procéder à une analyse des risques en identifiant et en évaluant le ou les dangers éventuels associés à la production alimentaire, à tous ses stades, depuis la culture ou l'élevage jusqu'à la consommation finale, en passant par le traitement, la transformation et la distribution. Évaluer la probabilité d'apparition du ou des dangers et identifier les mesures nécessaires à leur maîtrise.
- Principe 2 - Déterminer les points critiques pour la maîtrise des dangers.
- Principe 3 - Établir la (les) limite(s) critique(s) à respecter pour s'assurer que le CCP (ou Point critique de contrôle) est maîtrisé.
- Principe 4 - Établir un système de surveillance permettant de s'assurer de la maîtrise du CCP grâce à des tests et à des observations programmés.
- Principe 5 - Établir les actions correctives à mettre en oeuvre lorsque la surveillance révèle qu'un CCP donné n'est pas maîtrisé.
- Principe 6 - Établir des procédures pour la vérification, incluant des tests et des procédures complémentaires, afin de confirmer que le système HACCP fonctionne efficacement.
- Principe 7 - Établir un système documentaire concernant toutes les procédures et les enregistrements appropriés à ces principes et à leurs applications.

Dans la partie qui nous concerne ici, les principes 1 et 2 sont les plus importants. Nous allons détailler les principaux points de contrôle possibles.

Point de contrôle avant la frontière

De tels points de contrôle concernent les chargements importés, et dont les exportateurs peuvent fournir une certification relative à l'absence d'espèces envahissantes. La consultation de listes d'espèces fournies par le pays importateur constitue une autre possibilité intéressante. Ce premier point de contrôle transfère la charge de l'inspection et de la vérification au pays exportateur, ce qui entraîne inévitablement des coûts plus élevés pour le consommateur final dans le pays importateur. Par contre, un tel système « *pre-border* » est vraisemblablement la meilleure forme de prévention, car il permet de pallier le manque d'équipement et/ou de personnel douanier.

Point de contrôle à la frontière

Dans le cas où des points de contrôle avant la frontière ne sont pas mis en place ou ne sont pas suffisamment efficaces, le second point de contrôle est constitué des installations douanières du pays importateur. À ce niveau de point de contrôle, des espèces envahissantes peuvent être détectées et éventuellement refusées conjointement à leur chargement ou moyen de transport d'accueil. Il s'agit bien entendu du point de contrôle le plus utilisé en pratique, avec des autorisations douanières, des inspections et des procédures de quarantaine.

En plus de ces dispositifs douaniers traditionnels, certains pays adoptent des mesures plus strictes à la frontière. En Argentine, par exemple, une évaluation d'impact environnemental est exigée pour l'introduction d'une nouvelle espèce. En Nouvelle-Zélande, l'importateur doit remplir une déclaration mentionnant en particulier, outre l'identité de l'espèce, si elle a fait l'objet d'une demande d'importation dans d'autres pays ainsi que le résultat de ces demandes, une évaluation du risque environnemental et son usage attendu dans le pays. La demande est alors examinée par l'organisme de gestion du risque environnemental (*Environmental Risk Management Authority*) qui se base sur l'impact attendu sur les espèces autochtones, les habitats naturels et les impacts environnementaux et de santé humaine.

Un point particulier concerne le contrôle des courriers et paquets postaux pouvant contenir des graines et autres semences utilisées en horticulture. Les destinataires commerciaux et particuliers peuvent, comme mentionné plus, utiliser le développement rapide d'Internet pour effectuer leurs commandes, et les envois ne mentionnent pas nécessairement la nature du produit. Par conséquent, un point de contrôle fondamental dans le dispositif de prévention concerne les services postaux (généralisation des systèmes de détection par rayons X, formation du personnel). En effet, si les importations pour usage commercial peuvent *a priori* être contrôlées *ex post* (après la frontière), cela est pratiquement impossible en ce qui concerne les particuliers.

Point de contrôle post-introduction (ou post-frontière)

Ce type de points de contrôle concerne les espèces introduites, par importation. Certaines espèces peuvent se révéler relativement inoffensives dans une région particulière du pays, mais potentiellement envahissantes dans d'autres, avec des conditions écologiques différentes.

Les points de contrôle post-frontière sont *a priori* gérés par des instances locales différentes de celles concernées par les mesures à la frontière, c'est-à-dire par des autorités régionales ou provinciales plutôt que nationales. Deux types de points de contrôle sont généralement proposés :

- ceux concernant des projets de nouvelles infrastructures (routes, exploitations minières, etc.) ;
- ceux associés à des réserves, parcs naturels ou autres zones protégées.

Ces points de contrôle ne doivent pas être confondus avec des procédures d'inspection sur le terrain, aux abords des routes par exemple, dont le but est d'identifier l'existence ou la propagation d'espèces ayant échappé aux différents contrôles mentionnés ci-dessus.

Dans la mesure où les invasions biologiques sont associées à des coûts environnementaux et économiques majeurs, et que les coûts d'éradication peuvent être bien plus importants que ceux d'inspections et de surveillance, il semble raisonnable d'adopter des politiques de contrôle mettant l'accent sur les phases initiales du processus d'invasion, à savoir l'introduction et l'établissement. D'un autre côté, le fait que la probabilité de détection et d'invasion puisse être très faible pourrait militer en faveur de politiques d'éradication, la probabilité d'observation d'une invasion à un stade final du processus étant bien supérieure.

La probabilité de propagation dépendant souvent, comme on l'a vu, de « chocs » sur le milieu naturel (événements climatiques extrêmes, aménagement urbain ou routier, installations minières, etc.). Aussi des points de contrôle autour des nouvelles installations minières et des principaux chantiers sont indispensables. En ce qui concerne les axes routiers, il apparaît difficile de proposer des points de contrôle particuliers, des inspections (visuelles) ponctuelles étant plutôt adaptées à ce type d'aménagement. Ceci vaut également pour la probabilité de propagation à proximité des jardinerie et pépiniéristes, le commerce de détail étant un facteur de dispersion très rapide des espèces à partir du point d'approvisionnement.

Comparaison avec d'autres pays

Nous présentons ici un bref survol de la littérature consacrée aux probabilités d'invasion dans d'autres pays. La majorité des travaux académiques, ou provenant d'organismes et d'associations, concernent le monde anglo-saxon (États-Unis, en particulier).

