



HAL
open science

Géographie de zoonoses en Thaïlande : de la distribution des rongeurs, vecteurs et hôtes, au risque de transmission

Vincent Herbreteau

► To cite this version:

Vincent Herbreteau. Géographie de zoonoses en Thaïlande : de la distribution des rongeurs, vecteurs et hôtes, au risque de transmission. Géographie. Université de Nanterre - Paris X, 2007. Français. NNT : . tel-00376326

HAL Id: tel-00376326

<https://theses.hal.science/tel-00376326>

Submitted on 17 Apr 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - ShareAlike 4.0 International License

UNIVERSITE PARIS X – NANTERRE
U.F.R. SCIENCES SOCIALES ET ADMINISTRATIVES
Ecole doctorale : Milieux, cultures et sociétés du passé et du présent

N° attribué par la bibliothèque

THESE

pour obtenir le grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE PARIS X
en géographie humaine, économique et régionale

Présentée et soutenue publiquement par

Vincent Herbreteau

le 10 décembre 2007

Géographie de zoonoses en Thaïlande : de la distribution des rongeurs, vecteurs et hôtes, au risque de transmission.

JURY :

Gérard Salem, Professeur à l'Université Paris X
Jeanne-Marie Amat-Roze, Professeur à l'Université Paris XII
Serge Morand, Directeur de recherche CNRS
François Roger, Chef d'unité de recherche CIRAD
Marc Souris, Directeur de recherche IRD

Directeur de thèse
Rapporteur
Rapporteur
Examineur
Examineur

à Patty



Avant-propos

Dans l'avion qui me conduisait en Thaïlande, venant de quitter les neiges du Luxembourg et les grands bureaux d'Eurostat, les services statistiques européens, je ne pensais pas que cette région qui m'était totalement inconnue mais que je souhaitais découvrir, me retiendrait. Je résiliais alors un premier emploi d'ingénieur agricole pour prolonger mes études par un master dédié aux systèmes d'information géographique et à la télédétection, à l'Asian Institute of Technology. Je comptais y perfectionner mon anglais mais j'y ai appris le thaï, je pensais me pencher sur des enjeux agricoles et j'ai opté pour des questions de santé.

Les rats, les hommes et l'Asie... Ce sujet de recherche est vite devenu passionnant. Ma démarche a connu un parcours sinueux, où au-delà d'un intérêt pour la biologie et d'une curiosité qui pousse au voyage, la composante humaine est restée centrale. En abordant cette thèse d'un point de vue géographique, c'est cette dimension sociale qui en a tissé le fil conducteur et m'a motivé.



Remerciements

En premier lieu, je remercie chaleureusement mon directeur de thèse Gérard Salem, qui a cru en ce projet et a accepté de le diriger. Sa confiance et ses conseils m'ont été un soutien des plus précieux.

Beaucoup de personnes ont contribué à cette recherche et je tiens à les remercier ici.

La réalisation de cette thèse a été possible grâce à plusieurs collaborations :

Je ne saurais oublier que ce sujet est né de la rencontre avec Haja Andrianasolo, chercheur à l'IRD et alors mon professeur à l'Asian Institute of Technology. C'est dans son bureau qu'ont germé les idées et les méthodes de ma recherche et je tiens à lui exprimer à nouveau toute ma gratitude.

Mes remerciements vont également à Jean-Paul Gonzalez, directeur des unités de recherche 034 puis 178 de l'IRD en Thaïlande, pour m'avoir accueilli et encouragé à débiter cette thèse. En m'obtenant un poste de volontaire international au sein de son unité, il m'a permis de financer et de poursuivre cette recherche pendant deux ans et ainsi de participer aux problématiques générales de l'unité. Les discussions ont toujours été riches et constructives. Je lui suis aussi très reconnaissant pour m'avoir fait confiance à débiter de cette problématique au cours de plusieurs conférences internationales.

Ils vont aussi à Pattamaporn Kittayapong, la directrice de notre laboratoire partenaire, le Center for Vector and Vector-borne Diseases (CVVD), au sein de l'université de Mahidol à Bangkok, pour m'y avoir ouvert un bureau. J'adresse également une chaleureuse pensée à l'ensemble des étudiants du CVVD que j'ai côtoyés au cours de ce séjour.

Je voudrais vivement remercier Jean-Paul Cornet, acarologue à l'IRD, avec lequel j'ai pris beaucoup de plaisir à travailler. Les travaux de terrain que nous avons jumelés ont laissé des souvenirs excellents. Jean-Paul m'a été un soutien essentiel pour mener les piégeages et les dissections dans les campagnes, et surmonter les difficultés au quotidien.

Enfin, je remercie Jean-Pierre Hugot, chercheur au Muséum National d'Histoire Naturelle, pour avoir obtenu un financement de l'Agence Nationale pour la Recherche pour un projet sur les rongeurs et les hantaviroses, faisant suite à mon travail de thèse, et sur lequel j'ai été recruté pendant vingt mois. Je suis reconnaissant à toute l'équipe de m'avoir donné les moyens de terminer la rédaction du mémoire. Je remercie tout particulièrement Serge Morand et Gauthier Dobigny pour leur soutien.

L'étude des rongeurs sur le terrain, de 2002 à 2004, a constitué une part importante de cette thèse :

Je tiens tout d'abord à remercier Gilles Chauvancy, ingénieur de recherche à l'IRD, qui m'a formé à travailler sur les petits rongeurs et transmis sa passion. Je remercie également Prayot Nimnet, chauffeur et compagnon de terrain, pour sa bonne humeur et son aide précieuse, ainsi que Boonlern et Natsuang Ruangri pour leur assistance technique.

J'ai eu aussi la chance de collaborer avec Ken Aplin, spécialiste des rongeurs asiatiques pour le CSIRO-Australie. Ce fut un plaisir d'échanger à distance sur les problèmes taxonomiques et de discuter pendant des heures de la détermination des espèces au laboratoire. Ken a aussi été à l'origine de la fabuleuse rencontre avec Hitoshi Suzuki, directeur du laboratoire d'écologie et de génétique à l'université d'Hokkaido au Japon. Son invitation à Sapporo pour participer au neuvième Congrès International de Mammalogie fut un bonheur et m'a laissé un souvenir inaltérable. Je le remercie bien sincèrement.

Enfin, je remercie les acteurs thaïlandais de la recherche sur les rongeurs : Lakkana Pakarnseree et son successeur Surachit Waengsothorn au Thailand Institute of Scientific and Technological Research, pour m'avoir ouvert la collection nationale des rongeurs et pu observé à mon tour et échangé sur les clés de détermination.

Le volet épidémiologique a pu être réalisé grâce à une amicale collaboration avec le bureau d'épidémiologie du Ministère de la Santé.

Je remercie tout d'abord la responsable du service Rungnapa Prasanthong, qui s'est montrée très intéressée par ce travail de cartographie et en a permis sa réalisation.

Je tiens tout particulièrement à remercier les trois personnes qui en ont été à l'origine Soawapak Hinjoy, Teerasak Chuxnum et Pemika Noiapai. Ce fut un énorme plaisir de travailler avec eux et de présenter ensemble ces résultats au Congrès International sur la Leptospirose.

Mes remerciements vont aussi à Yongjua Laosiritaworn pour nous avoir aidé dans la mise en forme des données.

Plusieurs collaborations sont nées localement, en province, par la rencontre avec de nombreux acteurs du système de soins.

Je remercie tout d'abord chaleureusement Prasert Kensupo, ancien directeur du centre de contrôle des maladies de la province de Sakhon Nakhon. Il m'a permis de m'introduire sur le terrain et de trouver les sites pour mener le piégeage des rongeurs dans cette province. Je remercie également sa collègue Trakoonthai Chaimaen pour les échanges de données. Prasert Kensupo a permis la rencontre avec Niramom Muangsom du bureau régional de contrôle et de prévention des maladies à Khon Khaen, qui a montré beaucoup d'intérêt pour ce travail et a ouvert les portes vers ses collègues de la province de Loei

Dans la province de Loei, mes remerciements vont à : Mesdames Surak, Num et Tchaweewan du Bureau du Ministère de la santé de la province de Loei, au Dr. Kannika de l'Hôpital de Loei, au personnel des dispensaires de Na Din Dam, de Na Pong et de Rai Muang qui m'ont généreusement introduit auprès des villageois et offert leurs facilités pour aider le travail de terrain. Je remercie sincèrement Lung Tajit ainsi que toute sa famille pour nous avoir accueilli et permis d'installer le laboratoire de terrain, et pour m'avoir transmis une partie de ses secrets de chasseur.

Dans la province de Phrae, le Bureau provincial du Ministère de la santé a été un partenaire privilégié, toujours disponible et enthousiaste pour ce travail : je remercie Mesdames Wasana Khaungaew et Nittaya pour l'échange des données, ainsi que Boy et Nek pour le travail sur le système d'information. Je remercie sincèrement Pimporn Mounghong pour avoir orchestré cette collaboration et l'avoir rendue si sympathique. Je remercie également Lung Tawin pour son aide sur le terrain et les formidables pièges traditionnels qu'il m'a offerts.

Enfin dans la province de Kanchanaburi, je remercie l'Armed Forces Research Institute of Medical Sciences (AFRIMS) pour nous avoir généreusement prêté leur laboratoire de terrain, ainsi que les locaux pour leur aide précieuse.

L'enquête de santé sur la province de Phrae constitue un autre aspect du travail de terrain. Nous l'avons initiée dans le cadre de la participation à l'Action Thématique Interdépartementale (ATI) de l'IRD : Usages des Sols et Sédiments : Impacts Sanitaires (U2SIS).

Je tiens vivement à remercier Jean-Louis Janeau qui m'a intégré dans ce projet et permis d'initier tout le travail sur la santé et les rongeurs dans la province de Phrae. Cela a été un plaisir de travailler ensemble dans l'esprit interdisciplinaire de l'ATI.

Je remercie également Arthorn Boonsaner (National Park, Wildlife and Plant Conservation Department, Thailand, Bangkok), Narissara Chatwatcharakul (IWMI-SEA, Bangkok) ainsi que tout le personnel de la station forestière Yom Watershed Research Station pour nous avoir ouvert leurs locaux et permis d'installer le laboratoire de terrain dans ce cadre privilégié.

Je remercie également Jean-Loup Guyot le coordinateur de cette ATI, pour avoir soutenu ce travail.

L'enquête de santé a été réalisée en collaboration avec Kraichat Tantrakarnapa de la Faculté de santé publique de l'Université de Mahidol. Je le remercie pour son aide et la mise à disposition de cinq de ses étudiants en master de santé publique, qui ont fait un travail remarquable : Sutasinee Ungsoongnern, Wassana Kanawapee, Duangkamon Pihusut, Prat Intrarasaksit, Narut Sahanavin. Mes remerciements vont aussi aux étudiants en « bachelor » de l'Université Maejo de Phrae qui ont été d'une grande aide au cours de la semaine d'enquête : merci à Mod, Green, Jo, Kwan, Young et Rin. Malgré l'emploi du temps très serré, ce fut un plaisir de travailler avec cette équipe si sympathique.

Quelques identifications de leptospires sur les rongeurs ont pu être réalisées à l'université de Mahidol. Je remercie sincèrement Galayanee Doungchawee et son équipe du Département de Pathobiologie pour leur collaboration.

Au cours de ce travail, je suis progressivement passé de l'utilisation de logiciels commerciaux de SIG à l'utilisation exclusive de SavGIS, développé par Marc Souris au sein de l'IRD.

Je tiens à remercier Marc pour la qualité et la disponibilité de ce travail. C'est très intéressant pour l'utilisateur que je suis de voir le logiciel évoluer et répondre progressivement aux nouvelles requêtes. J'espère que ces exemples d'application pourront convaincre d'autres personnes de rejoindre le nombre grandissant d'utilisateurs.

Je remercie également Florent Demoraes qui m'a formé à l'utilisation de SavGIS, avec le souvenir des bons moments passés dans le petit aquarium de l'université de Mahidol.

Pour avoir permis de compléter la base de données, je remercie Charoon Siengsan du National Statistic Office, le bureau de télédétection du Royal Forestry Department et le bureau de l'imagerie aérienne du Royal Thai Survey Department.

Je remercie l'Alliance française de Bangkok, qui m'a fait confiance pendant trois ans pour enseigner à temps partiel les mathématiques auprès des élèves militaires thaïlandais, boursiers pour l'école de Saint-Cyr, et ainsi permis de financer les premières années de ma thèse. Ce fut une très belle expérience.

Je tiens à exprimer ma gratitude envers les chercheurs qui ont accepté de faire partie de mon jury de thèse : Jeanne-Marie Amat-Roze (professeur à l'Université Paris XII), Serge Morand (directeur de recherche au CNRS), François Roger (Chef d'unité de recherche au CIRAD) et Marc Souris (Directeur de recherche à l'IRD).

Je dois beaucoup à mes parents qui m'ont toujours soutenu et accordé une grande confiance. Je ne sais comment les remercier : sans eux, ce travail n'aurait pas été possible.

Enfin, je dédie ma thèse à mon épouse Patty : sa présence et son amour m'ont aidé à garder la motivation dans les moments les plus difficiles.

Notes de présentation

Les termes suivis d'un astérisque sont définis dans le lexique des termes techniques.

Les encadrés saumon illustrent un point méthodologique.

Les encadrés crème apportent une explication d'ordre culturel.

Sommaire

TOME I

Avant-propos	5
Remerciements	7
Notes de présentation	10
Sommaire	11
Table des matières (Tome I).....	12
Introduction générale.....	19
1. Première partie : Les rongeurs sont un problème de santé publique en Thaïlande.....	27
1.1. La santé publique en Thaïlande.....	29
1.2. Les zoonoses transmises par les rongeurs	63
1.3. Epidémiologie des principales zoonoses transmises par les rongeurs, en Thaïlande	71
1.4. Rongeurs et Homme, animal sacré, hôte du jardin, gibier ou peste ?	99
2. Deuxième partie : Géographie des facteurs de risque, une approche spatio-temporelle de la dynamique des zoonoses transmises par les rongeurs	105
2.1. Méthodologie : recueil des données et mise en place d'une base de données spatialisée pour l'étude du risque	107
2.2. Les rongeurs, diversité et écologie en Thaïlande	137
2.3. Etude de la présence des germes pathogènes chez les rongeurs : <i>Leptospira spp.</i> , <i>Tsutsugamushi spp.</i> et <i>Hantavirus spp.</i>	149
3. Troisième partie : Risque de transmission des zoonoses par les rongeurs, accès aux soins et impact du risque	177
3.1. La distribution, en apparence uniforme, des structures de soins cache des inégalités dans l'offre, l'accès et le recours aux soins.....	179
3.2. Représentativité des données épidémiologiques de la leptospirose : standardisation et comparaison avec les autres pathologies diagnostiquées.....	189
3.3. Estimation du risque de transmission de zoonoses par les rongeurs	205
3.4. Discussion	223
Conclusion générale :	233
Bibliographie	237
Abréviations.....	287
Glossaire Thaï - français.....	288
Lexique des termes techniques.....	289
Liste des cartes.....	291
Liste des figures	292
Liste des graphiques.....	293
Liste des photos	294
Liste des tableaux	296
Annexes	301
Titre et résumé en Thaï.....	329

TOME II : Atlas d'accompagnement

Table des matières (Tome I)

Avant-propos	5
Remerciements	7
Notes de présentation	10
Sommaire	11
Table des matières (Tome I)	12
Introduction générale.....	19
1. Première partie : Les rongeurs sont un problème de santé publique en Thaïlande.....	27
1.1. La santé publique en Thaïlande	29
1.1.1. Présentation générale de la Thaïlande.....	29
1.1.1.1. Des royaumes du Siam au Pays de la liberté, une histoire tumultueuse	29
1.1.1.2. La Thaïlande en Asie du sud-est.....	31
1.1.1.3. Population, transition démographique et disparités régionales.....	36
1.1.1.4. Une croissance économique forte et fragile.....	43
1.1.1.5. Etats de santé : évolution, situation et projections.....	45
1.1.2. Le système de santé publique en Thaïlande, une couverture pyramidale totale du pays	52
1.1.2.1. Historique du système de soins et politique de la santé	52
1.1.2.2. Organisation administrative du pays.....	53
1.1.2.3. Organisation actuelle du système public et structures de soins.	54
1.1.2.4. Système privé de santé : offre, qualité, coût	57
1.1.2.5. Couverture des dépenses de santé et protection sociale.....	60
1.1.2.6. Evolution des comportements de santé.....	61
1.2. Les zoonoses transmises par les rongeurs	63
1.2.1. Les rongeurs murins, une sous-famille diversifiée et adaptée aux différents écosystèmes	63
1.2.1.1. Diversité des espèces, des comportements et des biotopes : importance des rongeurs murins dans l'occupation des milieux naturels.....	63
1.2.1.2. Importance sanitaire et économique des rongeurs dans le monde	65
1.2.2. Les rongeurs, hôtes ou vecteurs de zoonoses	66
1.2.2.1. Les zoonoses, quelques définitions.....	66
1.2.2.1.1. Différents modes de transmission des zoonoses par les rongeurs.....	67
1.2.2.2. Les zoonoses transmises par les rongeurs sont d'origine variée.....	68
1.3. Epidémiologie des principales zoonoses transmises par les rongeurs, en Thaïlande	71
1.3.1. La leptospirose, un problème majeur de santé publique suite à de récentes épidémies	72
1.3.1.1. La leptospirose, une zoonose cosmopolite, particulièrement fréquente en climat tropical et humide.....	72
1.3.1.2. La leptospirose, émergence et recul en Thaïlande depuis dix ans	75
1.3.1.3. La leptospirose, des épidémies localisées.....	77
1.3.1.4. La leptospirose, au gré de la saison des pluies.....	80