La Nouvelle-Zélande, l'Australie et le Pacifique Sud

Nouvelle-Zélande

Williams et ses collaborateurs (2000) rapportent des statistiques de détection de semences et « *nursery stock* » lors de saisies par les douanes néo-zélandaises en 1997. Pour les semences et graines, 20 % provenaient d'Asie du Sud-Est, et 69 % étaient

contenues dans des valises transportées par avion, contre 26 % par paquet postal. En ce qui concerne les « *nursery stock* », 84 % voyageaient dans des bagages en soute, 10 % par paquet postal, et 19 % provenaient des îles du Pacifique, contre 23 % d'Australie. La proportion d'introductions non déclarées (considérées par conséquent comme involontaires, ou volontaires mais en contrebande) atteignait 45 % pour les semences et graines en provenance d'Europe et d'Amérique Latine, contre 37 % pour l'Asie du Sud-Est et l'Australie (19 % pour l'Amérique du Nord). En ce qui concerne les « *nursery stock* », 46 % des saisies en provenance d'Asie du Sud-Est n'étaient pas déclarées (57 % en provenance du Moyen-Orient). Le nombre de saisies est beaucoup plus limité pour les cargos maritimes et aériens et pour les navires. Les auteurs calculent ensuite la proportion annuelle de saisies dans les bagages des passagers débarquant en Nouvelle-Zélande en 1998. Concernant les graines et les semences, le nombre de saisies pour 1 000 arrivées (passagers) est égal à 1,2 (pour les saisies déclarées), et à 0,7 (pour les saisies non déclarées). En ce qui concerne les « *nursery stock* », et toujours pour 1 000 arrivées, ces chiffres sont de 0,4 et de 0,2, respectivement. Il est à noter que les plus fortes proportions de saisies, correspondant ou non à des déclarations, sont associées aux îles du Pacifique et à l'Asie du Sud-Est (4,1 déclarées et 2,5 non déclarées, par exemple, pour les semences et graines).

Australie

Bomford (2003) discute de l'évaluation du risque d'invasion par les mammifères terrestres et par les oiseaux en Australie. Cet auteur présente des listes d'introductions d'espèces considérées ou non comme nuisibles, dont l'invasion a été ou non réussie. Ainsi, 42 % des oiseaux et 69 % des mammifères introduits ont réussi à s'établir en Australie. Sur ces espèces introduites, 75 % des mammifères, et 45 % des oiseaux exotiques (voire 80 % si 7 espèces considérées comme « dormantes » deviennent plus abondantes) étaient considérés comme nuisibles.

Hayes et ses collaborateurs (2005) étudient la probabilité de détection d'espèces introduites via le commerce maritime. Les auteurs comparent différentes méthodes d'échantillonnage et de détection (visuelle, etc.) et d'habitat, avec pour modèle la moule verte asiatique (*Asian Green Mussel, P. viridis*). Il s'agit de l'une des rares publications contenant une liste très détaillée des coûts de contrôle et d'inspection.

Groves et Hosking (1997) présente un bilan de l'invasion de « *weeds* » en Australie sur la période 1971-1995. Son étude conclut que la majorité (515 espèces, environ 70 %) des espèces naturalisées proviennent d'introductions volontaires, la plupart (359 espèces) à des fins ornementales (horticulture). L'auteur impute la majeure partie de ces invasions à des procédures de quarantaine défectueuses, la majorité des introductions ayant été effectuées de façon légale. Par exemple, le *Spathodea campanulata* a été introduit en 1992, en provenance d'Afrique. Des données de coût d'éradication sont fournies pour certaines espèces.

Autres exemples (États-Unis, Afrique du Sud, Japon)

Hawaii

Le rapport de l'OTA (1993) (*Office for Technological Assessment*) mentionne Hawaii comme l'État le plus menacé par les espèces envahissantes. Hawaii cumule en

effet plusieurs facteurs défavorables : un nombre exceptionnel d'espèces introduites, une proportion importante d'espèces autochtones menacées, en voie d'extinction ou déjà éteintes. Au début des années 1990, environ 10 espèces d'insectes et autres espèces d'arthropodes ont été introduites annuellement (18 par an en moyenne entre 1937 et 1987). La culture principale, la canne à sucre, ainsi que les plantations d'arbres fruitiers sont également touchées par des invasions de rongeurs et de parasites (*Ehsmopalpus lignosellus*, par exemple). En ce qui concerne les plantes ornementales, plusieurs centaines d'espèces non-indigènes ont été introduites et se sont propagées. Les passagers par avion des États-Unis constituent le vecteur d'introduction le plus important en ce qui concerne les insectes et les animaux vivants (27 % des introductions de cette catégorie d'espèces, contre 23 % par paquets postaux et 18 % par les arrivées de voyageurs internationaux). L'afflux de touristes entraîne également, de façon plus indirecte, une cause d'invasion d'espèces végétales *via* l'aménagement de terrains de golf utilisant des semences importées (« *yellow sugarcane aphid* », par exemple). Enfin, l'importation de vertébrés est significative, conduisant souvent à des invasions après abandon ou évasion des espèces dans la nature (lapins, oiseaux, reptiles).

États-Unis

Levine et D'Antonio (2003) estiment le risque d'invasions biologiques (insectes, plantes et mollusques) en relation avec les flux du commerce international. Le modèle le plus conservateur prédit tout de même des augmentations du nombre d'espèces exotiques introduites de l'ordre de 4 % pour les mollusques, 3 % pour les plantes et 6 % pour les insectes, sur la période 2000-2020.

Le taux d'introduction d'espèces a été estimé à partir du fichier des découvertes (*discovery record*), dans l'estuaire de San Francisco (Solow et Costello, 2004 ; Costello et al., 2005). Le taux moyen d'introduction est estimé aux alentours de 2,3 par an en 1995, contre 0,3 en 1850.

Bartell et Nair (2004) considèrent le cas d'*Anoplophora glabripennis* (*Asian longhorned beetle*), introduite aux États-Unis *via* des palettes en bois brut non traité. Un modèle démographique décrivant la probabilité de survie de l'espèce lors des différentes phases de son développement est proposé, sous la forme de chaînes de Markov. Ils estiment également le pourcentage de réduction du risque d'invasion suite à un traitement thermique. La probabilité d'établissement dépend de façon critique du taux d'arrivée mensuel d'adultes dans la population de l'espèce : la probabilité qu'une population de 1 000 individus réussisse à s'établir est quasi-nulle si le taux d'arrivée d'adultes est inférieur à 20 par mois, mais elle tend rapidement vers 1 lorsque cette proportion dépasse 20 adultes par mois.

Work et ses collaborateurs (2005) considèrent que le taux d'introduction des insectes aux États-Unis est lié au commerce international. Leur cas d'application concerne les échanges transfrontaliers entre le Mexique et les États-Unis, et utilise les résultats du système d'inspection AQIM (*Agricultural Quarantine Inspection Monitoring*) de l'USDA. La fréquence la plus élevée de détection d'une espèce (quelconque) concerne les cargos réfrigérés (1 / 50). En ce qui concerne les modes d'acheminement non réfrigérés, les taux sont plus faibles : 1 / 130 pour les cargos maritimes, 1 / 204 pour les cargos agricoles aériens, et 1 / 370 pour les cargos agricoles terrestres. La décomposition des détections par type de produit importé et par mode de

transport fait apparaître de fortes disparités. Par exemple, la plupart des interceptions d'insectes dans le cas de cargo aérien concerne les fleurs coupées, et pour le cargo terrestre, 75 % des interceptions concernent des plantes ornementales.