1.3.2. Le typhus des broussailles, exclusivement endémique en Asie du sud-est, et ré-émergent en Thaïlande.....	81
1.3.2.1. Le typhus des broussailles, une transmission des rongeurs à l'homme par la piqûre de larves d'acariens.....	81
1.3.2.2. Le typhus des broussailles, une incidence élevée et croissante en Thaïlande.....	83
1.3.2.3. Le typhus des broussailles, une distribution en apparence liée à l'environnement physique.....	85
1.3.2.4. Le typhus des broussailles, une incidence en superposition des courbes de précipitation.....	87
1.3.2.5. Le typhus des broussailles et la leptospirose, des fluctuations concomitantes.....	88
1.3.3. Les hantavirus, du soupçon à l'identification.....	90
1.3.3.1. Les hantaviroses la plus insoupçonnable des infections des rongeurs à l'homme.....	90
1.3.3.2. Les hantaviroses, à travers les mailles du diagnostic ?.....	91
1.3.4. La mélioïdose, un risque latent pour les agriculteurs.....	92
1.3.4.1. La mélioïdose, à réservoir hydrotellurique, une « bombe à retardement ».....	92
1.3.4.2. La mélioïdose, en voie de dissémination en Thaïlande.....	94
1.3.4.3. La mélioïdose, sa distribution spatiale.....	95
1.3.4.4. La mélioïdose, une saisonnalité peu marquée.....	97
1.3.4.5. La mélioïdose, éléments de comparaison avec la leptospirose et le typhus des broussailles.....	98
1.4. Rongeurs et Homme, animal sacré, hôte du jardin, gibier ou peste ?.....	99
1.4.1. Le rat, animal sacré ?.....	99
1.4.2. Des comportements culturellement contrastés.....	100
2. Deuxième partie : Géographie des facteurs de risque, une approche spatio-temporelle de la dynamique des zoonoses transmises par les rongeurs.....	105
2.1. Méthodologie : recueil des données et mise en place d'une base de données spatialisée pour l'étude du risque.....	107
2.1.1. Approche conceptuelle de l'étude du risque.....	107
2.1.1.1. Le risque, produit de l'aléa et de la vulnérabilité.....	107
2.1.1.2. Approche exploratoire des facteurs de risque.....	108
2.1.2. Mise en place du Système d'information Géographique « rongeurs et santé ».....	110
2.1.2.1. Collecte et intégration des données.....	110
2.1.2.2. Problèmes de sources.....	111
2.1.2.2.1. Des limites administratives changeantes.....	111
2.1.2.2.2. Des données non disponibles.....	112
2.1.2.2.3. Des problèmes de langue.....	113
2.1.3. Travail de terrain, étude des rongeurs.....	113
2.1.3.1. Possibilités et limites du travail de terrain.....	113
2.1.3.2. Protocole de travail : piégeage et dissection.....	114
2.1.3.3. Mise en place d'une base de données « rongeurs ».....	117
2.1.4. Analyse des modes de l'occupation de l'espace par télédétection.....	118
2.1.4.1. La télédétection, une observation à distance de la Terre.....	118
2.1.4.2. Fondements de la télédétection.....	119
2.1.4.3. Sondes et satellites : les données disponibles et pertinentes.....	121
2.1.4.4. Extraction des données spatiales d'intérêt en épidémiologie.....	122
2.1.4.5. Place de la télédétection en santé, potentiel et limites.....	127
2.1.4.6. La télédétection, un outil puissant mais dangereux.....	130
2.1.4.7. Description de l'occupation des sols par l'analyse d'images Landsat en 2000.....	132

2.1.5.	Enquête de santé à Phrae.....	134
2.2.	Les rongeurs, diversité et écologie en Thaïlande	137
2.2.1.	Les principaux rongeurs murins de Thaïlande, taxonomie et biogéographie	137
2.2.1.1.	Taxonomie des Murinae	137
2.2.1.2.	Identification et description des principales espèces de Murinae en Thaïlande	139
2.2.2.	Estimation des aires de répartition et de la présence potentielle des rongeurs d'intérêt médical.....	140
2.3.	Etude de la présence des germes pathogènes chez les rongeurs : <i>Leptospira spp.</i> , <i>Tsutsugamushi spp.</i> et <i>Hantavirus spp.</i>	149
2.3.1.	Une étonnante diversité de leptospires chez l'Homme et les rongeurs.....	149
2.3.1.1.	Des enquêtes de séroprévalence au sérotypage des leptospires sur les rongeurs : des résultats riches mais une interprétation délicate.....	149
2.3.1.2.	Sérotypage vis à vis des antigènes de leptospires sur des patients : une connaissance limitée des infections humaines	157
2.3.2.	Le typhus des broussailles : une prévalence élevée	162
2.3.3.	Les hantaviroses : pas de cas déclarés malgré une prévalence non négligeable chez les rongeurs.....	165
2.3.4.	Peu de travaux ont porté sur d'autres agents pathogènes liés aux rongeurs.	170
3.	Troisième partie : Risque de transmission des zoonoses par les rongeurs, accès aux soins et impact du risque	177
3.1.	La distribution, en apparence uniforme, des structures de soins cache des inégalités dans l'offre, l'accès et le recours aux soins	179
3.1.1.	La variabilité spatiale de l'offre de soins révèle une fracture médicale	179
3.1.1.1.	La qualité de la desserte médicale varie selon les régions	179
3.1.1.2.	L'offre de soins privée déséquilibre la desserte en médecins	181
3.1.1.3.	La desserte médicale reflète-t-elle les problèmes de santé ?.....	182
3.1.2.	La situation géographique et sociale conditionne l'accès et le recours aux soins	184
3.1.2.1.	Les populations sont inégales devant l'accès et le recours aux soins	184
3.1.2.2.	Les difficultés d'accès reflètent-elles les problèmes de santé ?.....	187
3.2.	Représentativité des données épidémiologiques de la leptospirose : standardisation et comparaison avec les autres pathologies diagnostiquées.....	189
3.2.1.	La géographie de la leptospirose n'est pas liée à la structure démographique des populations mais à leur activité.....	189
3.2.1.1.	Standardisation des incidences selon l'âge	189
3.2.1.2.	Standardisation des incidences selon l'activité agricole	194
3.2.2.	La géographie de la leptospirose est indépendante de celle de l'ensemble des pathologies diagnostiquées.	199
3.3.	Estimation du risque de transmission de zoonoses par les rongeurs	205
3.3.1.	Facteurs d'exposition et de vulnérabilité des populations face aux zoonoses transmises par les rongeurs	205
3.3.1.1.	Les agriculteurs sont les personnes les plus exposées aux agents pathogènes présents dans le sol ou dans l'eau.....	205
3.3.1.2.	Le risque est accru au cours de la saison des pluies.....	209
3.3.1.3.	Les populations sont exposées aux rongeurs sur leur lieu de résidence	212
3.3.1.4.	La chasse et la consommation de rats créent des situations à risque	214

3.3.2. Estimation du risque de transmission de la leptospirose.....	217
3.4. Discussion.....	223
3.4.1. Discussion sur la première hypothèse : les changements environnementaux sont à l'origine de l'émergence des germes pathogènes transmis par les rongeurs.	223
3.4.2. Discussion sur la deuxième hypothèse : la variabilité spatiale des épidémies transmises par les rongeurs est liée aux différents niveaux de vulnérabilité et d'exposition des populations.....	228
 Conclusion générale :.....	 233
 Bibliographie	 237
Abréviations.....	287
Glossaire Thaï - français.....	288
Lexique des termes techniques.....	289
 Liste des cartes.....	 291
Liste des figures	292
Liste des graphiques.....	293
Liste des photos	294
Liste des tableaux	296
 Annexes	 301
Annexe 1 : Base de données, sources, échelles (les métadonnées complètes sont disponibles sur le CD d'accompagnement).	
Annexe 2 : Fiche d'enregistrement des malades du Ministère de la Santé thaïlandais (en Thaï).	
Annexe 3 : Calendrier des missions de terrain.	
Annexe 4 : Fiche de description des sites de capture.	
Annexe 5 : Fiche de description des rongeurs.	
Annexe 6 : Mensurations des principaux rongeurs murins collectés pendant cette thèse.	
Annexe 7 : Satellites, capteurs et champs d'application en télédétection.	
Annexe 8 : Les indices de végétation les plus couramment utilisés.	
Annexe 9 : Bibliographie des applications de la télédétection en santé.	
Annexe 10 : Questionnaire de l'enquête de santé menée à Phrae en 2006.	
 Titre et résumé en Thaï.....	 329



Carte 1 : La Thaïlande au cœur de l'Asie du sud-est (d'après une mosaïque d'images Google Earth)

Introduction générale

*« Un mal qui répand la terreur, [...] La peste (puisque'il faut l'appeler par son nom) »
Les animaux malades de la peste, La Fontaine*



Figure 1 : Costume de médecin, porté à Marseille pour se protéger de l'épidémie de peste, en 1720

L'image que nous avons des rats est souvent négative : sales, nauséabonds mais discrets et intelligents, ils sortent des canalisations des grandes villes pour dévorer ce qui s'offre à eux et transmettre nombre de maladies. Les rats répugnent et terrifient. Pourtant, nous sommes rarement confrontés aux rats ou aux souris, aussi bien à la ville qu'à la campagne. Cette image est imprégnée de notre histoire, et en particulier des frayeurs causées par les grandes épidémies. Parmi elles, de 1346 à 1352, la Grande Peste s'est propagée depuis Constantinople à l'Europe entière en décimant l'espèce humaine et stoppant la croissance démographique de ces temps moyenâgeux. En Europe, 20 millions de personnes, soit le quart de la population, ont été victimes de cette maladie, dont l'agent pathogène, la bactérie *Yersinia pestis*, est véhiculée par les puces de rats (figure 1). Les plus anciennes épidémies de peste connues remontent à 430 av. J.-C., à Athènes où 25 à 50% de la population y a succombé. Puis au VI^{ème} siècle, une épidémie d'envergure comparable à la Grande Peste a ravagé le bassin méditerranéen sous l'empereur romain Justinien et, en écho, des épidémies plus limitées suivirent au VII^{ème} et VIII^{ème} siècles. Depuis la dernière grande peste, à Londres en 1665, qu'un incendie stoppa, la peste a disparu d'Europe, laissant dans les mémoires la peur des rats. L'amélioration de l'hygiène, des conditions de vie et de l'habitat a permis de limiter les contacts entre les rats et les hommes, réduisant les possibilités de transmission. Aujourd'hui, si la peste touche encore épisodiquement les pays les plus pauvres, les progrès des soins permettent d'en limiter les conséquences : les antibiotiques sont

largement disponibles et l'accès aux soins s'améliore globalement. L'histoire de la peste est très enrichissante quant à la compréhension de l'émergence des zoonoses liées aux rongeurs. Si les mécanismes et les dynamiques de transmission sont en soi les mêmes, l'environnement naturel des rongeurs, les conditions de vie des populations, le recours aux soins et la qualité du système de soins changent et varient d'un continent à l'autre, d'un pays à l'autre ou d'une personne à l'autre.

Contexte de l'étude

En 1996 émerge soudainement en Thaïlande la leptospirose. Due à une bactérie, principalement dispersée dans l'environnement par les rongeurs, cette maladie devient l'une des zoonoses diagnostiquées les plus morbides et mortelles dans le pays. Les rongeurs, alors considérés comme nuisance agricole ou gibier, reprirent tout à coup leur image de perfides meurtriers, dans les campagnes touchées. Le Ministère de la santé publique s'est rapidement organisé pour adapter les soins à cette pathologie méconnue mais rien n'a été fait, en amont, pour essayer de la combattre, les causes de son émergence demeurant mystérieuses (figure 2). La connaissance de la dynamique des vecteurs et des pathogènes eux-mêmes aurait permis d'apporter des éléments de réflexion. Malheureusement, ni les densités de rongeurs, ni les prévalences humaines ou animales des agents pathogènes n'ont été suivies. La leptospirose semble avoir trouvé des conditions favorables à son émergence dans le contexte d'évolution rapide, à la fois physique et humaine, de la Thaïlande. L'étude de la dynamique spatio-temporelle de la leptospirose, requiert une analyse de tous les paramètres agissant sur ses conditions d'émergence ou de recul. La comparaison avec les autres pathologies transmises par les rongeurs pourrait aussi apporter des éléments de compréhension. Ainsi, cette recherche propose d'appréhender le risque de transmission à l'Homme d'agents pathogènes par les rongeurs, en utilisant une approche géographique, où toute composante de l'environnement physique, écologique ou humain peut se révéler explicative.



Le Ministère de la Santé thaïlandais a édité de nombreuses brochures présentant la leptospirose, son cycle de transmission et ses symptômes. Elles s'adressent directement au personnel de santé alors que d'autres sont en libre service dans les structures de soins publiques ou destinées aux écoliers. L'objectif du Ministère est de sensibiliser au danger et de préconiser des mesures de prévention.

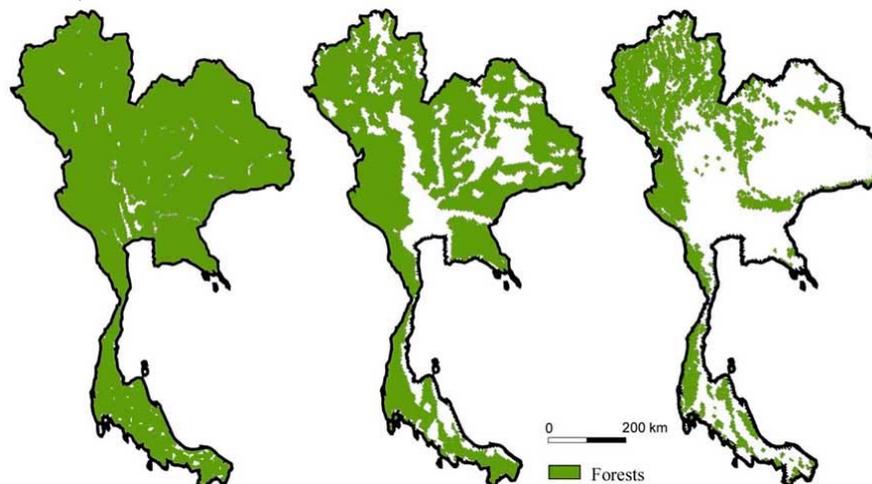
Figure 2 : Eventail des brochures d'information sur la leptospirose.

Problématique et hypothèses de recherche

La notion de risque, évoquée ici, renvoie à la probabilité de survenue d'un événement. Le risque est nul si l'événement est impossible et total s'il est certain. L'étude d'un risque requiert l'estimation de cette probabilité par l'identification et l'analyse des facteurs, dont la présence et l'interaction contribuent à l'augmentation du risque. Pour la transmission de zoonoses par les rongeurs, les grands facteurs de risque sont la présence des agents pathogènes associés aux rongeurs. Face à cet aléa, rongeurs et pathogènes, le risque varie selon la vulnérabilité des personnes et est conditionné par des facteurs d'exposition. L'estimation des risques sanitaires est aujourd'hui centrale dans les politiques de santé où l'on cherche à évaluer pour prévoir et prévenir.

Première hypothèse : les changements environnementaux sont à l'origine de l'émergence des germes pathogènes transmis par les rongeurs.

A la jonction de la péninsule indochinoise et de la péninsule malaise, la Thaïlande (ประเทศไทย ; prathet thai, littéralement le pays de la liberté) révèle une étonnante diversité, physique et climatique, mais aussi démographique et culturelle (carte 1). Une telle richesse se traduit par la multitude de la faune et de la flore, à l'image des populations de rongeurs dont l'identité, l'écologie et la distribution demeurent peu connues. Les changements environnementaux considérables, qui ont eu lieu au cours du vingtième siècle, ont perturbé les structures des populations de rongeurs. Au début du dix-neuvième siècle, la Thaïlande comptait environ un million d'habitants, vivant le long des côtes et des principaux cours d'eau. 95 % du territoire étaient alors couverts de forêts et de marécages (carte 2).



Sources : 1840 et 1950 : adapté d'après Phongpaichit et Baker, 1998
1993 : Royal Forest Department

Carte 2 : Evolution des surfaces forestières de 1840 à 1950 et 1993.

L'augmentation globale de la population s'est accompagnée d'une demande croissante en produits agricoles impliquant la déforestation et le drainage des zones humides. Malgré une préoccupation environnementale grandissante, la déforestation s'est poursuivie, avec une couverture forestière passant de 27,4 millions d'hectares (soit 53,3 % de la surface du pays) en 1961 à 13,4 millions d'hectares (soit 26,0 %) en 1993. La gestion du patrimoine forestier et les activités de reboisement sont restées limitées. Depuis les années 80, les forêts du nord ont été les plus marquées avec des taux de déboisement avoisinant 6% (Royal Forest Department, 2004). Pour les rongeurs, de telles modifications des biotopes se sont accompagnées de variations de la densité des espèces, pouvant conduire à la disparition ou à l'émergence d'espèces, qui demeuraient rares.

L'émergence ou le recul des zoonoses liées aux rongeurs peut se situer dans un tel contexte de déséquilibre environnemental où un vecteur, ou bien un agent pathogène, prend soudain le dessus pour se retrouver massivement au contact de l'Homme. Ceci constitue une première hypothèse pour expliquer les épidémies de leptospirose en Thaïlande. Pour appuyer cette idée peuvent être mentionnés quelques exemples remarquables de l'effet des changements environnementaux sur le recul ou l'émergence de maladies infectieuses : la fièvre Dengue s'est étendue de l'urbain au rural

(Barbazan et al., 2004) ; la dynamique de transmission de l'Encéphalite Japonaise a changé du nord au sud (Gonzalez et al., 2004), les cycles de maintien du virus s'adaptant à de nouveaux hôtes (i.e. cycle porc-culex) ; les élevages intensifs (porcs et volailles) ont modifié les relations parasite/Homme/faune sauvage (comme l'ont illustré le SRAS ou la grippe aviaire) ou encore la pullulation de certaines populations de vecteurs et/ou hôtes, comme les tiques ou les cigognes bec ouvert.

Deuxième hypothèse : la variabilité spatiale des épidémies transmises par les rongeurs est liée aux différents niveaux de vulnérabilité et d'exposition des populations.