Finnoff et Tschirhart (2005) utilisent un modèle de similitude physiologique, (ou *matching*) pour identifier des espèces envahissantes. Le cadre théorique de l'article permet de réaliser des simulations en fonction de traits physiologiques des espèces, dans lesquelles le succès d'une invasion est défini comme une fonction de la biomasse de l'espèce à l'équilibre sur le long terme.

Knowler et Barbier (2005) proposent un modèle d'invasion estimé sur des données relatives à une invasion volontaire par une plante ornementale, *Tamarisk* pp.(*saltcedar*).

Afrique du Sud

Rouget et ses collaborateurs (2002) étudient la distribution spatiale de deux espèces d'arbres et arbustes envahissantes (*Acacia mearnsii* et *Pinus* spp.). En recoupant les surfaces plantées à des fins commerciales avec celles associées à des évasions vers le milieu, les auteurs dérivent des relations statistiques entre la probabilité d'invasion et des variables environnementales géo-référencées (couverture du sol, géologie, température moyenne, stress hydrique). Ainsi, les modèles de régression fournissent une probabilité de propagation des deux espèces de 6,6 % et 9,8 % respectivement, vers des habitats naturels non encore envahis (et non transformés par l'urbanisation ou l'agriculture). Des recommandations sont fournies en termes de zones géographiques délimitées pouvant accueillir des plantations avec un risque réduit de propagation.

Japon

Yamamura et ses collaborateurs (2001) étudient la probabilité d'infection de fruits importés au Japon par le « *fire blight disease* ». Les vecteurs en sont *Cydia pomonella* et *Erwinia amylovora*. Les auteurs insistent sur l'importance à accorder, dans la modélisation, à la variance de la proportion de fruits infectés. Dans le cas d'une variance constante (indépendante du milieu, par exemple), la probabilité d'infection par invasion risque d'être largement sous-estimée.

Monde

Morrison et ses collaborateurs (2004) utilisent un modèle d'introduction pour la fourmi rouge envahissante (*Solenopsis invicta*), basé sur des hypothèses d'acclimatation climatique (température, pluviométrie) à grande échelle, et discutent entre autres de la probabilité d'établissement pour la plupart des pays de l'hémisphère Sud. Les auteurs mettent en garde les pays de la zone Pacifique en particulier, mais indiquent que des régions suffisamment sèches mais avec une pluviométrie insuffisante ne sont pas des terrains propices à l'établissement de colonies. Des sommets assez élevés dans certaines îles peuvent constituer des terrains d'accueil, ce qui peut ne pas être le cas des zones côtières, trop sèches. C'est le cas en particulier des îles hawaïennes.

Dalmazzone (2000) estime un modèle très simplifié d'invasion à partir de données du commerce international. Le rapport entre le nombre d'espèces exotiques et les espèces autochtones est spécifié comme étant une fonction linéaire (ou log-log) du PNB par tête, du pourcentage des importations dans le PNB, de la densité de population, du caractère insulaire de l'île, et de la proportion de pâturages.

Conclusion sur les études de cas étrangères

Les études présentées ci-dessus sont bien entendu à utiliser en tant qu'éléments de référence, et ne sauraient être appliquées directement au cas de la Nouvelle-Calédonie. La plupart de ces travaux se basent sur les premiers stades du processus d'invasion, à savoir l'introduction, et beaucoup d'entre eux analysent des données d'inspection et de contrôle à la frontière. Les conclusions à retenir de ces études sont :

- s'il existe une relation nette entre les flux commerciaux et la probabilité d'invasion, le mode de transport et le conditionnement des marchandises jouent un rôle fondamental ;
- les introductions volontaires sont au moins aussi importantes que les introductions involontaires ;
- le rôle du climat dans le milieu d'accueil et de la population d'espèces invasives déjà présentes est confirmé ;
- si la probabilité de détection d'espèces (dans les importations) est calculée relativement facilement, il n'en est pas de même pour la probabilité d'invasion ;
- enfin, aucune étude ne semble discuter le fait que les passagers (ou expéditeurs) à l'origine d'introductions volontaires peuvent modifier leur comportement en fonction de la réglementation du pays de destination et de son mode d'application. Ces derniers étant très différents d'un pays à l'autre, la probabilité de détection d'espèces envahissantes dépendra non seulement de l'effort de contrôle à la frontière, mais encore du volume d'espèces que les passagers (ou expéditeurs) moduleront pour éviter une saisie, le cas échéant.

Implications pour le cas de la Nouvelle-Calédonie

L'objectif de cette section est de présenter les avantages et inconvénients associés aux différentes stratégies de détection des invasions biologiques, dans le contexte néo-calédonien. Il ne s'agira pas encore de sélectionner les politiques de contrôle effectif à mettre en place, mais d'identifier les caractéristiques locales permettant de mieux cerner le classement de ces probabilités en fonction des espèces, de leur origine et de l'étape du processus d'invasion. En d'autres termes, dans une perspective de gestion durable des ressources naturelles, l'objectif est de proposer un système pérenne de détection pour chaque point de contrôle qui pourra être utilisé pour évaluer l'occurrence d'invasions futures sur la base d'un registre de découvertes.

Les caractéristiques néo-calédoniennes

Les caractéristiques locales aidant à la détermination des probabilités d'invasion tiennent essentiellement à l'environnement et aux systèmes de surveillance. Par exemple, l'échec de la prévention de l'introduction du « *bunchy top of bananas* » ayant nécessité une politique d'éradication ultérieure est l'un des signes indiquant un risque élevé d'introductions dans le futur.

Caractéristiques de l'environnement général

Le nombre limité de moyens de communications et de centres économiques (centres de vie, implantations industrielles ou minières) permet d'avancer un schéma linéaire d'analyse des invasions. À partir d'un nombre limité de points d'introduction initiaux sur la Grande Terre (aéroport, ports), les espèces peuvent s'établir selon une trajectoire suivant les grands flux économiques associés au type du vecteur d'introduction. Par exemple, en ce qui concerne les invasions volontaires de plantes ornementales ou d'espèces les utilisant comme support, le système de distribution suit vraisemblablement le réseau routier de la Grande Terre vers la capitale Nouméa, ou vers les agglomérations de moyenne importance. Les îles de l'archipel constituent un cas très particulier, dans la mesure où les moyens d'accès sont limités aux avions de petite capacité ou aux navires. La faible densité de population est un facteur aggravant pour les espèces environnementales, dans la mesure où la diffusion des espèces introduites à partir des habitations individuelles vers le milieu risque de connaître peu de freins. En effet, les infrastructures permettant de réaliser une barrière entre les zones résidentielles et le milieu sauvage sont très limitées.