Si la présence des pathogènes et/ou des rongeurs est une condition nécessaire à la transmission de ces zoonoses, l'infection n'a lieu que si l'Homme est exposé et sensible à l'agent pathogène. Dans un contexte où les rapports hommes – rongeurs peuvent être très différents d'une personne à l'autre, les facteurs d'exposition seront tout aussi variables. L'Homme vit-il à proximité des rongeurs ? Lui arrive-t-il de pénétrer dans des lieux infectés par les rongeurs ? Cette situation est-elle recherchée s'il les chasse ou est-elle subie si des rats ou des souris sont présents sous son toit ? Quel est son comportement face aux rongeurs, est-il indifférent, les repousse-t-il hors de son espace de vie, les fait-il disparaître, ou bien encore les mange-t-il ?

Derrière la valeur symbolique, généralement négative prêtée aux rats propagateurs d'épidémies ou destructeurs de récoltes, le rapport de l'homme aux rongeurs varie selon le contexte culturel. Ainsi, le rat est présent dans différentes religions, considéré comme un animal de l'âme, probablement du fait de son intelligence et de sa sociabilité.

Au sud de la Chine, le rat est censé avoir apporté le riz à l'Homme tandis qu'au Japon il est associé à la chance. Dans le temple de Deshnoke, en Inde, les rats sont vénérés et nourris par les fidèles. Si un homme tue l'un des rongeurs par inadvertance, il doit, pour expier sa faute, offrir un rat en or de même taille que l'animal tué. Selon la légende, les corps des rats seraient le refuge des âmes d'enfants, morts au cours d'épidémies.



Figure 3 : Dans la mythologie vietnamienne, le rat incarne le faible : il apporte des présents au chat pour acheter sa bienveillance

L'hétérogénéité spatiale de ces pathologies serait ainsi liée à la disparité des facteurs humains, démographiques, sociaux ou culturels. Ceci constitue la seconde hypothèse, envisagée comme axe de recherche.

Enfin, il est important de mentionner que la connaissance que nous avons des épidémies, à travers les données de morbidité, n'est qu'une image de la réalité que transmet le système de soins. Très simplement, tout malade qui ne consultera pas de médecin ne sera pas reporté dans les déclarations du Ministère de la santé. Il existe donc un écart inévitable entre l'observation d'une épidémie et sa réelle ampleur, qu'il conviendra d'évaluer. Ces divergences sont d'autant plus importantes qu'il demeure des disparités des populations face à l'accès aux soins. La Thaïlande, considérée au début du vingt-et-unième siècle comme un pays en voie de développement, connaît une croissance économique rapide qui a permis l'essor de son système de soins. Les transitions démographique et épidémiologique sont en cours, mais à différents stades selon les régions, reflétant ainsi les déséquilibres d'une croissance essentiellement urbaine. Elle a orienté son économie de l'agriculture vers l'industrie et les services, entraînant de profondes mutations institutionnelles, politiques, sociales et culturelles, dans un contexte de mondialisation. Les variations spatio-temporelles de l'offre, de l'accès et du recours aux soins sont déterminantes dans la qualité du report des cas, et seront prises en compte dans l'interprétation des données.



Présentation du plan

Ce travail se place dans une optique d'évaluation du risque de transmission de zoonoses par les rongeurs.

La **première partie** fait l'état des lieux des différentes composantes de la thématique abordée : les rongeurs et leurs pathogènes en Thaïlande. Un premier sous-chapitre décrit le contexte géographique de l'étude, la Thaïlande au début du XXI^{ème} siècle. D'une part, la connaissance de la diversité des milieux est un préalable à la compréhension de la distribution des populations animales. D'autre part, le recadrage dans le contexte démographique, social et économique est nécessaire pour comprendre les questions de santé posées. Un état des lieux du système de soins, sa mise en place, son organisation et sa qualité, permet de comprendre quelle est l'offre de soins sur le pays et d'appréhender quelques comportements de santé. Le second sous-chapitre expose l'état des connaissances sur les rongeurs et les zoonoses qu'ils transmettent. Si les rongeurs ont longtemps été étudiés, les avancées des sciences, et de la génétique en particulier, ont totalement remis en cause la description des espèces. L'intérêt porté aux rongeurs, en tant que vecteurs de pathogènes de l'environnement vers l'Homme, est récent et la liste des pathogènes décrits ne cesse de s'allonger. Ce sous-chapitre vise seulement à synthétiser les avancées récentes, hors du contexte thaïlandais, avant d'aborder la situation en Thaïlande, dans le troisième sous-chapitre. Celui-ci expose l'épidémiologie des zoonoses transmises par les rongeurs, à partir des données fournies par le Ministère de la santé thaïlandais. Enfin, le quatrième sous-chapitre fait le lien entre l'Homme, les rongeurs et l'environnement, en considérant les relations hommes-rongeurs pour ouvrir la réflexion sur les situations à risque.

La **deuxième partie** cherche à identifier et analyser les facteurs de risque. Un premier sous-chapitre pose les problèmes méthodologiques et les solutions choisies au cours de ce travail. Il définit tout d'abord l'approche conceptuelle du risque, envisagée comme ossature de l'analyse. Il reprend l'ensemble des choix méthodologiques optés pour la collecte des informations, la mise en place de la base de données et le travail de terrain dédié aux rongeurs. Enfin, avant d'aborder l'acquisition et l'analyse de données issues de la télédétection, il propose un état des lieux critique des possibilités des techniques de télédétection et de l'utilisation qu'il en a été fait dans le domaine de la santé. Les deux sous-chapitres suivants abordent les deux grandes composantes des facteurs de risque, les rongeurs et leurs principaux pathogènes. Un intérêt est particulièrement porté à la connaissance de la distribution des principales espèces de rongeurs dans l'objectif de spatialiser le risque. Une revue bibliographique, complétée par des travaux de sérologie sur les animaux piégés, s'attache alors à distinguer les prévalences par espèce pour la leptospirose, le typhus des broussailles et les hantaviroses

La **troisième partie** vise à estimer le risque et son impact. Un premier sous-chapitre croise les facteurs de risque décrivant la présence/absence des vecteurs rongeurs et de leurs pathogènes pour mesurer l'aléa. Le second sous-chapitre confronte l'aléa aux données épidémiologiques. Au préalable, ces données d'incidence sont standardisées pour évaluer l'influence des facteurs de confusion comme l'âge en particulier, et sont comparées à celles d'autres pathologies enregistrées de la même manière par le système de santé publique. Le troisième sous-chapitre cherche enfin à mesurer l'importance des comportements de santé dans cette géographie du risque et quel peut être le rôle de la prévention. Une discussion vient alors clore cette troisième partie.

1. Première partie :

Les rongeurs sont un problème de santé publique en Thaïlande



Photo 1 : *Bandicota indica*, rongeur des rizières (Photo : Herbreteau V.)

L'Asie du sud-est, décrite comme le berceau phylogéographique* des rats et des souris, les rongeurs murins (Michaux et al., 2001), enregistre depuis les années 90 des épidémies récurrentes dues à des germes pathogènes véhiculés par les rongeurs. Nous allons tout d'abord envisager le contexte géographique, c'est-à-dire à la fois physique, biologique et humain, de cette étude en Thaïlande, ainsi que le contexte sanitaire. Nous ferons ensuite l'état des lieux des connaissances sur les rongeurs, leurs pathogènes, ainsi que les épidémies qui ont émergé en Thaïlande.

1.1. La santé publique en Thaïlande

1.1.1. Présentation générale de la Thaïlande

1.1.1.1. Des royaumes du Siam au Pays de la liberté, une histoire tumultueuse

Le territoire qui forme aujourd'hui la Thaïlande a été occupé depuis 4000 à 5000 ans, comme l'attestent les découvertes archéologiques de Ban Chiang, dans la région nord-est. Les premières peuplades furent des précurseurs dans l'utilisation des armes, du bronze puis du fer. Elles ont développé, sous un climat tropical, la culture du riz et l'élevage. En revanche, l'histoire du peuple thaïlandais est plus récente : il s'est installé depuis près de 900 ans. Différents royaumes se sont succédés au gré des invasions subies ou orchestrées envers les voisins jusqu'au XVII^{ème} siècle, avant qu'une dynastie, celle des Chakri, ne stabilise le pays et instaure la neutralité politique (Source : Exposition permanente au Musée National de Bangkok) :

I^{er} - VI^{ème} siècle : l'empire du Fu-nan domine la région : les populations habitent la partie centrale du pays actuel et parlent un langage proche du Môn et du Khmer ;

III^{ème} - V^{ème} siècle : le royaume de Dan Sun domine le Sud ;

VI^{ème} - XI^{ème} siècle : le royaume du Dvaravati domine les régions centre et nord-est. Le bouddhisme theravâda, issu du bouddhisme de Ceylan et toujours très présent dans la culture thaïlandaise, naît de cette période ;

VII^{ème} siècle : le royaume de Haripunchai domine le Nord ;

VII^{ème} siècle : le royaume de Srivijaya s'étend au Sud ;

IX^{ème} - XIII^{ème} siècles : les Khmers, sous le royaume d'Angkor, envahissent le Nord-Est et la plaine centrale, jusqu'à la province de Kanchanaburi, près de la frontière birmane, où se trouve le temple khmer le plus à l'ouest. Les populations se métissent ;

X^{ème} - XI^{ème} siècles : le peuple Thaï immigre en provenance des régions à la frontière du Viêt-Nam et de la Chine et occupe principalement les zones de montagne ;

XIII^{ème} siècle : la région est divisée en petits états dont le plus grand est le royaume de Sukhothai qui domine et s'étend, principalement face au royaume d'Angkor ;

XIII^{ème} - XVII^{ème} siècles : le royaume Thaï du Lanna domine le Nord ;

XV^{ème} siècle : les migrations du peuple Thaï se poursuivent vers le Centre où s'établit le royaume d'Ayuthaya en 1351. Il prospère grâce au commerce international et vainc les royaumes d'Angkor (1434) et de Sukhothai (1438). Le royaume de Birmanie vainc à son tour le royaume d'Ayuthaya en 1569 après avoir annexé le royaume de Lanna en 1558 (photos 2 et 3). Ayuthaya retrouve son indépendance en 1590, et la prospérité économique en développant le commerce avec les Anglais et les Hollandais.



Photos : Herbreteau V.

Photos 2 et 3 : Guerres d'Ayuthaya, maquettes du Musée National de Bangkok

XVIII^{ème} - XIX^{ème} siècles : Les Birmans envahissent à nouveau le royaume d'Ayuthaya, conduisant à de longues batailles, beaucoup de morts et une situation de famine, avant que des invasions chinoises en Birmanie ne les obligent à la retraite. Ayuthaya, détruite, fait alors place à une nouvelle capitale sur le delta du Chao Phraya, près du Golfe de Siam, qui devient Bangkok. Ce fut en 1782 le début de la dynastie des Chakri, avec Rama I^{er}. Le territoire se fixe au XIX^{ème} siècle, puis le royaume s'ouvre sur l'Occident.

XX^{ème} siècle : La colonisation française conquiert des territoires de l'actuel Laos et Cambodge sur le Royaume de Siam, par traité, en 1904 et 1907. En 1909, le Royaume de Siam cède des territoires de l'actuel nord de la Malaisie à l'Angleterre. Le sultanat de Pattani est intégré à la Thaïlande cette même année et divisé en quatre provinces, Pattani, Narathiwat, Satun et Yala. Dès la fin du XIX^{ème} siècle, le gouvernement de Chulalongkorn entreprend d'importantes réformes administratives, créant les ministères et différents services publics, services postaux, les chemins de fer, des hôpitaux et des écoles.

La monarchie absolue est renversée en juin 1932, par un petit groupe révolutionnaire. Le Royaume de Siam devient alors une monarchie constitutionnelle, avec une présence croissante des militaires. En 1939, il est baptisé Thaïlande, littéralement le « pays de la liberté », par le premier ministre Phibun Songkhram, souhaitant alors affirmer l'identité thaïlandaise en distinction des minorités chinoises. Si la constitution est souvent transformée, le gouvernement populaire, malmené, n'est jamais renversé. En 1997, la 16^{ème} Constitution, la "Constitution du peuple", impose le vote obligatoire, l'information gouvernementale accessible à tous et le droit à l'enseignement gratuit jusqu'à l'âge de 12 ans (le taux d'alphabétisation de la Thaïlande, 93,8 %, est l'un des plus élevés d'Asie du sud-est). Aujourd'hui, le roi exerce le pouvoir législatif sous le contrôle du gouvernement dirigé par le Premier Ministre et le pouvoir judiciaire sous le contrôle du système légal de la Nation. Il intervient rarement dans les décisions gouvernementales. La famille royale s'investit principalement pour des actions de développement économique et social en faveur de la population. Elle bénéficie en retour d'un respect considérable.

Depuis 1997 : Après une croissance économique rapide durant les années 90, Bangkok décide de laisser flotter sa monnaie, le 2 juillet 1997. Une crise économique et financière touche la Thaïlande et gagne peu à peu les voisins. Le baht est dévalué de 40 %, révélant les déséquilibres structurels des tigres asiatiques. Bangkok signe un accord avec le FMI et reçoit un crédit de 16,7 milliards de dollars. Le gouvernement s'engage à entreprendre des réformes économiques et financières. Le Parlement adopte la seizième constitution le 27 septembre 1997 et met en place de nouveaux organes de contrôle tels que la Cour constitutionnelle, la Commission nationale de lutte contre la corruption, la Commission électorale ainsi qu'une Commission nationale des droits de l'homme. Le premier ministre, le général Chavalit Yongchaiyudh, démissionne, marquant la fin de la domination des militaires. Chuan Leekpai, du Parti démocrate, lui succède. En 1998, la récession frappe tous les secteurs d'activité. De janvier à juin, un programme est mis en place pour renvoyer 300 000 travailleurs étrangers.

Thaksin Shinawatra, l'homme d'affaires le plus riche du royaume, crée son parti, le Thai Rak Thai (les Thaïlandais aiment les Thaïlandais) et obtient très vite la victoire aux élections législatives, en 2001. Elu premier ministre, il s'impose rapidement, contrôlant ses opposants, la critique et les médias, et agissant pour le bien des milieux d'affaires. Quelques épisodes



Le rouge représente le pays, le blanc la religion et le bleu la monarchie.

Figure 4 : Drapeau de la Thaïlande



Le garuda (ou aigle en sanscrit) est un oiseau fabuleux, aussi véhicule de Vishnu dans la mythologie indienne.

Figure 5 : Emblème de la monarchie en Thaïlande

noirs se sont succédés marquant une dégradation des droits de l'homme au cours de son pouvoir. En 2003, la lutte contre les drogues et en particulier le Yaba, littéralement le médicament qui rend fou (des méthamphétamines), se conclut par plus de 2 500 morts et 52 000 arrestations (Nation, 2004). Depuis 2004, une insurrection dans le Sud islamisé provoque régulièrement de violents combats avec les forces armées : 820 personnes y ont trouvé la mort entre janvier 2004 et juillet 2005 (Agence France Presse, 2005). Fin 2005, des protestations s'élèvent contre le Premier ministre et son entourage l'accusant de corruption et demandant son départ. En septembre 2006, le gouvernement est renversé par un coup d'état organisé par les chefs militaires et recevant l'approbation du roi.

1.1.1.2. La Thaïlande en Asie du sud-est

- Le lien entre le continent asiatique et la péninsule indo-malaise

Par sa situation, à la jonction de la péninsule indo-malaise et du continent asiatique, la Thaïlande offre un environnement privilégié pour une grande diversité de rongeurs.

En s'étendant sur 1 860 kilomètres du nord au sud et 775 kilomètres d'est en ouest, pour une superficie de 513 115 kilomètres carrés, elle bénéficie d'une richesse environnementale rare, comprenant 15 écosystèmes terrestres et une large variété d'écosystèmes aquatiques. Son contour évoque la tête d'un éléphant, l'animal sacré. Parmi les dix pays de l'Asie du sud-est, la Thaïlande est le troisième plus grand pays par sa superficie. Elle comprend 8 031 kilomètres de frontières, dont 2 705 maritimes. Cette situation fait de la Thaïlande un carrefour obligé pour les échanges régionaux (photo 4). Elle est délimitée par l'Union du Myanmar à l'ouest, par la République Démocratique du Laos au nord-est, par le Royaume du Cambodge à l'est et fait la jonction avec la Malaisie au sud.



Photo : Herbreteau V.