Malgré des programmes de protection et d'étude des espèces indigènes (cagou, perruche d'Ouvéa, carpophage géant, méliphage toulou, etc.), le sort de certaines reste incertain étant donné le manque de suivi des études financées (et de moyens consacrés à la protection). Par exemple, la protection du cagou dépend de l'éradication des chiens et de la protection des massifs de forêt primaire. L'exploitation des dernières zones de forêts humides primaires conduit à une augmentation du nombre de routes et de chemins d'accès propices à l'envahissement par les mammifères et plantes introduits. Les feux de brousse sont fréquents sur la Grande Terre (environ 15 000 ha détruits en 2000), on considère que 3,5 % de la surface de l'île ont été détruits en 6 ans.

L'exploitation minière, avec deux grands projets dans le Nord et le Sud de la Grande Terre, entraîne une réhabilitation des zones dénudées par deux espèces invasives, le gaïac (*Acacia spirorbis*) et le « bois de fer » (*Casuarina collina*). Les dommages en terme de biodiversité spécifique et génétique seront vraisemblablement importants. La nature du sol à proximité des terrains miniers, très pauvre en matières organiques, ne favorise pas la végétation, et peut servir de barrière naturelle aux propagations.

Caractéristiques du système de surveillance

En ce qui concerne les relations entre les probabilités d'invasion et le système de surveillance néo-calédonien, Budd (2004) fournit des indications relativement récentes sur les points forts et faibles du dispositif. Des lacunes dans les contrôles de plusieurs voies de passage spécifiques sont identifiées, ainsi qu'un développement insuffisant du niveau de qualité des services d'inspection. En particulier, les données d'interception ne

sont pas suffisamment analysées. De plus, un manque de « *leadership* » et de coordination entre les différentes instances en charge des contrôles est souligné par le rapport. La politique de biosécurité en Nouvelle-Calédonie s'est concentrée sur le commerce international de produits agricoles, en particulier d'origine animale. En ce qui concerne l'identification de menaces, les ressources limitées en moyens financiers et en personnel conduisent à utiliser des sources étrangères d'information (Australie, Nouvelle-Zélande). Cependant, le processus de filtrage (ou *screening*) est bien développé selon le rapport en ce qui concerne les produits d'origine animale et les animaux vivants. Par contre, les plantes vivantes et autres produits végétaux ne semblent pas faire l'objet de contrôles aussi développés, en raison de la plus grande difficulté d'inspection (et donc de détection, dans ce cas).

Budd (2004) identifie de plus un manque de connaissances générales sur la biodiversité locale, rendant difficile le classement de certains organismes en espèces envahissantes ou non. À noter l'existence d'une étude de terrain conduite sur la voie de passage des mines de nickel.

D'après le classement actuel des « *pathways* » en terme de priorité, certaines espèces font l'objet d'un ciblage intense et d'autres non. Ce classement est établi en fonction de critères de faisabilité, d'efficacité et d'estimations du risque pour les espèces empruntant ces voies ou vecteurs d'accès. Il semble donc nécessaire de renforcer le dispositif en contrôlant effectivement l'ensemble des voies d'accès. Budd (2004) répertorie les voies d'accès suivantes en fonction de leur degré de contrôle (Tableau 2). Les contrôles insuffisants concernent surtout les containers de marchandises, les effets personnels, les plantes vivantes (pas de quarantaine *ex post*) et enfin la contrebande.

Tableau 2 : Gestion et contrôle des voies d'entrée en Nouvelle Calédonie

Vecteurs et voies d'accès contrôlés				
Voie / vecteur	Contrôle 1	Contrôle 2	Contrôle 3	Déficience
Avion	Spray insecticide	Inspection de l'avion	<i>Galley waste</i>	Gestion des déchets, cuisine des avions
Passagers	Déclaration	Chiens renifleurs	Recherche ciblée	Pas de rayons X
Produits animaux	Code produit pour tarif douanier	Certification	-	Pas d'inspection
Navires (accès direct)	Notification	Certification	Inspection	Pas de contrôle des ballasts
Vecteurs et voies d'accès partiellement contrôlés				
Machines et véhicules d'occasion	Inspection	Traitement	-	Pas de référence à un tarif douanier
Courrier et paquets postaux	Déclaration	Recherche ciblée	-	Ni rayons X, ni chiens renifleurs
Acheminement côtier	Notification	Certification	Inspection aléatoire	Absence dans les ports provinciaux
Produits végétaux importés	Tarif douaniers	Certification	Inspection	Manque d'équipements d'inspection et de pratique
Vecteurs et voies d'accès non contrôlés				
Containers de marchandises	-	-	-	Ni inspection, ni certification. Pas de contrôle des palettes
Biens ménagers (<i>household effects</i>)	Référence douanière	-	-	Ni recherche ciblée, ni inspection
Plantes vivantes	Code tarif douanier	Certification	Inspection	Pas de quarantaine <i>ex post</i>
Contrebande	Notification	-	-	Pas d'activités de formation en collaboration entre organismes

Source : Budd (2004)

Les facteurs influençant la probabilité d'introduction sont les suivants :

- pas de ciblage efficace des passagers à risque (pas de rayons X) ;
- fréquence non négligeable de déclarations incomplètes par les passagers ;
- usage limité de chiens renifleurs ;
- temps important consacré à la vérification des produits importés certifiés, alors que le risque associé est faible ;
- pas de protocole de contrôle des ballasts ;
- pas d'inspection des navires pour détecter la présence de contaminants biologiques ;
- manque d'un code de bonne pratique pour l'inspection des produits frais ;
- déficiences dans l'examen des échantillons (pas en condition de laboratoire, etc.) ;
- taux d'interception dans le système postal très en dessous des normes internationales (mauvais ciblage, pas de chiens renifleurs) ;
- absence d'inspection des machines et véhicules d'occasion, des containers maritimes ;
- absence d'inspection des produits ménagers ;
- absence d'inspection des palettes de chargement.

Budd (2004) classe les vecteurs à risque pour la Nouvelle-Calédonie comme suit : 1) les navires ; 2) les containers maritimes ; 3) les importations de machines.

La stratégie néo-calédonienne de quarantaine a largement transféré le risque d'invasion du point d'importation vers le pays exportateur d'origine, ce qui est cohérent avec l'approche internationale en matière de biosécurité. Cependant, cette stratégie laisse la porte ouverte à des invasions significatives si les règles de certification et de déclaration ne sont pas respectées. Un cas important concerne l'importation de graines et de semences pour l'horticulture commerciale ou résidentielle, par courrier postal. Avec le développement très rapide d'Internet, les envois postaux sont un moyen d'acquisition privilégié, favorisant la contrebande (au sens large). Les déclarations de la part des exportateurs ou des importateurs n'étant pas obligatoirement respectées, le risque est donc important. Ce développement rapide des achats en ligne, couplé avec le trop faible taux d'interception dans le système postal relevé par Budd (2004), constitue par conséquent une voie d'accès devant être identifiée comme majeure.

Toutes les activités de quarantaine (biosécurité) sont localisées à Nouméa, aucune autre île de l'archipel n'est concernée.

Les facteurs politiques et régionaux (moins de dépendance aux importations françaises, volonté d'une politique « nationale », développement accéléré du commerce international dans cette partie du monde) poussent vers le développement d'une politique plus active de biosécurité : comme mentionné par Sherley et Lowe (2000), ce type de politique doit être déclaré comme « (grande) cause nationale ».

Aspects commerciaux et économiques

Le fait que la Nouvelle-Calédonie importe la quasi-totalité des denrées alimentaires, des biens d'équipements et des matières premières pour son économie constitue un autre facteur important dans la détermination des probabilités d'invasion. Ceci est vrai notamment des invasions involontaires utilisant comme vecteur les produits agricoles ou les matériels de transport et de conditionnement.

Arrivée de touristes

Le tableau 3 indique la répartition des touristes en Nouvelle-Calédonie, en fonction de leur lieu de résidence, pour les deux dernières années disponibles (2003 et 2004). On constate une répartition assez homogène entre les touristes en provenance d'Europe, d'Asie et d'Océanie, mais celle-ci ne saurait masquer la prépondérance de 3 pays dans l'ensemble : la France métropolitaine, le Japon et l'Australie. La zone Océanie est naturellement la plus représentée (environ 35 % du total). Le profil de ces touristes est assez différent en fonction de la durée moyenne de leur séjour : 30 à 35 jours pour la France, 1 semaine pour l'Australie et la Nouvelle Zélande, et 5 jours pour le Japon.

Un point important concerne la tendance de la série des entrées de touristes sur le territoire néo-calédonien. Le nombre total de touristes admis a doublé entre 1986 et 2003, la même tendance est observée pour les résidents japonais. L'entrée de touristes Français de métropole n'a doublé qu'entre 1991 et 2003. Par contre, les résidents

australien et néo-calédonien ont vu leur entrée en Nouvelle-Calédonie rester stable depuis 15 ans.

Tableau 3 : Effectifs et répartition des touristes en Nouvelle-Calédonie, années 2003 et 2004

Lieu de résidence	2004		2003		Variation de 2003 à 2004
	Nombre	%	Nombre	%	%
France	27 358	27,5	29 440	28,9	-7,1
Suisse	397	0,4	505	0,5	-21,4
Italie	491	0,5	486	0,5	1,0
Allemagne	314	0,3	453	0,4	-30,7
Grande-Bretagne	409	0,4	473	0,5	-13,5
Autres pays d'Europe	1 023	1,0	1 135	1,1	-9,9
Total EUROPE	29 992	30,1	32 492	31,9	-7,7%
Japon	29 229	29,4	28 490	27,9	2,6
Taiïwan	24	0,0	8	0,0	200,0
Hong Kong	53	0,1	57	0,1	-7,0
Corée du sud	140	0,1	89	0,1	57,3
Autres pays d'Asie	969	1,0	851	0,8	13,9
Total ASIE	30 415	30,6	29 495	28,9	3,1
Réunion et Mayotte	460	0,5	343	0,3	34,1
Autres pays d'Afrique	155	0,2	146	0,1	6,2
Total AFRIQUE	615	0,6	489	0,5	25,8
USA	771	0,8	994	1,0	-22,4
DOM Caraïbes	178	0,2	152	0,1	17,1
Canada	555	0,6	387	0,4	43,4
Argentine	25	0,0	15	0,0	66,7
Autres pays d'Amérique	147	0,1	205	0,2	-28,3
Total AMERIQUE	1 676	1,7	1 753	1,7	-4,4
Nouvelle-Zélande	6 368	6,4	6 030	5,9	5,6
Vanuatu	2 518	2,5	2 373	2,3	6,1
Australie	16 212	16,3	15 957	15,6	1,6
Autres pays d'Océanie	10 379	10,4	11 527	11,3	-10,0
Total OCEANIE	35 477	35,6	35 887	35,2	-1,1
Indéterminé	1 340	1,3	1 867	1,8	-28,2
ENSEMBLE	99 515	100,0	101 983	100,0	-2,4

Source : Institut de la Statistique et des Études Économiques de Nouvelle-Calédonie

Transports intérieurs

Le trafic maritime intérieur, de l'ordre de 3 180 milliers de tonnes en 2003, concerne quasi-exclusivement le minerai de nickel (98 % des débarquements). Quant au fret aérien intérieur, il ne concerne qu'un peu moins de 900 tonnes en 2003 (selon l'Institut de la Statistique et des Études Économiques).

En ce qui concerne le transport aérien intérieur de passagers, l'on comptabilisait environ 10 000 mouvements d'avions sur l'aérodrome de Magenta, pour un flux total d'environ 272 000 passagers (embarquants et débarquants). Les autres principaux aérodromes sont, par ordre d'importance : Lifou (100 000 passagers en 2003), l'île des

Pins (80 000 passagers), Ouvéa (53 000 passagers) et Maré (45 000 passagers). Touho, Koné, Koumac, Tiga et Bélep sont les autres aéroports de bien plus faible importance (moins de 4 000 passagers par an).

Échanges commerciaux

Les importations de la Nouvelle-Calédonie (en valeur) proviennent à 46 % de France en 2003 (à peu près le même pourcentage qu'en 1994), après une légère diminution entre 1999 et 2002 (selon la Direction Régionale des Douanes). Il est intéressant de constater que cette tendance sur la période 1999-2000 est inversée pour les importations en provenance d'Australie et de Singapour. Les importations japonaises et néo-zélandaises sont quant à elles en diminution constante sur toute la période 1994-2002. Enfin, la part des autres partenaires commerciaux a été relativement stable, aux alentours de 11 %. Il convient bien entendu de rester prudent devant des chiffres portant sur un nombre d'années limité. Cependant, ces chiffres ont le mérite de montrer qu'il n'existe pas de bouleversement dans le classement des partenaires commerciaux de la Nouvelle-Calédonie. Ce constat est très différent de celui observé en Nouvelle-Zélande où, depuis la fin des années 1980, un redéploiement très important des importations en faveur de l'Asie (Chine continentale et Malaisie, en particulier) a été constaté (Jay *et al.*, 2003).

En ce qui concerne certaines catégories de biens importés, un examen de la tendance sur la période 1999-2003 montre par contre que la structure du commerce s'est fortement modifiée. Ainsi, si l'alimentation a augmenté en valeur depuis 1994 de 24 % (soit un relatif plafonnement en F.CFP constants), la catégorie des machines a crû de 85 % et celle du matériel de transport de 238 %, alors que le total des importations en valeur augmentait de 87 %, et que la part du bois restait stable. Le tableau 4 présente la répartition des importations en valeur pour les années 2001 à 2003, par catégorie de produit. Une décomposition encore plus fine au niveau des « chapitres » de produits (nomenclature harmonisée HS2) fait apparaître une stabilité de la quantité de fruits, légumes, plantes et céréales (et une baisse des semences et graines) importés en Nouvelle-Calédonie.