La ville de Phitsanulok, au cœur de la Thaïlande, se trouve à 670 kilomètres de Yangon, la capitale du Myanmar, à 1460 kilomètres de Kuming, au sud de la Chine et à 1840 kilomètres de Kuala Lumpur, la capitale de la Malaisie

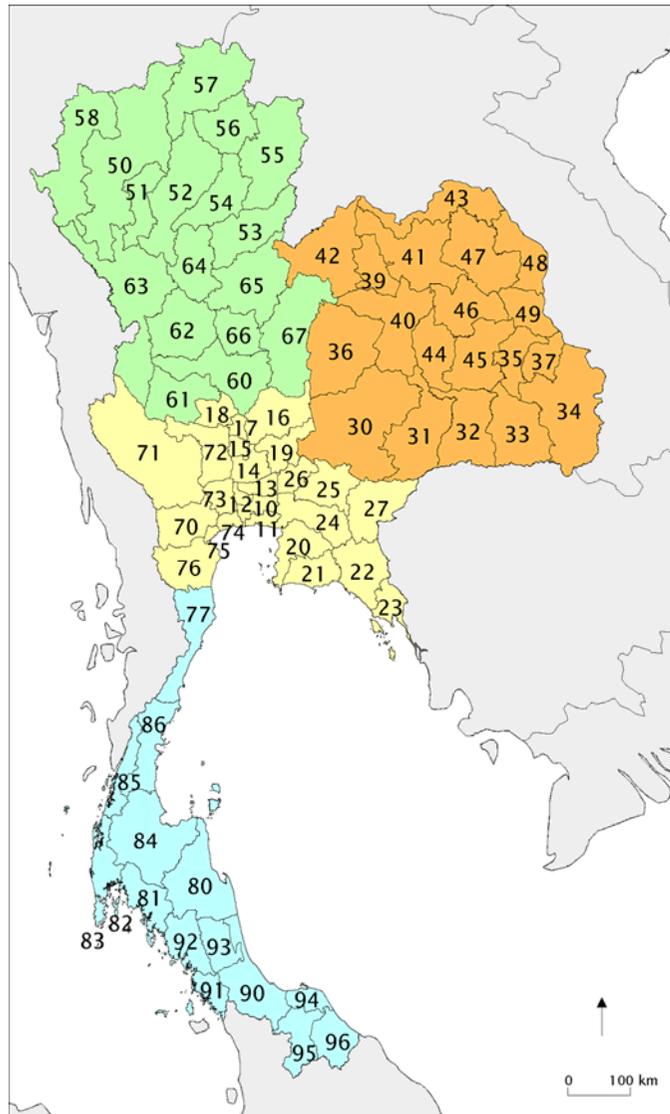
Photo 4 : Phitsanulok, le carrefour de l'Asie du sud-est

o Un relief et climat contrasté,

La Thaïlande se compose de quatre ensembles géographiques (Atlas - carte 1.1.1.a. et carte 3) :

- la plaine centrale est une région plate et fertile. La grande plaine du fleuve Chao Phraya et de ses affluents (Ping, Wang, Yom et Nan) constitue un espace privilégié pour la culture intensive du riz (Molle et Srijantr, 2003). D'autres bassins y sont reliés, couvrant au total 20% du territoire : celui des rivières Mae Klong, Petchaburi, Bang Prakong, Thachin et Pa Sak. Cette région est la plus peuplée et la plus riche du pays ;
- la région nord-est, ou plateau de Khorat, s'élève entre 200 et 300 mètres au dessus du niveau de la mer. Couvrant un tiers du territoire et représentant 40% des terres agricoles, le Nord-Est est la région la plus peuplée et la plus pauvre. Les sols peu épais et parfois affectés par la salinisation, engendrent de faibles rendements. Le Nord-Est contribue pour moins d'un quart à la production agricole totale ;
- la région nord, montagneuse, couvre un tiers du territoire. D'étroites vallées, agricoles et densément peuplées traversent les montagnes boisées où vivent, encore retirées, de nombreuses minorités ethniques. Le point culminant du pays, le Doi Inthanon, s'élève à 2 596 mètres, près de la capitale régionale Chiang Mai ;
- la région sud, ou péninsule méridionale, s'étire tout en longueur. Elle ne représente que 14% de la surface du territoire mais une grande richesse faunistique et floristique. Ses écosystèmes tropicaux sont plus caractéristiques de la péninsule malaise. Un relief karstique a fait naître, sur la partie ouest, une extraordinaire et splendide côte, parsemée de mangroves.

Carte 3 : Les quatre grandes régions et provinces de Thaïlande (codes utilisés par le Ministère de l'Intérieur)



Plaine centrale	Code
Bangkok	10
Samut Prakan	11
Nonthaburi	12
Pathumthani	13
Ayuthaya	14
Ang Thong	15
Lopburi	16
Singburi	17
Chainat	18
Saraburi	19
Chonburi	20
Rayong	21
Chantaburi	22
Trat	23
Chachoengsao	24
Prachinburi	25
Nakhon Nayok	26
Sakaeo	27
Ratchaburi	70
Kanchanaburi	71
Suphanburi	72
Nakhon Pathom	73
Samut Sakhon	74
Samut Songkhram	75
Phetchaburi	76

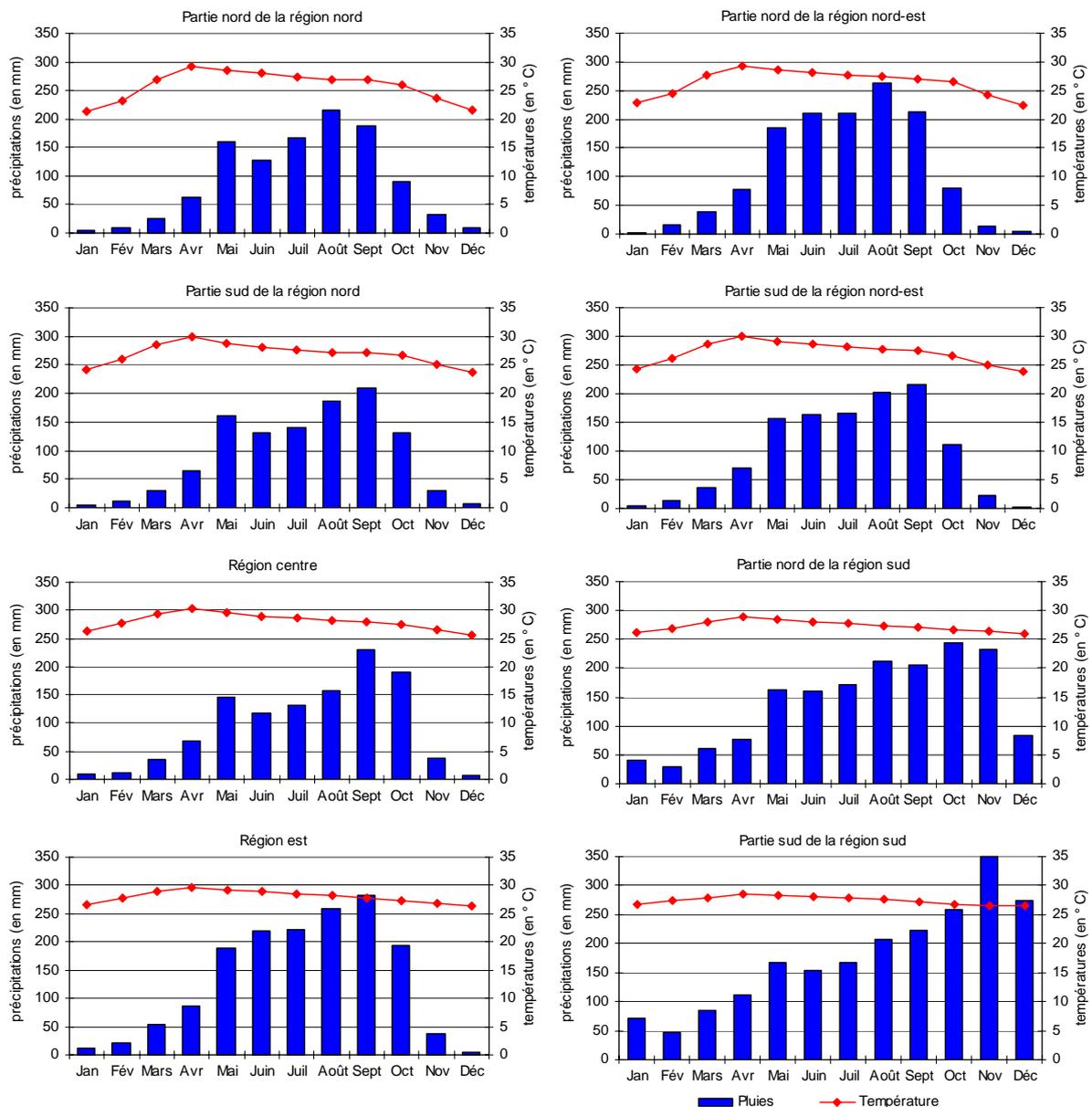
Nord-Est	Code
Nakhon Ratchasima	30
Buriram	31
Surin	32
Sisaket	33
Ubon Ratchathani	34
Yasothon	35
Chaiyaphum	36
Amnat Charoen	37
Nong Bua Lamphu	39
Khon Kaen	40
Udon Thani	41
Loei	42
Nong Khai	43
Maharakham	44
Roi Et	45
Kalasin	46
Sakhon Nakhon	47
Nakhon Phanom	48
Mukdahan	49

Nord	Code
Chiang Mai	50
Lumphun	51
Lampang	52
Uttaradit	53
Phrae	54
Nan	55
Phayao	56
Chiang Rai	57
Mae Hong Son	58
Nakhon Sawan	60
Uthaithani	61
Kamphaeng Phet	62
Tak	63
Sukhothai	64
Phitsanulok	65
Phichit	66
Phetchabun	67

Sud	Code
Prachuap Khirikan	77
Nakhon Si Thammarat	80
Krabi	81
Phangnga	82
Phuket	83
Surat Thani	84
Ranong	85
Chumpon	86
Songkhla	90
Satun	91
Trang	92
Phatthalung	93
Pattani	94
Yala	95
Narathiwat	96

Il est rarement fait allusion à la région est, qui se distingue entre la côte est du Golfe de Thaïlande et les collines calcaires frontalières avec le Cambodge. Les revenus y sont essentiellement ceux du tourisme et des industries de transformation de Chonburi et de Rayong (domaines de la sidérurgie, de l'automobile et des pneumatiques). L'agriculture est orientée vers la production de fruits. L'ouest de la Thaïlande n'est jamais évoqué. Pourtant une région longiligne, frontalière avec le Myanmar se dessine à l'ouest. Cet espace montagneux est progressivement devenu le refuge de diverses tribus et d'exilés birmans.

Par son étendue, la Thaïlande bénéficie d'un climat tropical varié, à trois saisons dans la partie centrale et le Nord et à deux saisons dans la péninsule méridionale où les pluies sont les plus abondantes. Les températures sont relativement proches du nord au sud, s'étalant entre 20 et 30 degrés. Les minima sont enregistrés en décembre et les maxima en avril. Nulle part, sinon en altitude, les températures annuelles moyennes descendent en dessous de 25 degrés Celsius. La température moyenne est de 29 degrés Celsius. Contrairement aux températures, les précipitations marquent les spécificités régionales du climat, avec un cumul annuel doublant du nord au sud du pays, passant de 1092 mm de pluies par an (moyenne calculée entre 1981 et 2002) au nord à 2116 mm au sud (graphique 1 et Atlas - carte 1.1.1.b.).



Sources : moyennes mensuelles de 1981 à 2002, Thai Meteorological Department
© Herbreteau V., 2006

Graphique 1 : Diagrammes ombrothermiques des régions de Thaïlande

Les régions centrale et septentrionale présentent un climat de mousson, caractérisé par trois saisons et une moyenne des précipitations de 1525 mm :

- la saison fraîche de novembre à mi-février, avec des vents de nord-est, froids et secs soufflant vers la mer (mousson sèche). Les températures les plus basses peuvent descendre en dessous de 10°C, en montagne.
- la saison chaude de mi-février à mi-mai, avec de fortes températures et peu de pluies.
- la saison des pluies de mi-mai à fin octobre, avec des vents saisonniers, en provenance de l'Océan Indien, soufflant vers la terre pendant plusieurs mois.

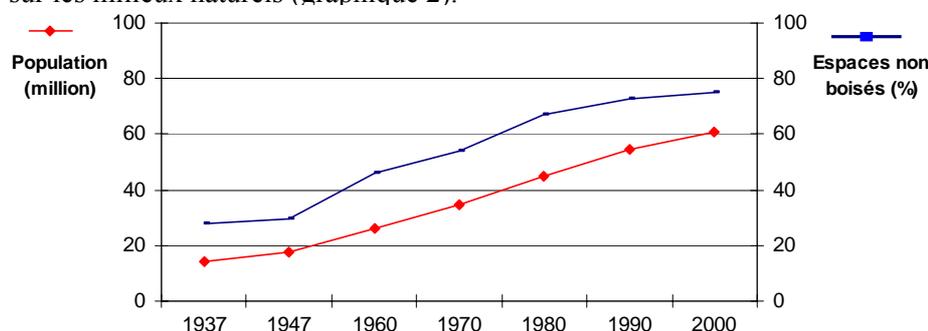
Le Sud bénéficie d'un climat tropical humide à deux saisons. La longue saison des pluies dure de mai à novembre ou décembre dans l'extrême sud. L'amplitude thermique est très faible : l'amplitude des moyennes mensuelles est de trois degrés dans la partie nord de la région sud et de deux degrés plus au sud.

La petite région est, entre la métropole de Bangkok et le Cambodge, reçoit plus de précipitations que la région centrale (1583 mm par an à l'est contre 1145 mm au centre) bénéficiant de son exposition au nord-est du Golfe de Thaïlande et du relief de petites montagnes, faisant frontière avec le Cambodge.

o Une biodiversité riche mais menacée

Par son étendue nord-sud, et sa position centrale en Asie du sud-est, la Thaïlande bénéficie d'une diversité exceptionnelle du règne végétal et animal. Les écosystèmes terrestres se déclinent sous la variété des climats secs ou humides, des plaines aux montagnes. Les écosystèmes marins sont tout aussi riches, des eaux cristallines des récifs coralliens aux eaux turbides des marécages et vasières. Ces écosystèmes peuvent être spécifiques à la Thaïlande, avec des espèces endémiques, ou partagés avec les pays voisins.

Pourtant, au cours du XX^{ème} siècle, cette richesse s'est trouvée menacée. La pression démographique, s'accompagnant d'un besoin en produits agricoles et forestiers, a été le moteur de l'emprise sur les milieux naturels (graphique 2).



Sources : Forêts : Royal Forest Department ;
Population : 1909-1947 : Ministry of Interior ; 1960-2000 : NSO
© Herbreteau V., 2006

Graphique 2 : Evolution de la population et des espaces non forestiers de 1937 à 2000 en Thaïlande

Plus de la moitié des forêts a été reconvertie en cultures vivrières ou a laissé place à l'urbanisation, à travers diverses infrastructures, telles que les routes, les habitations, les barrages, les terrains de golf ou encore les bassins d'aquaculture (Phongpaichit et Baker, 1998). Les mesures de protection des forêts ont échoué. Malgré un contrôle renforcé, les feux de forêt ont toujours lieu fréquemment, en particulier dans les zones de montagne où des populations sans véritable territoire cherchent à gagner du terrain. Nous avons pu l'observer dans la zone d'étude de Phrae, où les collines sont peu à peu mises à nu pour y cultiver du maïs (photo 5).

En utilisant des photographies aériennes, le Royal Forest Department a estimé la déforestation à près de 160 000 hectares, par an entre 1985 et 1994 (Sriboonpong et al., 2001). 40% du territoire thaïlandais est aujourd'hui consacré aux cultures. Des pratiques agricoles mal maîtrisées, en particulier les labours dans le sens des pentes, ont contribué à éroder les sols des reliefs accidentés. Le ministère de l'agriculture estime entre 17 et 21 millions d'hectares, l'ensemble des terres victimes de l'érosion, avec une perte annuelle de 27 millions de tonnes de sols. L'érosion affecte les rendements agricoles ainsi que la qualité des produits, mais au-delà de l'agriculture, elle

contribue à des phénomènes de sédimentation dans les réserves d'eau et le réseau hydrographique souterrain. La qualité des eaux s'est par conséquent détériorée.



Au cœur d'un parc forestier, ces collines, encore boisées en 2002, se retrouvent dénudées depuis 2004 pour la production de maïs.

Photo : Herbreteau V.

Photo 5 : Déforestation sur le bassin versant du Mae Thang, dans la province de Phrae, en Thaïlande

L'augmentation de la salinité des terres agricoles est aussi une difficulté majeure de l'agriculture dans le Nord-Est ainsi que le long de la côte sud du pays.

La mise en culture de forêts humides, de zones côtières de mangroves et d'espaces humides ont atteint la biodiversité. Parmi les plantes, plus de 100 espèces sont classées en danger et plus de 900 autres sont menacées. Les espèces animales en voie de disparition comptent 13 mammifères, 38 oiseaux et 7 reptiles (tableau 1).

Tableau 1 : Estimation du nombre d'espèces menacées en Thaïlande

Espèces	En voie de disparition	Menacées	Vulnérables	Endémiques	Total
Mammifères	13	35	62	6	285
Oiseaux	38	69	82	69	938
Reptiles	7	5	28	29	313
Amphibiens	-	-	16	7	106
Poissons	-	29	155	16	1712

Sources : OEPP, 1977

Parmi près de 300 espèces de mammifères décrites en Thaïlande, l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN) compte 92 espèces en danger, dont le Gaur et le Kouprey, des bovins sauvages, le cerf Schomburgk et le rhinocéros javanais pour les plus gros (IUCN, 2004). La Thaïlande est maintenant signataire de la Convention sur le commerce international des espèces en danger (Convention on International Trade in Endangered Species) des Nations Unies, affichant une véritable volonté de protection. La réalité du terrain montre que beaucoup reste à faire. Sur les petits marchés de campagne, les vendeurs de rats et autres petits rongeurs et frugivores, cachent parfois sous leur étal des espèces en voie de disparition, comme des écureuils volants, des antilopes ou divers carnivores.

A côté de ce constat pessimiste, qui n'est pas propre à la Thaïlande, l'exceptionnelle diversité des écosystèmes cache encore des secrets. La découverte en 2005 de *Laonastes aenigmamus*, un rongeur vivant dans les karsts de la partie centrale du Laos, est une nouvelle preuve de leur richesse (Jenkins et al., 2005 ; Dawson et al., 2006 ; Herbreteau et al., 2006). Nouvelle espèce ou survivant d'une famille que l'on croyait disparue, l'énigme *Laonastes* devrait bientôt être révélée pour la science, alors que ce petit rongeur n'a aucun mystère pour les locaux qui le chassent et apprécient la qualité de sa chair. Un relief karstique comparable existe en Thaïlande où *Laonastes sp.* pourrait se cacher.

Au regard des zoonoses liées aux rongeurs, cette diversité des hôtes doit être considérée comme autant de possibilités de survie, d'adaptation à des milieux différents, et de réussite de transmission des agents pathogènes.

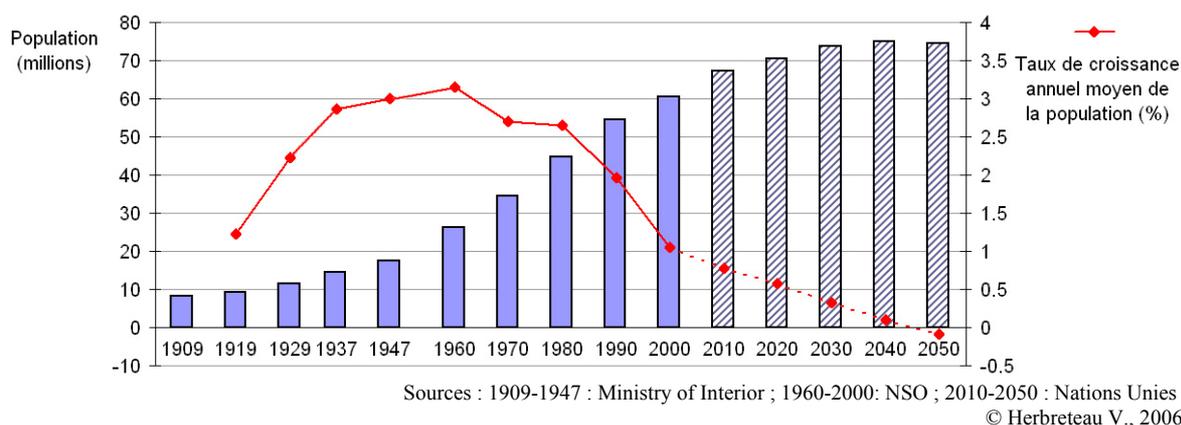
- Une oasis économique au voisinage pauvre

Par sa situation centrale en Asie du sud-est, la Thaïlande a un rôle stratégique qu'elle entend développer. Plus stable que ses voisins, elle demeure une référence régionale pour les partenaires des pays riches. Les aides aux pays voisins portent essentiellement sur le commerce et le développement des réseaux routiers, vers le Myanmar et, à travers le Laos, vers la Chine et le Viêt-Nam. Les accords avec le Cambodge restent plus complexes.

La première organisation économique regroupant des pays de l'Asie du sud-est, ASEAN (Association of South-East Asian Nation) fut fondée en 1967, entre la Thaïlande, l'Indonésie, les Philippines et Singapour, afin de favoriser les échanges et la coopération. Renforcée en 1992 par un accord sur le commerce, AFETA (ASEAN Free Trade Area), cette association permet d'aider et de consolider la stabilité politique dans la région. En 1989 fut créée l'APEC (Asia-Pacific Economic Cooperation) regroupant très largement des pays de la région pacifique, dont la Thaïlande. Les objectifs de l'APEC sont essentiellement économiques et commerciaux, tels que la suppression de barrières douanières sur certains produits.

1.1.1.3. Population, transition démographique et disparités régionales

Lors du premier recensement, en 1909, la population s'élevait à 8,2 millions. En près d'un siècle, elle fut multipliée par dix, atteignant 63 763 000 habitants en 2004 (graphique 3).



Graphique 3 : Evolution et perspectives de croissance de la population thaïlandaise de 1909 à 2050

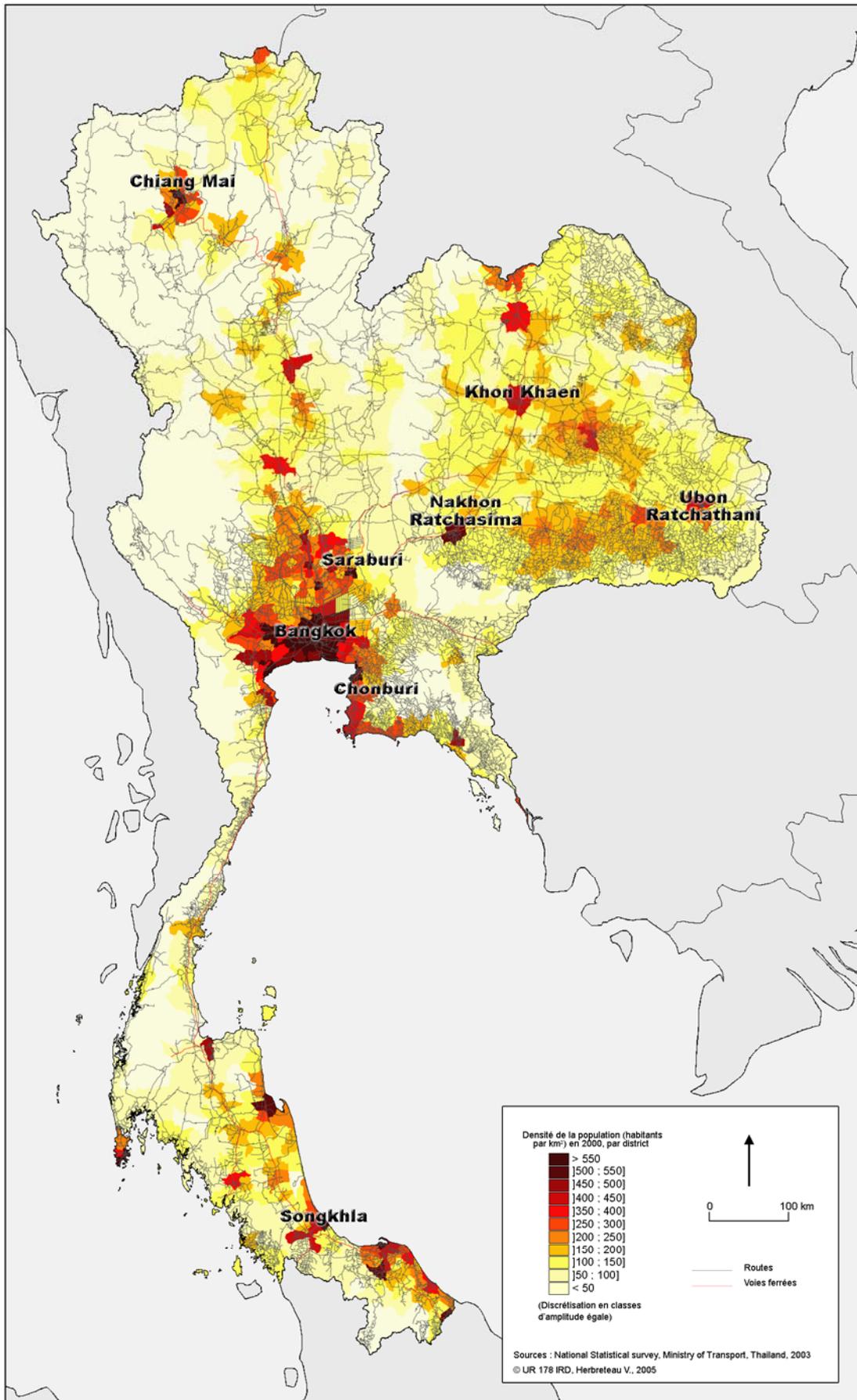
Depuis les années 60-70, la baisse de la natalité a entraîné un déclin du taux de croissance de la population passant de 3,15% en 1960 à 1,05% en 2000. Les perspectives d'évolution de la population (National Statistical Office et Nations Unies) montrent un ralentissement de la croissance et une diminution de la population à partir de 2040.

Les densités les plus fortes sont à Bangkok et les provinces voisines avec plus de 250 habitants par km² (carte 4). Mises à part l'île de Phuket et la petite province de Pattani dans le sud, aucune autre province n'atteint de telles densités. A l'échelle des districts, les densités les plus fortes s'observent nettement sur l'agglomération de Bangkok (plus de 350 habitants par km²), sur la grande plaine centrale, le plateau Issan, la région de Chiang Mai et l'est de la partie sud. Ailleurs, les densités sont faibles (généralement moins de 100 habitants par km²).

- Transition démographique et vieillissement de la population depuis les années 60.

Le développement économique et social que connaît la Thaïlande depuis les années 60-70 a été le moteur de la transition démographique, qui caractérise le passage d'une mortalité et natalité fortes à faibles. La mortalité a baissé grâce à de nombreux facteurs tels que l'amélioration de l'hygiène, de la qualité des eaux, de l'alimentation et des soins. Le pays a ensuite enregistré une chute considérable de la fécondité qui est passée de 6,4 enfants par femme en 1960 à 2,3 en 1990 puis 1,9 en 2003, soit en dessous du taux de renouvellement (2,1 enfants par femme en considérant une mortalité infantile très faible).

Carte 4 : Principales villes et densité de la population en 2000, par district en Thaïlande



Le développement des méthodes de contraception incitées par les programmes de planning familial y a pour beaucoup contribué. Les mariages ont lieu de plus en plus tard, ce qui tend à aggraver la réduction de la fécondité, en particulier dans les villes. La transition démographique n'a pas eu lieu simultanément dans les différentes régions du pays, de grandes disparités de la structure démographique étant observées entre elles, tout comme entre les villes et les campagnes. La fécondité a enregistré de fortes baisses au cours des années 90 sur l'ensemble du pays. Les villes (capitales provinciales et chef-lieux de district) gardent des taux de fécondité plus faibles que les zones rurales avoisinantes : 1,34 contre 2,11 en 1999 (tableau 2). Les taux de fécondité les plus bas sont enregistrés à Bangkok avec 1,17 en 1999. Les régions ayant les plus faibles taux sont les régions nord et centrale, en opposition aux régions nord-est et sud, où quelques provinces sont toujours dans cette phase de transition démographique.

La fécondité, exprimée par un indice, est le nombre moyen d'enfants nés vivants rapporté à la population féminine en âge de procréer.

Le taux de fécondité donne la tendance de l'évolution naturelle de la population sans considérer les flux migratoires.

Une méthode de calcul communément employée, celle de Palmore, utilise des variables démographiques simples : le nombre de jeunes enfants, le rapport femmes/enfants et la proportion de femmes mariées parmi les femmes (Palmore, 1978). Les taux de fécondité ont ainsi été calculés pour la Thaïlande par la Banque du Développement Asiatique (Asian Development Bank, ADB) et le National Statistical Office, à partir des données démographiques des recensements nationaux.

Tableau 2 : Taux de fécondité moyen dans les villes et les campagnes de la Thaïlande, de Bangkok et des quatre régions, en 1989 et 1999

	Villes			Campagnes		
	1989	1999	Variation (%)	1989	1999	Variation (%)
Pays	1,58	1,34	-17,9	2,51	2,11	-19,0
Bangkok	1,30	1,17	-11,1	-	-	-
Région centrale	1,65	1,20	-37,5	2,08	1,69	-23,1
Région nord	1,66	1,51	-9,9	2,02	1,97	-2,5
Région nord-est	1,96	1,80	-8,9	2,85	2,37	-20,3
Région sud	1,95	1,73	-12,7	2,96	2,43	-21,8

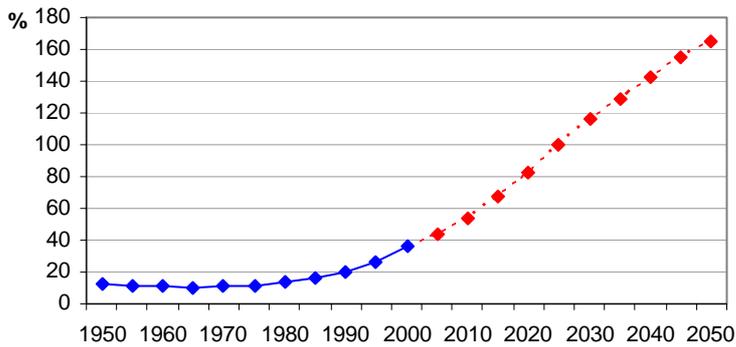
Sources : Population and housing census, NSO et ADB, 2000
© Herbreteau V., 2006

De 1989 à 1999, la région centrale est celle dont la fécondité a le plus diminué (-24,3% en moyenne et -37,5% dans les villes) et dont le taux de fécondité est le plus faible (1,53). Elle a subi de profondes mutations au cours des années 90, en participant au développement de la capitale Bangkok et bénéficiant de l'émigration de populations actives jeunes. Certaines provinces sont directement comprises dans la grande métropole (Samut Sakhon, Nakhon Pathom, Nonthaburi, Pathumthani et Samut Prakan). Les provinces de Samut Prakan et Samut Sakhon, toutes deux situées au sud de Bangkok, ont les taux de fécondité les plus bas, respectivement 0,93 et 1,05 en 1999 et ont subi parmi les plus importantes baisses (>30%).

A partir de 1999, aucune province n'a un taux de fécondité supérieur à 3. Les plus forts taux de fécondité concernent la région nord-est et la région sud. Les provinces du sud, à dominante musulmane, ont les plus forts taux : 2,91 à Pattani, 2,88 à Narathiwat et 2,72 à Yala en 1999. Dans la région nord-est, la province de Khon Kaen et la province de Loei contrastent avec des taux inférieurs au taux de remplacement (respectivement 1,99 et 1,95). Ces disparités démographiques, entre provinces ou entre villes et campagnes, se retrouvent sur les indicateurs de santé : la fécondité et plus encore le stade d'avancement de la transition démographique, précédemment décrit, conditionnent les besoins de soins et l'état de santé. Ces variables démographiques doivent ainsi être considérées dans l'analyse d'une géographie de la santé, à l'échelle du pays.

L'augmentation de l'espérance de vie, cumulée à la baisse de la natalité, marque le vieillissement de la population. La part des plus de 60 ans (considérée comme la catégorie âgée en Thaïlande) est

longtemps restée très basse : passant de 5% en 1950 à 6,3% en 1990, avant de décoller dans les années 90 pour atteindre 10,5% en 2005.

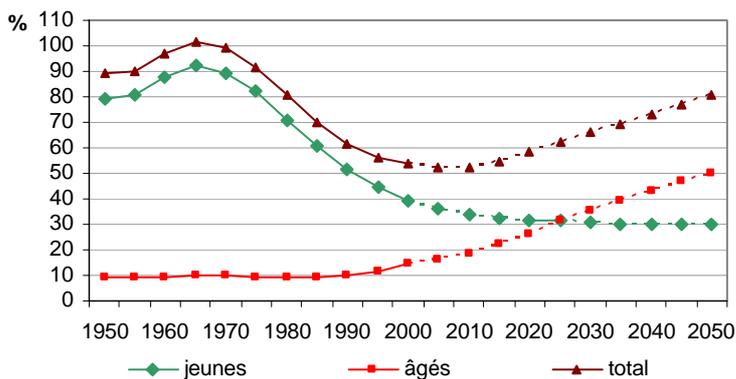


Sources : NSO, Nations Unies ; © Herbreteau V., 2006

Graphique 4 : Evolution et perspectives de croissance du coefficient de vieillissement de 1950 à 2050

*Le **vieillessement** de la population s'observe lors du cumul de la baisse de la natalité et de l'augmentation de l'espérance de vie (Sauvy, 1952). Il suit généralement la transition démographique. Le coefficient de vieillissement (exprimé en pourcentage) représente la part des plus âgés par rapport à celle des plus jeunes et permet d'observer la tendance et les perspectives d'évolution de la population.*

Le coefficient de vieillissement augmente rapidement à partir des années 80 mais surtout dans les années 90, en suivant la transition démographique (graphique 4). Les perspectives prévoient qu'à partir de 2025, la classe moins de 14 ans (considérée comme la catégorie des jeunes en Thaïlande) deviendra plus faible que celle des plus de 60 ans. Le vieillissement de la population est à la fois source et conséquence de besoins de santé différents : une offre de soins permettant plus de consultations, des hospitalisations plus longues. Le vieillissement pose aussi les problèmes de prise en charge des personnes âgées.



Sources : NSO, Nations Unies ; © Herbreteau V., 2006

Graphique 5 : Evolution et perspectives d'évolution des coefficients de dépendance de 1950 à 2050, en Thaïlande

Entre 1950 et 1980, le coefficient de dépendance total reste supérieur à 80% (graphique 5) : cela signifie que l'effectif des catégories dépendantes, les jeunes et les personnes âgées, est presque aussi important que celui des actifs.

Ce coefficient total était alors essentiellement représenté par le coefficient de dépendance des jeunes. A partir des années 80, la part des actifs augmente. En 2000, où les actifs sont deux fois plus nombreux que les jeunes et les personnes âgées, le coefficient de dépendance total est à 54%. La chute de la natalité, amorcée dans les années 60, s'illustre par la diminution du coefficient de dépendance des jeunes, qui devrait se stabiliser à 30%. L'augmentation de l'effectif de la population âgée va entraîner le coefficient de dépendance total vers une nouvelle croissance à partir de 2010. Les bornes utilisées dans le calcul de ces coefficients sont celles communément utilisées par le NSO. Elles masquent les disparités régionales discutées pour la fécondité et qui peuvent se retrouver sur les bornes d'âge des populations actives : 15 et 59. Ainsi dans les villes, l'âge du premier emploi est plus élevé à cause d'une scolarité plus longue, et l'âge de la retraite plus bas, avec un régime des retraites plus généralisé.

*Le **coefficient de dépendance** (exprimé en pourcentage) donne la proportion de personnes « dépendantes », les jeunes et les personnes âgées, par rapport aux personnes actives. Il s'obtient en divisant la population se trouvant dans les tranches d'âge les plus dépendantes (0 à 14 ans et 60 ans et plus, en Thaïlande) par la population la plus susceptible d'exercer une activité professionnelle (15 à 59 ans). Le coefficient de dépendance des âgés est la partie du coefficient de dépendance qui ne concerne que les 60 ans et plus, celui des jeunes ne prend en compte que les moins de 14 ans.*

La population thaïlandaise passe ainsi, en moins d'un siècle, d'une dépendance de la population jeune à une dépendance de la population âgée. Le financement des dépenses de santé, avec moins d'actifs et plus de personnes âgées, s'aggravera, d'autant que peu de personnes bénéficient d'une retraite.

- Identités régionales, ethnies et religions

La Thaïlande est née du métissage de nombreux peuples, venus envahir ou se réfugier au cœur de l'Asie du sud-est. Si la majorité de la population, 75%, est thaïlandaise, les identités régionales, aussi bien physiques que culturelles, sont très fortes. Les Chinois, qui forment 14% de la population, constituent l'ethnie la plus importante après les Thaïlandais. Une grande partie de la population a des ancêtres chinois, qui furent les premiers colons thaïlandais. La population comprend aussi de nombreuses minorités ethniques : les Mòns, les Malbris, ou des réfugiés vietnamiens ou khmers, ainsi que des tribus montagnardes dont les principales sont les Hmongs, les Karens, les Akhas, les Yaos et les Lisus. Ces tribus vivent isolées, souvent retirées dans les montagnes de la frontière ouest ou de la région nord, ou elles pratiquent encore les cultures sur brûlis.

Dans les grandes régions, un dialecte est communément parlé. Ainsi, la région nord-est, l'Issan, est culturellement très proche du Laos : la langue issane est semblable au lao et ceux qui la parlent sont souvent désignés comme laotiens. L'alimentation à base de riz gluant et de plats en salades très épicés est aussi la même des deux côtés du Mékong. Tout y est comestible, des insectes aux viandes sauvages, et en particulier les petits rongeurs, faciles à chasser. Le sud du pays, à dominante musulmane, est aussi très proche du pays voisin, la Malaisie.