Il est difficile de rendre compte, à l'aide de telles données agrégées, de la tendance éventuelle des échanges en terme de qualité des produits, et plus spécifiquement des types de produits (animaux et végétaux, notamment). De plus, le manque d'informations sur l'origine des produits par catégorie ne permet pas de repérer une diversion des importations au profit d'un bloc commercial régional particulier.

Les recettes douanières figurent dans le tableau 5. Outre le nombre significatif de taxes et autres droits de douane, on relève un certain nombre de taxes de soutien conjoncturelles et/ou sectorialisées, d'un type comparable à ce qui pourrait être introduit dans la perspective de lever des fonds pour lutter contre les invasions biologiques (nouvelle « taxe de soutien à la biodiversité », par exemple). Le taux moyen de taxation des importations au sens large, obtenu en utilisant les tableaux 4 et 5, est de 18,20 % en 2003 contre 21,53 % en 2002.

Le fret aérien extérieur oscille autour de 3 800 tonnes par an depuis 1999. Le trafic maritime est bien plus important, avec 1,473 millions de tonnes débarquées en 2003. Les 6 ports principaux sont : le port Public, Doniambo, Numbo et la Baie des

Dames pour le secteur portuaire de Nouméa, le point de débarquement de Goro, et Népoui.

Si les importations en valeur proviennent majoritairement de France, il n'en est pas de même en quantité : l'Asie représente 630 millions de tonnes, l'Europe 165 et l'Océanie 564. Par type de navire, les pétroliers représentent de loin la composante la plus importante avec 588 milliers de tonnes, suivis par les cargos (359 milliers de tonnes) et les minéraliers (396 milliers de tonnes). Enfin, les transports réfrigérés ne représentent que 18 milliers de tonnes.

Tableau 4 : Importations de la Nouvelle-Calédonie, années 2001, 2002 et 2003

Catégorie	2001	2002	2003
Produits alimentaires	19 545	19 859	20 480
Produits minéraux	18 053	17 033	16 826
Produits chimiques	9 655	10 674	11 435
Produits caoutchouc plastique	5 109	5 175	5 264
Bois et ouvrages en bois	1 537	1 440	1 671
Papiers et ouvrages en papier	3 728	3 590	3 743
Produits textiles	4 240	4 352	4 462
Métaux et ouvrages en métaux	7 611	8 146	8 750
Machine, appareils, matériel électrique	23 519	23 138	26 760
Matériel de Transport	19 431	19 373	46 909
Autres	11 744	14 398	17 568
Total	124 171	127 178	163 869

Source : Direction Régionale des Douanes –

Unité : million de F CFP

Note : 1 000 F CFP = 8,38 Euros

Tableau 5 : Recettes douanières, années 2002 et 2003

Droit / Taxe	2002	2003
Droits de douane	2 715	3 147
Taxe générale à l'importation	12 361	13 707
Taxe de consommation intérieure (1)	4 868	5 036
Taxe de soutien aux productions agricoles (2)	595	553
Taxe de péage	178	196
Taxe de base à l'importation (1)	4 407	4 810
Taxe conjoncturelle « protection de la production locale » (1)	528	553
Taxe parafiscale pour les énergies renouvelables	49	47
Taxe anti-pollution (4)	///	13
Taxe sur le fret aérien (2)	1 271	1 344
Taxe sur les alcools et tabacs (3)	182	189
Droit de navigation intérieure	11	12
Droit de francisation, navigation et passeport	51	54
Droit de quai	93	96
Droit de port	17	17
Amendes et confiscations	53	67
Total	27 381	29 839

Source : Direction Régionale des Douanes - Unité : million de F CFP

(1) Nouvelles taxes entrées en vigueur le 1er septembre 2000

(2) Nouvelles taxes entrées en vigueur le 1er janvier 2001

(3) Nouvelle taxe entrée en vigueur le 1er janvier 2002

(4) Nouvelle taxe entrée en vigueur le 1er janvier 2003

Agriculture

Les données générales les plus récentes datent du RGA (Recensement Général Agricole) de 2002.

La vaste majorité de la surface agricole utilisée concerne les pâturages (96,6 % du total) : 42,5 % de ces pâturages sont peu productifs, et 40,1 % sont entretenus. La répartition de ces pâturages est équitable entre le nord et le sud. En ce qui concerne les superficies cultivées, les céréales ont diminué en surface depuis 1991. Elles sont localisées sur la côte Ouest, et sont devancées par les arbres fruitiers (vergers ou arbres isolés). La 3^e catégorie concerne les tubercules tropicaux (manioc, ignames, patates douces, taros), alors que la 4^e catégorie concerne les cultures fruitières de plein champ et semi-permanentes, dont les bananiers qui occupent les deux-tiers de ces superficies (470 ha de bananiers en culture principale, et environ 180 ha de pieds dispersés dans les cours, en bordure des parcelles ou au milieu de cultures associées). Les cultures florales ou ornementales ont une surface encore limitée, mais en expansion très rapide, avec un quadruplement depuis 1991 ; elles sont majoritairement dans le Sud de l'archipel (147 producteurs) et sont réparties de façon suivante : 36 % d'arbres et d'arbustes d'ornement, 23 % de plantes ornementales de plein champ, et 14 % de plantes ornementales sous serre ou abri. Quarante-trois exploitants ont une pépinière de plants forestiers, fruitiers, etc., essentiellement dans le Sud. Les jardins familiaux et potagers sont majoritairement dans le Nord (238 ha) et dans les îles Loyauté (114 ha).

Le cheptel a diminué depuis 1991, sauf pour les cervidés (la production de viande de cerf a été multipliée par plus de 7 entre 1991 et 2002) et les volailles. Les exploitations ont vu leur nombre diminuer au profit d'une certaine rationalisation (disparition des exploitations peu viables). L'élevage bovin devient de plus en plus extensif (chargement moyen : 0,28 UGB⁴ bovin), avec pour conséquence une augmentation de la proportion des pâturages non entretenus.

Commerce de détail : pépiniéristes et jardinerie

On compte approximativement 10 jardinerie commerciale (comme activité principale, dont 9 à Nouméa), et une vingtaine de pépiniéristes (dont 6 à Paita, 6 à Mont Doré et 4 à Nouméa, 2 à Dumbéa, 1 à Pouembout, 1 à Koné et 1 à Voh). Un nombre plus limité de centres commerciaux est bien entendu susceptible de vendre des plantes et fleurs ornementales, ainsi que de l'animalerie.

Les points de contrôle possibles en Nouvelle-Calédonie

On a vu plus haut que les trois catégories de mesures utilisées dans le contrôle des invasions biologiques sont : 1) l'interdiction, la prévention et le traitement pour la phase d'introduction, 2) la détection sur le terrain pour l'établissement, et 3) l'éradication pour la phase de propagation.

Les principaux points de contrôle proposés sont les suivants : avant la frontière, à la frontière et après l'introduction.

⁴ UGB : unité de gros bétail

- **Avant la frontière.** La certification apportée par l'importateur est, on l'a vu, la meilleure mesure de prévention pour des pays ou des régions dont la capacité de contrôle douanier est limitée, ce qui est le cas de la Nouvelle-Calédonie. Cette mesure est certainement recommandée à court terme, afin de laisser aux autorités douanières le temps de procéder à une mise à niveau de leurs équipements et à une formation de leurs personnels. Il convient cependant de ne pas négliger l'impact économique sur le consommateur final, dans la mesure où ce dernier supportera la majeure partie du surcoût engendré par cette procédure de certification.
- **À la frontière.** Ce point de contrôle reste le plus utilisé en pratique. La Nouvelle-Calédonie pourrait cependant s'inspirer de l'exemple de la Nouvelle-Zélande, pays qui a recours à un circuit transitoire (zone de contrôle de bio-sécurité) pour l'inspection. Concernant l'évaluation du risque environnemental demandée aux importateurs par la Nouvelle-Zélande, deux points sont à souligner. Tout d'abord, cette évaluation semble être une exigence amenant des coûts de gestion importants pour la Nouvelle-Calédonie, dans la mesure où cette dernière devra en dernière analyse procéder au traitement de ces données. Ensuite, le fait que certains exportateurs aient déjà constitué un dossier d'importation pour la Nouvelle-Zélande, comprenant outre l'évaluation du risque environnemental, le résultat des demandes d'importation dans d'autres pays et son usage attendu dans le pays, fait que des économies d'échelle sont vraisemblables du côté des exportateurs. La Nouvelle-Calédonie est particulièrement exposée aux introductions de graines et semences par voie postale de la part de particuliers (pour l'horticulture notamment). Il est donc essentiel d'accorder une priorité toute particulière, dans le dispositif de prévention, au dispositif de contrôle dans les services postaux : extension de la détection par rayons X, formation du personnel, etc.
- **Après l'introduction.** Rappelons que le caractère invasif des espèces dépend, dans la majorité des cas, des conditions écologiques qui peuvent être différentes d'une région à l'autre. Dans le cas de l'archipel néo-calédonien, l'objectif sera de contenir les invasions biologiques entre la Grande Terre et les îles plus petites, et également entre ces dernières. Même sur un territoire limité comme celui de la Nouvelle-Calédonie, il semble difficile de recommander des points de contrôle permettant d'évaluer les invasions qui nécessitent une éradication. En effet, ce stade avancé d'invasion engendrerait des coûts importants et laisserait le champ libre à des réintroductions. Par conséquent, les points de contrôle possibles doivent plutôt être identifiés comme associés aux phases d'introduction et d'établissement. Le point de contrôle principal, recommandé par la plupart des travaux sur des milieux menacés par des espèces envahissantes, est celui associé à l'introduction des espèces sur le territoire. Le caractère insulaire de la Nouvelle-Calédonie représente un avantage certain à cet égard. Le risque de transfert inter-îles ne doit pas être négligé, mais des protocoles particuliers doivent être aménagés pour le trafic de passagers et de marchandises. Sherley et Lowe (2000) insistent sur la sous-estimation des bénéfices aux contrôles inter-îles, alors qu'une politique de détection peut s'avérer très efficace. Dans l'archipel hawaïen, par exemple, certaines espèces végétales très dommageables sont présentes sur certaines îles, mais non sur d'autres.

Discussion

Nous présentons dans cette section une discussion de la probabilité d'invasion dans le cas néo-calédonien, et pour les plantes uniquement. Sur la base des espèces identifiées comme envahissantes (Meyer *et al.*, ce volume), 7 espèces envahissantes des îles et régions tropicales du Pacifique et de l'océan Indien sont déjà présentes en Nouvelle-Calédonie, mais ne sont pas encore naturalisées. Il s'agit alors dans cette section d'évaluer la probabilité d'invasion de nouvelles espèces par introduction, et plus accessoirement, de considérer la probabilité de propagation des espèces déjà introduites.

À partir du constat dressé ci-dessus et relativement aux caractéristiques locales conditionnant les probabilités d'invasion des espèces concernées, on peut conclure que :

- La probabilité d'introduction accidentelle par les personnes est vraisemblablement limitée. Même si elle est liée à des vecteurs d'acheminement parfois peu contrôlés ou inspectés, cette probabilité augmente généralement en fonction de la diversification des lieux de provenance des touristes. Or, on note une relative stabilité de la structure des arrivées de touristes par lieu de résidence. Les introductions accidentelles dans ce cas seraient plutôt liées à des insectes ou des graines contenus dans les effets personnels ou biens ménagers en route, ces derniers étant moins bien contrôlés que les passagers eux-mêmes.
- La probabilité d'introduction (volontaire ou involontaire) d'espèces animales ou de produits animaux est très faible : cette voie d'entrée est l'une des mieux contrôlée.
- La probabilité d'introduction involontaire *via* des containers ou du matériel de transport est plus importante : les importations de cette catégorie de biens sont en augmentation plus rapide, et les contrôles pratiquement inexistantes.
- La probabilité d'introduction volontaire de plantes vivantes est plus forte : pas de quarantaine *ex post*, manque de contrôle de l'ensemble des effets personnels. Même si les flux de touristes sont stables et les provenances également, le développement du secteur des plantes ornementales sur l'archipel favorise les introductions à un rythme accéléré.
- La probabilité d'introduction volontaire *via* courrier postal de graines et d'autres semences pour une utilisation horticole par les particuliers et les jardinerie / pépiniéristes est importante. Même si des chiffres précis font encore défaut, le développement très rapide des achats électroniques en ligne (Internet) pour ce type de produits ainsi que les déficiences du système de détection postal rendent cette voie d'introduction particulièrement problématique. Ceci est d'autant plus vrai que les achats sur Internet venant de particuliers sont bien plus difficiles à détecter, et ne font pas toujours l'objet de déclarations.

En ce qui concerne à la fois les espèces non encore introduites et celles établies mais pas encore dans une phase de propagation-diffusion :

- La probabilité d'établissement et surtout de propagation est élevée, en raison des facteurs mentionnés plus haut : manque de coordination entre les différentes instances provinciales, habitat dispersé favorisant les plantations

d'espèces pour usage résidentiel, activités d'élevage de plus en plus extensif (extension des pâturages), plantation en forte croissance d'arbres fruitiers et tropicaux récepteurs (bananiers), feux de forêt favorisant la dispersion des espèces, ainsi que de nouveaux aménagements routiers (voies d'accès) et miniers. Par contre, la présence de sols pauvres aux alentours d'exploitations minières peut relativiser ce constat. Rappelons enfin le rapide développement du secteur des fleurs et plantes ornementales dans le secteur agricole, et le morcellement des plantations de bananiers.