Ces différences culturelles sont autant de spécificités de comportements alimentaires, d'hygiène ou de santé qui conditionnent l'exposition aux maladies transmises par les rongeurs. Les populations qui chassent les rats pour leur viande seront très exposées mais d'autres facteurs, comme le type, la dispersion ou la propreté de l'habitat conditionnent aussi la proximité aux rongeurs domestiques.

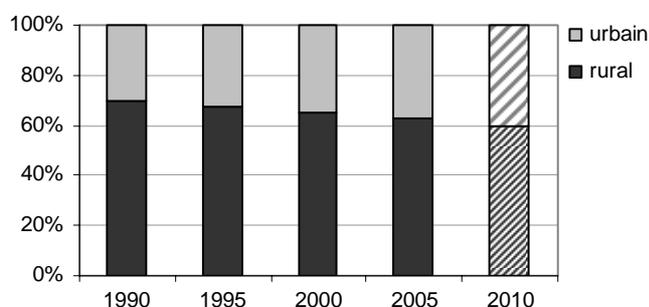
- Migrations

Les migrations de populations des campagnes vers les villes ont accompagné le développement du secteur industriel puis la crise économique, déséquilibrant la structure des populations.

La part de la population urbaine dans la population totale est en croissance régulière, passant de 30% en 1990 à 37% en 2005 (graphique 6). Les jeunes ont quitté les campagnes pour trouver des activités plus lucratives dans les villes ou les zones industrielles, dans le secteur tertiaire si l'éducation le permet, mais surtout le secteur industriel et aussi la prostitution (dont l'ampleur n'est pas mesurée).

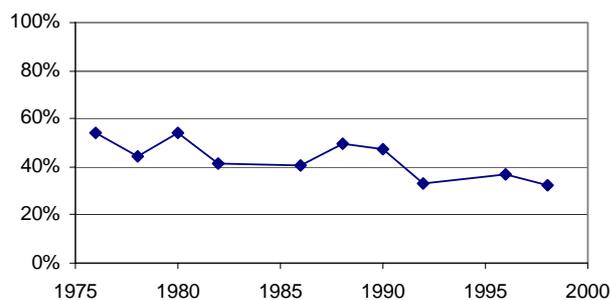
Les revenus des familles paysannes proviennent essentiellement des membres de la famille qui travaillent dans les villes (graphique 7). Dans la tradition thaïlandaise, les familles restent très liées, ceux qui travaillent apportant les subsides à chacun. Ainsi, dès la majorité, les plus jeunes quittent le cadre familial pour trouver du travail dans les grandes métropoles.

Les foyers abritent de moins en moins de grandes familles mais des familles uniques, avec une moyenne passant de 5,6 personnes en 1960 à 4,4 en 1990 et 3,9 en 2000.



Source : NESDB, 2006 ; © Herbreteau V., 2006

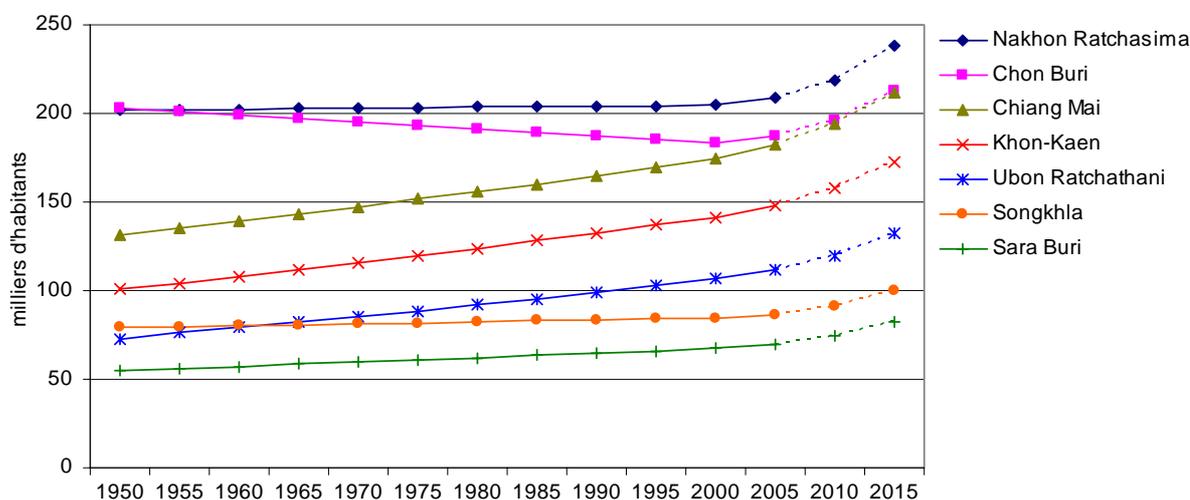
Graphique 6 : Part des populations rurales et urbaines de 1990 à 2005 et projection pour 2010, en Thaïlande



Source : Office of Agricultural Economics, 2003
© Herbreteau V., 2006

Graphique 7 : Part du revenu net des ménages agricoles provenant des activités agricoles, en Thaïlande

La plus grande ville après Bangkok est Nakhon Ratchasima (ou Khorat), à la porte de la région issane (carte 4). Elle n'a pas évolué en taille depuis les années 50. La seconde est Chonburi, à la fois un pôle touristique avec la proximité des plages et l'un des grands pôles industriels du pays. Chonburi est la seule des grandes villes dont la population a décliné depuis 1950. Les autres grandes capitales régionales ont eu une croissance régulière et comparable (graphique 8). Le NSO prévoit des croissances urbaines plus rapides à partir de 2010.



Source : NSO, 2005 ; © Herbreteau V., 2006

Graphique 8 : Evolution et perspectives d'évolution de la population des principales villes de Thaïlande, hormis Bangkok

Les populations ouvrières immigrées à la ville se retrouvent isolées physiquement de leur famille et financièrement des activités récréatives. Le retour au pays n'a lieu le plus souvent qu'une fois par an, au moment des fêtes de Songkran, qui célèbrent le nouvel an du calendrier bouddhiste, mi-avril. Ces migrations des campagnes vers les villes ont entraîné des problèmes de santé mentale, liés à des difficultés familiales, des situations de rupture, d'isolement, des problèmes financiers liés au chômage ou des problèmes sanitaires dans les quartiers congestionnés.

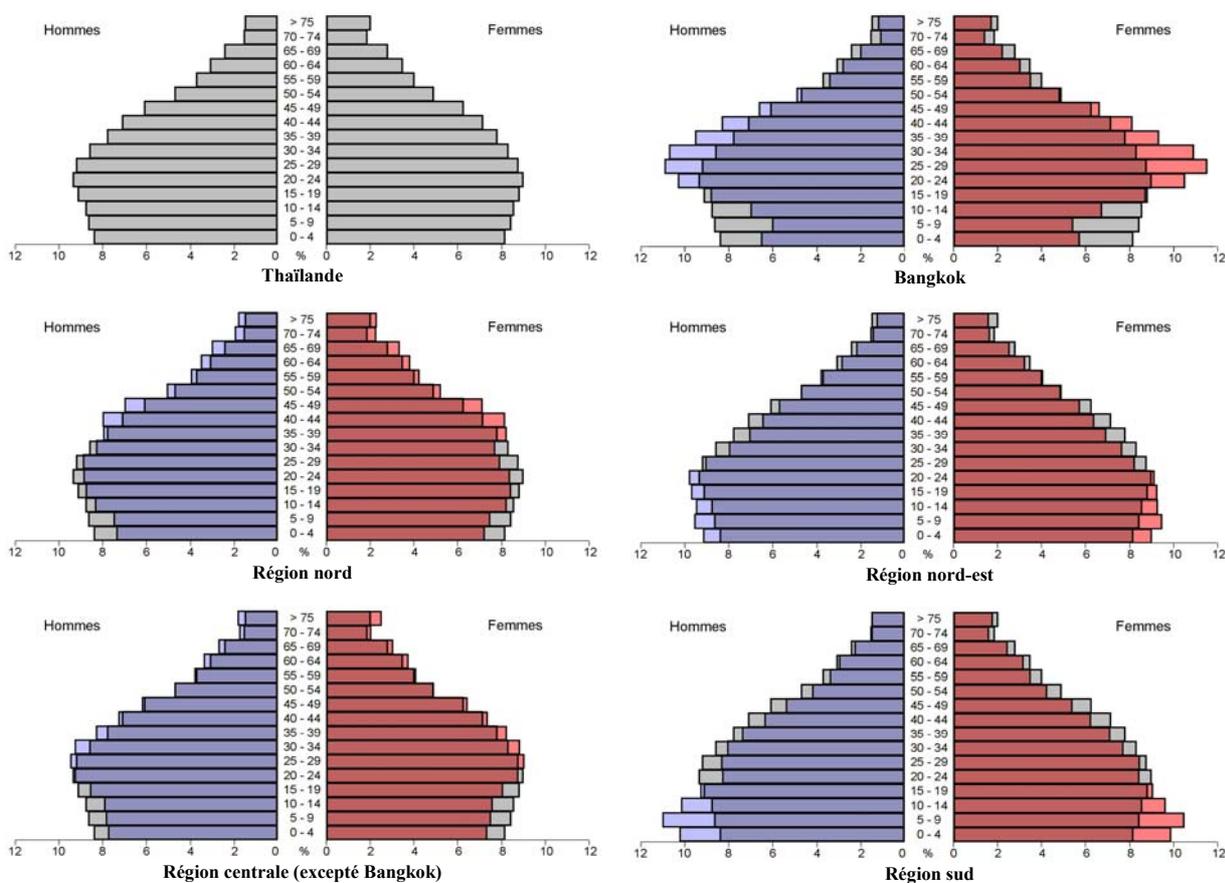
- Une structure de la population marquée géographiquement

La pyramide des âges de la Thaïlande traduit la situation de post-transition démographique, avec un rétrécissement à la base, dû à la baisse de la fécondité, et à une part plus importante des classes âgées. Cependant, cette pyramide n'est qu'une moyenne de profils démographiques régionaux très typés (graphique 9).

La pyramide des âges de Bangkok, avec une forme en losange très marquée, montre l'importance de la population active dans la population totale. Il y a un déficit très important de jeunes (moins de 14 ans) et une surreprésentation des actifs (entre 20 et 40 ans). Les jeunes quittent les campagnes pour venir travailler à Bangkok après de courtes études ou rejoindre les grandes universités. Il est fréquent que les jeunes couples, originaires des campagnes et travaillant à Bangkok, n'élèvent pas eux-mêmes leurs enfants qui restent à la charge des parents ou de la famille, dans le village ou la ville d'origine. Ceci contribue au déficit observé pour les classes des moins de 10 ans.

La pyramide de la région centrale cache des provinces aux profils démographiques très différents. Les provinces à proximité de Bangkok, ainsi que les provinces industrielles (Phra Nakhon Si Ayutthaya, Singburi, Chonburi et Rayong), ont des profils proches de celui de la capitale. L'essentiel du secteur industriel du pays est localisé dans cette région, avec une main d'œuvre considérable, jeune et en majorité féminine, vivant au rythme des trois-huit. Ces populations ouvrières viennent de n'importe quelle autre région et vivent ici, retirées, à proximité des usines, dans des villes dortoirs où des services minimaux à bas prix leur sont proposés. La plaine centrale

est aussi très agricole, se démarquant des autres régions par une meilleure productivité. Des migrations saisonnières ont lieu au moment des récoltes.



Source : NSO, 2000 ; © Herbreteau V., 2006

La pyramide des âges de la Thaïlande est indiquée de couleur grise, en transparence des pyramides régionales, pour comparaison.

Graphique 9 : Pyramide des âges de la Thaïlande, de Bangkok et des quatre régions, en 2001 (en pourcentage)

La pyramide des âges de la région nord est plus proche de celle du pays, avec une proportion de jeunes plus importante. La capitale régionale, Chiang Mai, est un important pôle administratif, universitaire et économique. Malgré tout, le déficit des jeunes actifs (25 à 35 ans), très net sur cette pyramide correspond aux migrations de travail vers Bangkok et sa périphérie.

Les régions nord-est et sud présentent des profils de pyramide triangulaires très marqués, avec une base légèrement rectangulaire pour celle du nord-est. Les taux de fécondité y sont les plus élevés du pays. Le déficit des classes actives, migrant vers la capitale, contribue pour beaucoup à ces formes triangulaires. La proportion des jeunes de 0 à 14 ans est importante : il s'agit des enfants dont les parents travaillent à la capitale, et sont élevés dans la famille d'origine. Malgré tout, la baisse de la natalité est observable avec une classe 0 à 4 ans en retrait.

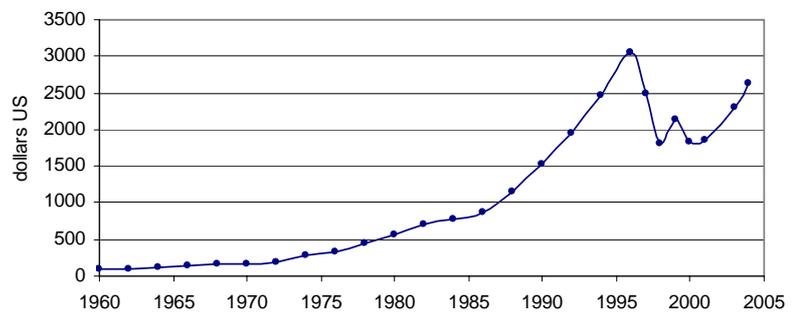
Ces disparités démographiques se retrouvent sur les besoins de santé. Le déficit important des classes actives dans les régions nord-est et sud, essentiellement les 20-40 ans qui vont travailler et s'installer à Bangkok, laisse des personnes âgées plus isolées et pose un problème d'assistance et de recours aux soins. Par l'isolement des villages, sans une dynamique dont les jeunes sont souvent le moteur, les campagnes se développent moins vite. Ceci peut se ressentir sur le comportement par rapport aux soins qui évoluera peu, les personnes âgées gardant leurs habitudes, ou se déplaçant difficilement.

Concernant les maladies professionnelles, les classes actives en surnombre vont enregistrer des incidences plus élevées.

1.1.1.4. Une croissance économique forte et fragile

- Un développement économique fulgurant depuis les années 1980

La Thaïlande a connu une croissance économique très rapide, amorcée dans les années 70 et effective dans les années 80, passant d'une économie agricole à celle d'un pays industriel émergent. Le produit intérieur brut a fait un bond de 90 dollars US par habitant en 1960 à 2 620 dollars en 2004 (graphique 10).



Source : NESDB, 2005 ; © Herbreteau V., 2006

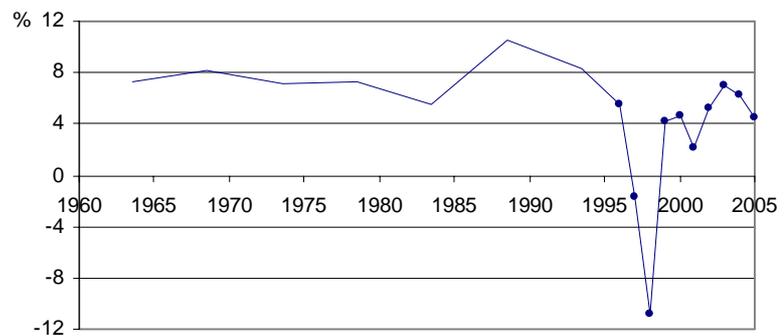
Graphique 10 : Evolution du Produit Intérieur Brut par habitant de 1960 à 2004 en Thaïlande

A partir des années 80, les investissements industriels étrangers, en particulier japonais, ont permis de doper la croissance. Le tourisme est devenu un secteur hautement fructueux, bénéficiant de la situation de carrefour, d'une meilleure stabilité politique que ses voisins et de l'attrait de paysages si variés. L'économie reste fragile, sensible aux moindres crises qui l'attaquent de près ou de loin. Ainsi l'agriculture, qui par la transformation des produits agricoles et le récent développement d'élevages intensifs, volailles, porc, pisciculture forme l'ossature de l'économie, oscille selon les fluctuations des cours mondiaux. Cependant, des faits ont fragilisé l'économie : ce fut le cas de la grippe aviaire qui a vu l'abattage de milliers de poulets et la disparition d'une part importante des petits élevages, ou encore des élevages de crevettes, dont les taux d'antibiotiques ont été mesurés au-delà des normes européennes, ce qui a conduit à l'interdiction de leur exportation.

- Crise de 1997, récession et reprise amorcée dès 1999

Le taux de croissance économique est resté relativement élevé depuis les années 60, avec un taux annuel moyen proche de 8% entre 1960 et 1985 (graphique 11).

Alors qu'entre 1985 et 1995 ces taux ont été les plus forts, atteignant près de 9%, en 1997, la crise économique a profondément touché la Thaïlande, augmentant pauvreté et disparités sociales et régionales. La récession s'est amorcée en 1996 atteignant -10,8% en 1998. En 2000, la Banque Mondiale a calculé une augmentation de l'indice de pauvreté de 11,4% en 1996 à 15,9% en 1999, et jusqu'à 30,8% pour la région nord.



Source : NESDB, 2005 ; © Herbreteau V., 2006

Graphique 11 : Taux de croissance économique de la Thaïlande (moyennes quinquennales de 1961 et 1995, puis valeurs annuelles de 1996 à 2005)

Cette baisse du niveau de vie a affecté le recours aux soins dans les campagnes. La croissance, qui a redémarré dès 1999, semble plus durable.

- Une reprise plus solide depuis 2002

Cette croissance s'observe à Bangkok au quotidien : les rues se chargent de voitures, les trottoirs accueillent un nombre croissant de marchands en tous genres, les centres commerciaux se remplissent et les grands chantiers reprennent. Les constructions d'immeubles, dont beaucoup s'étaient arrêtées en 1997, sont poursuivies. Le taux de croissance économique a atteint 7% en 2004 mais diminue depuis. Après 6 ans de retranchement, l'investissement public a été très fort en

2004, redynamisant ainsi l'économie. L'investissement privé a doublé entre 2003 et 2004, passant de 284 à 601 millions de bahts. Ainsi la croissance, contrairement à la confiance, n'a pas vraiment été perturbée par la succession de faits qui ont touché le pays : les peurs provoquées par l'épidémie de SARS entraînant la baisse de la fréquentation touristique en 2003, les épidémies de grippe aviaire causant de sérieuses difficultés au secteur volailles, la catastrophe du tsunami et les troubles neutralisant quelques provinces du sud. Malgré quelques signes d'alarme lancés par les économistes, les banques et le gouvernement ont continué à faciliter l'investissement en 2005 alors que la croissance est restée fragile. Les bénéficiaires de cette croissance ont surtout profité aux investisseurs alors que le pouvoir d'achat n'a pas suivi. L'augmentation du cours du pétrole, induisant la hausse du prix du carburant (+17% en 2005), a été le moteur de l'inflation qui a atteint 4,5% en 2005 (Bank of Thailand, 2006).

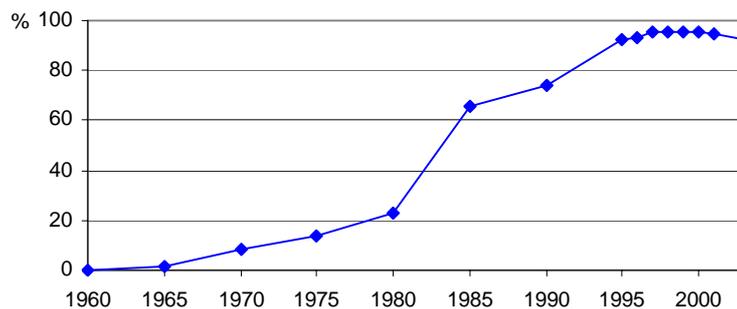
- Les équipements et télécommunications

En 2003, 98% des foyers sont équipés de sanitaires avec une utilisation moyenne de 8,6 m³ d'eau par semaine (ADB, WB). La provision en eau potable s'est généralisée depuis les années 1990 avec plus de 93% des foyers approvisionnés tout au long de l'année (graphique 12).

En 2001, seuls 1 367 villages isolés (2,1% du total) restent privés de l'électricité. En 2003, 84% des foyers ont l'électricité.

Le nombre d'abonnés à un téléphone mobile est passé de 3,3% de la population en 1998 à 39,4% en 2003 (ADB, WB), ce qui correspond à la tendance des pays développés. Le nombre de lignes principales fixes est passé durant la même période de 8,5% à 10,5%.

Enfin, la couverture Internet s'étend avec 11,9% de la population (7 millions de personnes) ayant l'accès à Internet en 2004 (NECTEC).



Source : MOPH, 2005 ; © Herbreteau V., 2006

Graphique 12 : Proportion des foyers ayant l'eau potable, de 1960 à 2003, en Thaïlande

- Un réseau de communication bien développé

(Voir Atlas - carte 1.1.1.c.)

De gros investissements ont permis de développer le réseau routier sur l'ensemble du territoire. En 2003, il y avait 63 730 kilomètres de voies routières dont 97% de voies pavées. 85% des villages ont des voies accessibles, généralement goudronnées. La qualité de la voirie peut être moins bonne au sein même des villages car, étant responsables de leurs voies, certains villages isolés ont conservé des routes de terre, où le passage de voitures engendre un nuage de terre nuisant à la qualité de l'air. Des travaux routiers importants sont toujours en cours à Bangkok, qui ne peut faire face à l'augmentation de la circulation liée à la reprise économique. Le nombre de voitures personnelles vendues a été multiplié par 2 entre 2002 et 2004, de 105 000 à 210 000, alors que le développement du réseau routier ne permet pas d'absorber une telle augmentation.

Les voies ferrées restent limitées avec 4 044 kilomètres ; elles relient Bangkok aux grandes régions, le Nord, le Nord-Est jusqu'à la frontière laotienne, l'Est jusqu'à la frontière cambodgienne et le Sud jusqu'à la frontière malaisienne.

Les voies navigables sont très développées sur l'ensemble du pays (au total 4 000 km dont 3 700 navigables) ; elles ont contribué au développement de l'agriculture et des transports. La Thaïlande compte sept ports de commerce et de nombreux petits ports de pêche.

En 2005, l'aéroport international de Bangkok est le dix-huitième mondial pour le nombre de passagers. 38 millions de passagers y ont transité soit plus de 80 compagnies, 160 000 vols et 700 000 tonnes de marchandises. Retardé avec la crise économique, la construction du nouvel aéroport

Suvarnabhumi a commencé en 2002 pour s'achever mi-2006. Il pourra accueillir 45 millions de passagers et trois millions de tonnes de marchandises par an. Sa construction est aussi stratégique pour la Thaïlande qui cherche à se positionner en leader du sud-est asiatique : le bâtiment principal est en 2006 le terminal le plus vaste au monde avec 563 000 m². Les capitales régionales sont toutes desservies par les transports aériens, grâce à 62 aéroports et 49 aérodromes (non pavés) sur l'ensemble du territoire. L'ouverture à la concurrence des compagnies « discount » a permis d'augmenter le trafic.

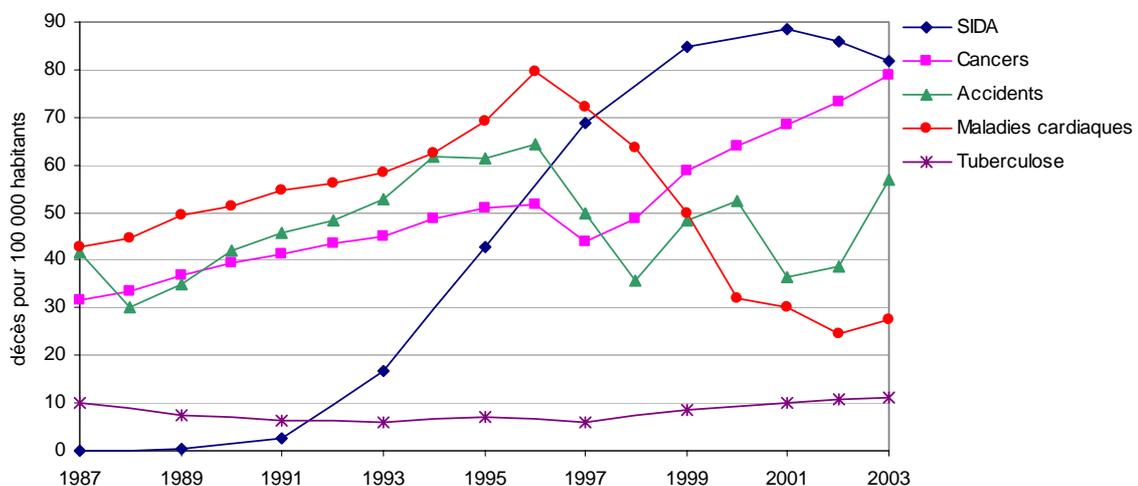
La circulation automobile a beaucoup augmenté depuis la reprise économique avec des immatriculations en constante progression. Cela s'accompagne de problèmes de circulation et de pollution à Bangkok en particulier, mais aussi d'un nombre important d'accidents, devenus l'une des principales causes de mortalité brute (5,74 / 100 000 en 1984 et 18,76 / 100 000 en 2001). Les conséquences de la pollution de l'air se révéleront catastrophiques sur la santé lorsqu'elles pourront être évaluées : une population importante de chauffeurs (des bus sans air conditionné, tuk-tuks ou motocyclettes) et de vendeurs sur les trottoirs vit constamment en respirant les gaz d'échappement. De plus, la consommation de la nourriture préparée sur des étals le long des trottoirs, expose une grande partie de la population, ouvriers, employés ou étudiants, à l'ingestion de particules issues de la pollution automobile. Des mesures commencent à être prises pour limiter les risques mais il n'est pas question d'interdire la vente de rue, dont il n'y a pas d'alternative aussi bon marché pour les plus pauvres.

Clin d'œil aux chiffres, qui n'est pas sans conséquences sur la santé, la consommation de bière est toujours en lente progression avec des volumes très importants : il se consomme annuellement 24,4 litres de bière par personne, avec pourtant une interdiction de consommation d'alcool aux moins de 20 ans.

1.1.1.5. Etats de santé : évolution, situation et projections

- Une transition épidémiologique bien engagée.

Les données de mortalité traduisent la situation de charnière dans laquelle se trouve la Thaïlande, celle de la transition épidémiologique : la part des maladies infectieuses dans les causes de mortalité est en régulière diminution face aux maladies chroniques, comportementales et aux accidents. Le Ministère de la Santé (Bureau of Policy and Strategy) estimait en 1999 que la mortalité brute due aux maladies non infectieuses était le double de celle due aux maladies infectieuses. Les principales causes de mortalité sont : 1- les maladies infectieuses avec, principalement, le SIDA pour les classes actives ; 2- les maladies circulatoires dont principalement l'infarctus du myocarde et l'hypertension ; 3- les différents cancers ; 4- les affections respiratoires dont l'asthme (graphique 13).



Sources : enregistrements administratifs des décès corrigés par le Bureau of Policy and Strategy, MOPH, 2005
© Herbreteau V., 2006

Graphique 13 : Taux brut de mortalité par cause, de 1986 à 2003, en Thaïlande

Le SIDA est depuis 1998 la première cause de mortalité, suivi des cancers, des accidents et des maladies cardiaques. L'ampleur de l'épidémie de SIDA a longtemps été sous-estimée, en particulier à cause d'un mauvais report des données de mortalité. Les enregistrements administratifs des causes de mortalité ne semblent pas conformes à la réalité. Il est en effet étonnant de voir une telle baisse de la mortalité due aux maladies cardiaques depuis 1996. Une étude menée entre 1997 et 1999 par le Bureau of Policy and Strategy du Ministère de la santé a révélé que seuls 29,3% des causes de mortalité enregistrées sur les certificats correspondaient aux réelles causes révélées par enquête auprès des familles. L'enregistrement des décès se fait, à la campagne, via les chefs de village, et il semblerait que les familles puissent tricher sur les déclarations selon leurs intérêts : masquer une cause de décès perçue comme honteuse ou bien déclarer une cause pour obtenir une meilleure compensation des assurances. Ainsi, les cancers seraient bien reportés alors que le SIDA le serait mal. Malgré tout, les chiffres s'accordent à montrer une épidémie du SIDA maîtrisée depuis 2001 avec une mortalité qui recule. La mortalité due à la tuberculose, pouvant être liée à une infection par le VIH, est aussi en croissance régulière depuis 1997. Les cancers semblent aujourd'hui devenir la principale cause de mortalité avec une progression constante depuis 1997.

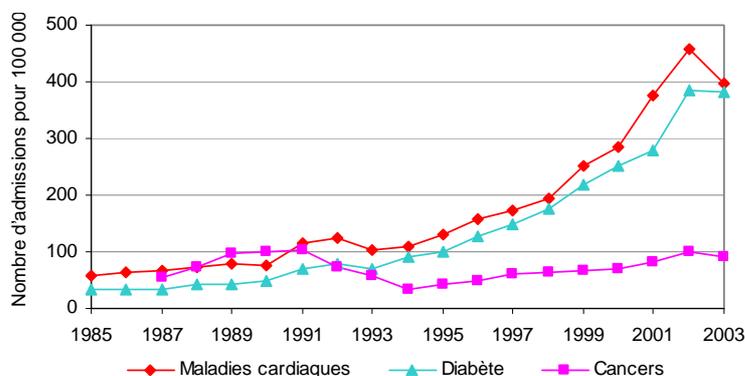
Les effets de la crise économique de 1997 sont visibles sur l'incidence des accidents, en baisse en 1997 et 1998, ce qui traduit une baisse du recours aux soins et de l'activité générale du système de soins durant cette période. C'est aussi une diminution du nombre d'accidents, liée à la diminution générale du trafic routier et des chantiers.

Les causes principales changent selon l'activité, le niveau social, et les classes d'âge (tableau 3).

Tableau 3 : Principales causes de mortalité par sexe et classe d'âge, en Thaïlande

Classe d'âge	Hommes	Femmes
0 – 1 an	affections respiratoires, problèmes liés aux conditions de naissance, anomalies congénitales ou chromosomiques	
1 – 4 ans	noyades, pneumonies	
5 – 14 ans	noyades, accidents de la route	
15 – 24 ans	accidents de la route, SIDA, suicides	SIDA, accidents de la route, suicides
25 – 44 ans	SIDA, accidents de la route, suicides	
45 – 59 ans	cancers du foie et de la vésicule biliaire, maladies cérébro-vasculaires	cancers du foie et de la vésicule biliaire, maladies cérébro-vasculaires, diabète
60 – 75 ans	maladies cérébro-vasculaires, cancers du foie et de la vésicule biliaire, maladies pulmonaires	maladies cérébro-vasculaires, diabète, cancers du foie et de la vésicule biliaire
Plus de 75 ans	maladies cérébro-vasculaires, cancers, maladies pulmonaires, problèmes cardiaques	maladies cérébro-vasculaires, maladies pulmonaires,

Sources : MOPH, 2004



Source : In-patients Report, MOPH ;© Herbreteau V., 2006

Graphique 14 : Evolution des hospitalisations pour les maladies cardiaques, le diabète et les cancers, de 1985 à 2003, en Thaïlande

Les problèmes cardiaques, le diabète et les cancers sont devenus les principales causes de morbidité, reflétant aussi les changements socio-économiques et, par conséquent, sanitaires qu'a connus la Thaïlande, à la fin du vingtième siècle (graphique 14). Les incidences apparentes des maladies cardiaques et du diabète, en légère progression jusqu'au début des années 90 ont été multipliées par quatre entre 1993 et 2002.

En 2002, elles atteignaient 458 cas pour 100 000 pour les maladies cardiaques et 386 cas pour 100 000 pour le diabète. Le taux d'admission pour les cancers (qui ne prend en compte ici que les cancers du foie, des poumons, du cerveau et du sein) progresse lentement alors que la mortalité due aux cancers augmente fortement. Au-delà d'une augmentation réelle du nombre de cas, ces chiffres traduisent l'activité du système de soins, les progrès du dépistage, et de la prise en compte de ces pathologies, avec de grandes inégalités entre Bangkok, où des centres spécialisés ont été créés, et les provinces.

- **La réduction de l'incidence des maladies infectieuses**

La généralisation des programmes de vaccination a permis de réduire considérablement certaines infections :

- le BCG (Bacille bilié de Calmette et Guérin) appliqué à 98,1% en 2002 ;
- le DPT (Diphtheria / Pertussis / Tetanus), appliqué à 89,8% en 2002, a permis de réduire la diphtérie de 5,2 cas pour 100 000 habitants en 1977 à 0,01 cas pour 100 000 en 2003, la coqueluche de 7,2 cas pour 100 000 habitants en 1977 à 0,04 cas pour 100 000 en 2003 et le tétanos de 72,1 cas pour 100 000 habitants en 1977 à 0,01 cas pour 100 000 en 2003 (MOPH, 2004) ;
- le vaccin OPV (Oral Polio Vaccine) appliqué à 89,7% en 2002 a quasiment fait disparaître la poliomyélite ;
- le vaccin contre la rougeole appliqué à 83,1% a permis une réduction de 20,2 cas pour 100 000 habitants en 1977 à 7,2 cas pour 100 000 en 2003 (MOPH, 2004) ;
- le vaccin contre l'hépatite B, introduit en 1993 et appliqué à 87,9% en 2001, et qui a permis de stabiliser son incidence entre 2 et 3% depuis 1995 (MOPH, 2004).

Les maladies sexuellement transmissibles (MST) sont les principales maladies infectieuses en terme de mortalité brute. Le premier cas de SIDA a été identifié en 1984. Les programmes de sensibilisation à l'usage des préservatifs ont permis d'en réduire considérablement l'incidence depuis 1990, diminuant l'incidence globale des MST de 600 à 700 cas pour 100 000 habitants avant 1990 à 30 cas pour 100 000 habitants en 2001. Les incidences diffèrent selon les régions, l'âge, le sexe et l'activité. Par ailleurs, si cette tendance semble confirmée, le nombre de cas enregistrés par le système de soins public semble très en deçà des estimations qui peuvent en être faites, où le SIDA à lui seul dépasse 30 cas pour 100 000 habitants en 2004 (MOPH, 2004).

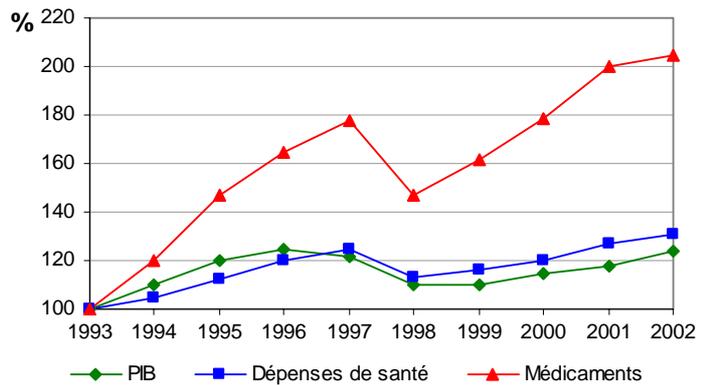
Le contrôle et la prévention du paludisme se sont montrés très efficaces avec une réduction régulière de l'incidence de 10,1 cas et 7,8 décès pour 100 000 habitants en 1981 à 0,6 cas et 0,3 décès pour 100 000 habitants en 2003 (MOPH, 2004). La malaria demeure un problème de santé le long de la frontière entre la Thaïlande et le Myanmar. L'encéphalite a enregistré une réduction similaire, de 4 cas et 1 décès pour 100 000 habitants en 1977 à 0,5 cas et 0,03 décès pour 100 000 habitants en 2003 (MOPH, 2004). La lèpre est désormais contrôlée à un seuil très bas, 0,03 cas pour 100 000 habitants en 2003 contre 0,9 en 1984 suite à l'introduction de thérapies cette même année (MOPH, 2004). La rage a fortement régressé passant de 0,5 décès pour 100 000 habitants en 1977 à 0,02 décès pour 100 000 en 2003 (MOPH, 2004). Elle n'est toujours pas éradiquée et se transmet essentiellement via les chiens errants dont le contrôle passe plus par la vaccination que l'élimination, pour des raisons culturelles et religieuses. La dengue oscille avec les mutations du virus et une épidémiologie changeante, sortant des villes vers les campagnes. La mortalité a en revanche fortement diminué de 1,7 décès pour 100 000 habitants en 1977 à 0,1 décès pour 100 000 en 2003 (MOPH, 2004). Enfin, les pneumonies et les infections respiratoires demeurent un problème de santé même si une réduction a été enregistrée, en particulier pour les enfants de moins de 5 ans.