Considérons deux types d'introductions particulièrement importantes et documentées : l'une volontaire *via* les jardineries et pépiniéristes (plantes ornementales) et l'autre involontaire *via* le fret (importations). Pour la première, nous pouvons déduire que la probabilité d'introduction est élevée, ainsi que celle de propagation si les conditions écologiques sont réunies. Le développement rapide de l'activité économique liée aux plantes ornementales favorise *a priori* l'installation et la propagation, et les contrôles post-frontière sont difficiles à envisager. De plus, le développement très rapide des achats électroniques *via* Internet favorise des importations plus difficiles à contrôler (pas toujours de déclarations, détection dépendant de l'efficacité du système mis en place dans les centres postaux). Pour le second type d'introduction, dit involontaire, le risque d'introduction n'est important *a priori* que pour les espèces (produits végétaux) introduites dans des containers de marchandises ou du matériel de transport.

Le problème le plus préoccupant concerne la probabilité d'invasion des îles à partir de la Grande Terre. On a vu que les procédures d'inspection et de contrôle douanières étaient limitées à cette dernière ; même si les échanges avec les autres îles de l'archipel sont limités, l'intensité du trafic de passagers et de marchandises par voie maritime est propice à une propagation des espèces introduites involontairement. En conséquence, l'hétérogénéité dans l'efficacité des mesures de détection et d'inspection à la frontière (Grande Terre) rend l'introduction de nouvelles espèces plus que probable, même si les probabilités associées restent extrêmement limitées. En revanche, dans la mesure où les probabilités **conditionnelles** de propagation sont *a priori* plus importantes (conditionnellement à celle de l'introduction et de l'établissement), la probabilité composée d'introduction reste significative.

Bibliographie

- BARTELL S.M., NAIR S.K., 2004 - Establishment Risks for Invasive Species. *Risk Analysis*, 24(4): 833-845.
- BOMFORD M., 2003 - *Risk assessment for the import and keeping of exotic vertebrates in Australia. Rapport interne*. Canberra, Australie, Department of Agriculture, Bureau of rural sciences, 135 p.
- BUDD K., 2004 - *A Review of biosecurity risk management in New Caledonia. Rapport de Consultance pour la DAVAR*. Auckland, The AgriChain Centre Ltd, 28 p.
- BURGIEL S., PERROT A., ORELLANA M., WILLIAMS C., 2005 - *Invasive Alien Species prevention strategies: avoiding conflicts with the international trade regime*. Discussion paper, Center for International environmental law, 2 p.

- COSTELLO C., McAUSLAND C., SOLOW A., SPRINGBORN M., 2005 - *International trade and the risk of biological invasions*. Document de travail, University of California at Santa Barbara, 28 p.
- DALMAZZONE S., 2000 - « Economic factors affecting vulnerability to biological invasions ». In Perrings C., Williamson M., Dalmazzone S. (eds): *The economics of biological invasions*. Cheltenham, UK, Edward Elgar Publishing: 17-30.
- FINNOFF D., TSCHIRHART J., 2005 - Identifying, preventing and controlling invasive plant species using their physiological traits. *Ecological Economics*, 52(3): 397-416.
- GROVES R.H., HOSKING J.R., 1997 - *Recent incursions of weeds to Australia 1971-1995*. Adelaide, Australie, Cooperative Research Centre for Weed Management Systems, Technical Series N° 3, 74 p.
- HAYES K.R., CANNON R., NEIL K., INGLIS G., 2005 - Sensitivity and cost considerations for the detection and eradication of marine pests in ports. *Marine Pollution Bulletin*, 50(8): 823-834.
- JAY, M., MORAD M., BELL A., 2003 - Biosecurity, a policy dilemma for New Zealand. *Land Use Policy*, 20(2): 121-129.
- KNOWLER D., BARBIER E., 2005 - Importing exotic plants and the risk of invasion: Are market-based instruments adequate? *Ecological Economics*, 52(3): 341-354.
- LEVINE J.M., D'ANTONIO C.M., 2003 - Forecasting biological invasions with increasing international trade. *Conservation Biology* 17(1): 322-326.
- MACK R.N., 1995 - « Understanding the process of weed invasions: The influence of environmental stochasticity ». In Stirton C.H. (Ed.): *Weeds in a changing world*. Farnham (UK), British Crop Protection Council Symposium Proceedings 64: 65-76.
- MACK R.N., SIMBERLOFF D., LONSDALE W.M., EVANS H., CLOUT M., BAZZAZ F.A., 2000 - *Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control*. Ecological Society of America, Issues in Ecology No. 5, 20 p.
- MEYER J.Y., 2000 - « Preliminary review of the invasive plants in the Pacific Islands (SPREP Member Countries) ». In Sherley G. (ed): *Invasive species in the Pacific: a technical review and draft regional strategy*. Apia, Samoa, South Pacific Regional Environment Programme: 85-114.
- MORRISON L.W., PORTER S.D., DANIELS E., KORZUKHIN M.D., 2004 - Potential global range expansion of the invasive fire ant, *Solenopsis invicta*. *Biological Invasions*, 6: 183-191
- OTA, 1993 - *Harmful Non-Indigenous Species in the United States, OTA-F-565*. Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, Office of Technology Assessment, U.S. Congress, 391 p.
- ROUGET M., RICHARDSON D.M., NEL J.L., VAN WILGEN B.W., 2002 - Commercially Important Trees as Invasive Aliens – Towards Spatially Explicit Risk Assessment at a National Scale. *Biological Invasions*, 4(4): 397-412.
- SHERLEY G., LOWE S., 2000 - « Towards a regional invasive species strategy for the South Pacific: issues and options ». In Sherley G. (ed): *Invasive species in the Pacific: a technical review and draft regional strategy*. Apia, Samoa, South Pacific Regional Environment Programme: 7-18
- SOLOW A., COSTELLO C., 2004 - Estimating the rate of species introductions from the discovery record. *Ecology*, 85: 1822-1825.
- WILLIAMS P.A., NICOL E., NEWFIELD M., 2000 - *Assessing the risk to indigenous New Zealand biota from new exotic plant taxa and genetic material*. Wellington, Department of Conservation, 42 p.

- WILLIAMSON M., 1996 - *Biological Invasions*. London, Chapman & Hall, 244 p.
- WILLIAMSON M., FITTER A., 1997 - The varying success of invaders. *Ecology*, 77(6): 1661-1666.
- WORK T.T., MCCULLOUGH D.G., CAVEY J.F., KOMSA R., 2005 - Arrival rate of non indigenous insect species into the United States through foreign trade. *Biological Invasions*, 7(2): 323-332.
- YAMAMURA K., KATSUMATA H., WATANABE T., 2001 - Estimating invasion probabilities: A case study of fire Blight Disease and the Importation of Apple Fruits. *Biological Invasions*, 3(4): 373-378.