- **Les conséquences de la crise économique sur la santé publique**

Les dépenses nationales de santé sont passées de 3,8% du PIB en 1980 à 6,1% en 2000 (NESDB). La part des dépenses de santé dans les revenus a été 3,6 fois supérieure pour les pauvres que pour les riches, en 2000 (MOPH). Les dépenses ont suivi les tendances de l'économie : durant la croissance économique des années 70, le recours aux soins a augmenté et le secteur privé s'est considérablement développé voyant le passage de médecins du public vers le privé. La proportion

de médecins dans le privé est passée de 6,7% en 1971 à 20,5% en 1996, où 21 hôpitaux de districts se sont retrouvés sans docteurs.

Durant les années 90, la croissance économique a entraîné une forte augmentation des dépenses en médicaments, plus marquée que celle des dépenses de santé, avant que la crise de 1997 provoque une baisse des dépenses de santé et donc de fortes inégalités de soins (graphique 15). Ces successions de croissance, crise puis nouvelle croissance, ont contribué à augmenter les disparités sociales. La crise a aussi provoqué une baisse considérable du recours aux soins privés, les clients privilégiant le public ou l'automédication (MOPH).

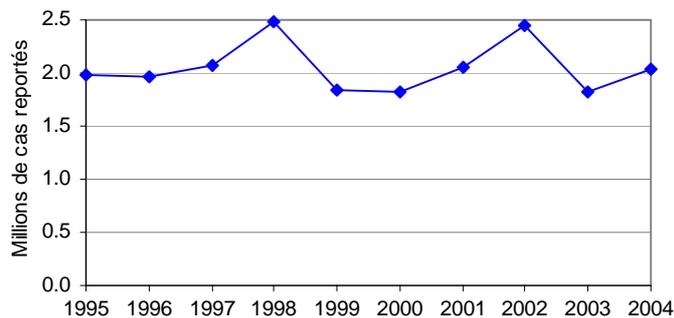


Source : MOPH, 2004 ; © Herbreteau V., 2006

Graphique 15 : Evolution des dépenses de santé et de médicaments, comparées à l'évolution du PIB par rapport à un indice 100 en 1993, en Thaïlande

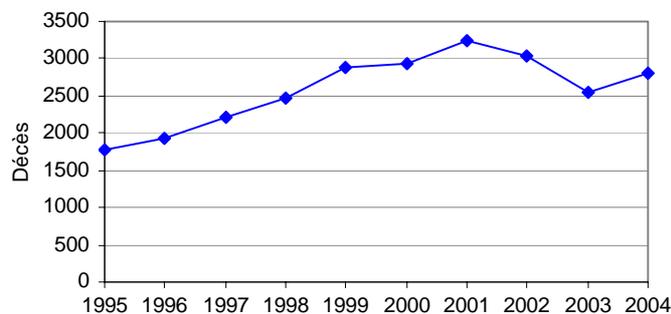
- Situation et problèmes de santé depuis la crise

Même si la Thaïlande a remarquablement amélioré son système de soins, l'accès et le niveau de santé demeurent médiocres avec dix millions de personnes en dessous du seuil de pauvreté (Banque mondiale, 2000). Le nombre total de déclarations, toutes pathologies confondues, a oscillé entre 1,8 et 2,5 millions, entre 1995 et 2004 (graphique 16).



Source : MOPH, 2005 ; © Herbreteau V., 2006

Graphique 16 : Evolution du nombre total de cas enregistrés par le système de soins de 1995 à 2004, en Thaïlande



Source : MOPH, 2005 ; © Herbreteau V., 2006

Graphique 17 : Evolution du nombre total de décès enregistrés par le MOPH de 1995 à 2004, en Thaïlande

En 1998 et 2002, les enregistrements du système de soins ont atteint des maxima, avec des épidémies de conjonctivites hémorragiques dont les incidences furent le double ou le triple des autres années. Durant cette période de 10 ans, il n'y a pas de tendance visible de l'activité du système de soins, via le nombre total de déclarations, semblant être stabilisé autour de 2 millions.

En revanche, le nombre de décès enregistrés par le MOPH, semble en augmentation, malgré une baisse en 2002 et 2003 (graphique 17). Les décès sont déclarés administrativement dans chaque province, alors que le système de soins ne les reporte que s'il y a eu un suivi des malades jusqu'à la mort. Cette amélioration du report traduit donc à la fois un meilleur suivi mais aussi un meilleur traitement des dossiers avec une mise à jour rétroactive des cas de décès lorsque leur notification revient tardivement aux structures de soins.

De nombreuses consultations, que ce soit dans les dispensaires ou les différents hôpitaux, butent sur le diagnostic en concluant à des diarrhées, dont les causes peuvent être multiples, comme des intoxications ou des maladies transmissibles. Il en est de même des « pyrexies d'origine inconnue » ou fièvres en second par ordre de morbidité décroissante.

Tableau 4 : Morbidité, mortalité et létalité des principales pathologies enregistrées par le système de soins, par ordre de morbidité décroissante, en 2004 en Thaïlande

Rang	Pathologie	Incidence apparente		Mortalité		
		Nombre de cas	Morbidité (/ 100 000)	Nombre de décès	Mortalité (/ 100 000)	Létalité (%)
1	Diarrhée sévère	1 161 877	1 775,4	93	1,42	-
2	Pyrexies d'origine inconnue	184 066	281,3	18	0,28	-
3	Intoxication alimentaire	154 678	236,3	12	0,18	-
4	Pneumonie	136 323	208,3	1 038	15,86	0,76
5	Conjonctivite hémorragique	103 461	158,1	-	-	-
6	Varicelle	85 525	130,7	-	-	-
7	Fièvres de dengue– toutes formes	39 135	59,8	48	0,73	0,12
8	Tuberculose – toutes formes	37 284	57,0	212	3,24	0,57
9	Dysenterie – toutes formes	25 768	39,4	-	-	-
10	Paludisme	23 656	36,1	47	0,72	0,20
11	Grippe	21 351	32,6	-	-	-
12	MST – toutes formes	18 315	28,0	-	-	-
13	Oreillons	10 767	16,4	-	-	-
14	Fièvre intestinale – toutes formes	9 179	14,0	3	0,05	0,03
15	Morsure de serpent	8 244	12,6	4	0,06	0,05
16	Hépatites – toutes formes	7 816	11,9	8	0,12	0,10
17	Herpès	7 272	11,1	-	-	-
18	Suicide	4 740	7,2	153	2,34	3,23
19	Rougeole – toutes formes	4 165	6,4	-	-	-
20	Typhus des broussailles	3 290	5,0	7	0,11	0,21
21	Leptospirose	3 199	4,9	45	0,69	1,41

Source : MOPH, 2005 ; © Herbreteau V., 2006

Par ordre de morbidité décroissante, beaucoup de consultations concernent les enfants : pour les diarrhées, la varicelle ou les oreillons (tableau 4). Parmi les maladies à vecteurs, la dengue a touché 39 135 personnes et le paludisme 23 656. Le typhus des broussailles et la leptospirose sont les premières maladies transmises par les rongeurs en terme de morbidité, avec chacune plus de 3000 cas déclarés en 2004, et sont ainsi parmi les 21 premières causes de morbidité.

Tableau 5 : Mortalité des principales pathologies enregistrées par le système de soins, par ordre d'importance, en 2004 en Thaïlande

Rang	Pathologie	Nombre de cas	Nombre de décès	Mortalité (/ 1 000 000)
1	Pneumonie	136 323	1 038	15,86
2	Tuberculose – toutes formes	37 284	212	3,24
3	Suicide	4 740	153	2,34
4	Diarrhée sévère	1 161 877	93	1,42
5	Fièvres de dengue– toutes formes	39 135	48	0,73
6	Paludisme	23 656	47	0,72
7	Leptospirose	3 199	45	0,69
8	Méningites – toutes formes	1 542	21	0,32
9	Rage	19	19	0,29
10	Pyrexies d'origine inconnue	184 066	18	0,28
11	Encéphalites – toutes formes	297	14	0,21
12	Intoxication alimentaire	154 678	12	0,18
13	Empoisonnement aux champignons	1 303	12	0,18
14	Maladies professionnelles	2 802	10	0,15
15	Tétanos – toutes formes	210	9	0,14
16	Hépatites – toutes formes	7 816	8	0,12
17	Typhus des broussailles	3 290	7	0,11
18	Choléra	2 130	7	0,11
19	Paralysie sévère	254	7	0,11
20	Empoisonnement aux médicaments	1 774	6	0,09
21	Mélioïdose	402	5	0,08

Source : MOPH, 2005 ; © Herbreteau V., 2006

En revanche, la leptospirose est la septième maladie par ordre de mortalité décroissante, avec 45 décès en 2004, tuant autant que la dengue ou le paludisme (tableau 5). Ayant causé 7 décès en 2004, le typhus des broussailles est la dix-septième pathologie dans le classement de la mortalité du MOPH.

Les maladies chroniques et comportementales, pneumonie, tuberculose et suicide sont les plus tueuses.

Si l'on considère la létalité, la rage subsiste en première place (tableau 6).

Tableau 6 : Taux de létalité des principales pathologies enregistrées par le système de soins, par ordre d'importance, en 2004 en Thaïlande

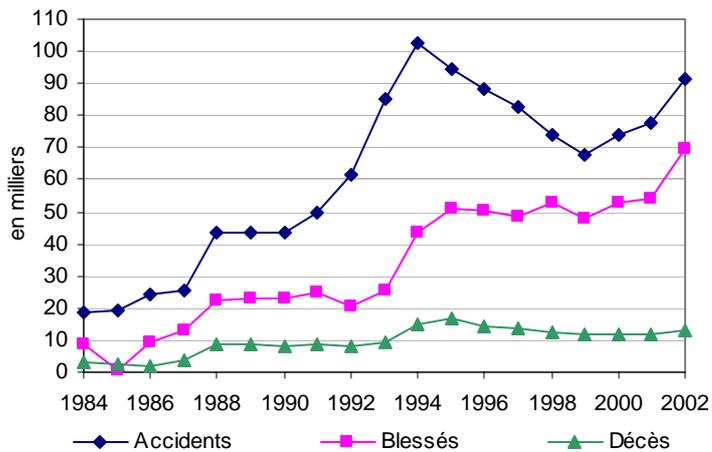
Rang	Pathologie	Nombre de cas	Nombre de décès	Létalité (%)
1	Rage	19	19	100,0
2	Diphthérie	13	4	30,8
3	Méningite	50	4	8,0
4	Encéphalites – toutes formes	297	14	4,7
5	Tétanos – toutes formes	210	9	4,3
6	Suicide	4 740	153	3,2
7	Paralyse sévère	254	7	2,8
8	Leptospirose	3 199	45	1,4
9	Méningites – toutes formes	1 542	21	1,4
10	Mélioïdose	402	5	1,2
11	Empoisonnement aux champignons	1 303	12	0,9
12	Pneumonie	136 323	1 038	0,8
13	Tuberculose – toutes formes	37 284	212	0,6
14	Maladies professionnelles	2 802	10	0,4
15	Empoisonnement aux médicaments	1 774	6	0,3
16	Choléra	2 130	7	0,3
17	Typhus des broussailles	3 290	7	0,2
18	Paludisme	23 656	47	0,2
19	Fièvres de dengue– toutes formes	39 135	48	0,1
20	Hépatites – toutes formes	7 816	8	0,1
21	Morsure de serpent	8 244	4	0,1

Source : MOPH, 2005 ; © Herbreteau V., 2006

La rage qui peut être transmise par des rongeurs est, en Thaïlande, essentiellement causée par les chiens errants. L'éradication de ces vecteurs pourrait en résoudre rapidement le problème, mais il s'agit d'une solution culturellement inacceptable. En 2001, le président du parti démocrate conseillait au maire de Bangkok : « *l'administration de la ville doit supprimer les chiens, mais sans les tuer. Ils doivent être confinés dans des centres où ils pourraient trouver des foyers d'adoption* ». Des personnes se font mordre et meurent chaque année de la rage à Bangkok alors que la ville se contente de vacciner quelques chiens.

La leptospirose est, en 2004, la zoonose transmise par les rongeurs ayant la létalité la plus élevée. Bien que ce taux ait baissé grâce à une meilleure connaissance de la maladie, il demeure important, s'élevant à 1,4%, soit le huitième rang en 2004. La leptospirose se classe ainsi comme plus létale que la dengue ou le paludisme.

- Accidents, santé mentale et obésité, des préoccupations croissantes



Source : Police Information System Centre, Royal Thai Police, 2004 ;
© Herbreteau V., 2006

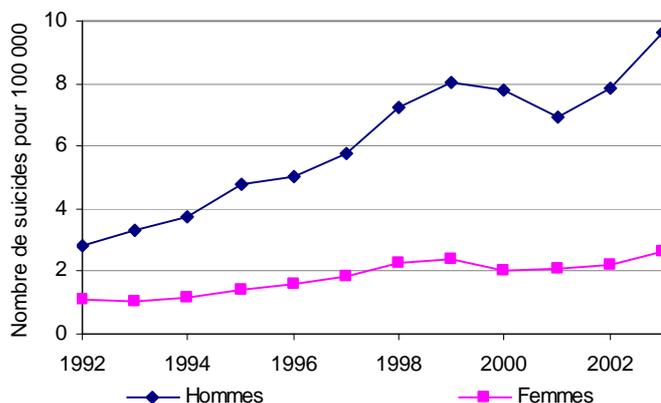
Graphique 18 : Evolution du nombre d'accidents, de blessés et de décès entre 1984 à 2002, en Thaïlande

Parallèlement à la croissance économique et à la densification du réseau routier, les accidents se sont multipliés, atteignant une incidence de 111 blessés et 21 décès pour 100 000 en 2002 (Police Information System Centre, Royal Thai Police, 2004).

Le nombre total d'accidents, incluant les véhicules agricoles et les véhicules lourds, a été multiplié par deux de 1990 à 1995 avant de diminuer (graphique 18). Le nombre de blessés a continué à augmenter après 1994 contrairement au nombre de décès en réduction depuis 1995

La diminution du nombre de décès par accident s'explique par les progrès techniques des véhicules, le retrait de véhicules dangereux (bus et camions), les campagnes de sensibilisation au port du casque, l'augmentation des contrôles de police, mais aussi une amélioration des services d'urgence en ville. Les victimes sont en majorité des hommes (80%) actifs.

Les noyades causent 5 à 7 décès pour 100 000 depuis 1977. Elles touchent pour les trois quarts des hommes et en majorité des jeunes enfants. Un quart des décès par noyade sont des enfants de 5 à 14 ans. L'apprentissage de la natation est encore rare et les quelques piscines existantes en dehors de Bangkok sont dans les universités ou les hôtels de luxe. Les loisirs, dont la baignade, restent réservés aux classes les plus aisées.



Source : Royal Thai Police, 2004 ; © Herbreteau V., 2006

Graphique 19 : Evolution du nombre de suicides par sexe, de 1992 à 2003, en Thaïlande

La consommation de tabac et d'alcool est aussi en hausse et s'accompagne de problèmes de santé mal évalués. Ces comportements suivent l'émancipation de la société.

Le nombre de suicides croît régulièrement (graphique 19). Il fut très élevé suite à la crise économique de 1997, a diminué en 2000 et en 2001 et augmente depuis. Plus des trois quarts des cas sont des hommes. Les principales causes de suicide sont la positivité au VIH, des difficultés économiques et l'alcoolisme.

Enfin, l'obésité émerge aujourd'hui comme un problème de santé majeur, révélant des pratiques alimentaires dégradées : alimentation grasse et très sucrée, alimentation rapide, profusion de confiseries, gâteaux, snacks... Culturellement, l'image d'un enfant « gros » inspire toujours santé physique et financière. Des campagnes de sensibilisation ont été lancées offrant des messages très simples pour renverser les conceptions et conseiller de meilleures pratiques alimentaires.

1.1.2. Le système de santé publique en Thaïlande, une couverture pyramidale totale du pays

1.1.2.1. Historique du système de soins et politique de la santé

Le système de soins s'est développé sous les décisions et impulsions de la monarchie depuis la période Sukhothai, au XVIII^{ème} siècle (MOPH, 2003). On peut distinguer trois périodes :

- 1782-1851, de Rama I à Rama III : la médecine reste traditionnelle. Les formules médicinales sont centralisées dans des temples de la médecine, sortes d'universités ouvertes. Les pharmacies royales sont établies pour divulguer les formules à travers le pays.
- 1851-1925, de Rama IV à Rama VI : grâce à l'ouverture du pays sur l'Occident, à la fois par la venue de missionnaires, lors des visites diplomatiques ou le voyage des rois à l'étranger, les soins évoluent vers la médecine moderne. Les premiers essais de contrôle du choléra ont alors lieu. En 1888, la construction de l'hôpital Siriraj puis l'établissement d'une école de médecine en 1889 permettent la mise en place du système de soins. En 1912, l'Institut Pasteur s'installe pour traiter la rage. En 1914, le système de soins se développe avec l'établissement des pharmacies qui deviendront plus tard les dispensaires à travers le pays. Le département de santé publique est créé en 1918.
- A partir de 1925, le système de soins se structure avec un département de la santé publique comprenant 13 divisions. En 1942, le Ministère de la santé publique est créé. Depuis 1946, différentes associations ou fondations soutiennent financièrement les grands travaux de santé.

Le développement du pays obéit à des plans quinquennaux depuis 1961. En matière de santé, ces plans ont marqué les grandes étapes du système de soins (tableau 7) :

Tableau 7 : Historique des plans quinquennaux du ministère de la santé thaïlandais

Plan	Structures de soins	Programmes	Difficultés
1 ^{er} plan 1961-1966	développement des structures de soins : hôpitaux de province et premiers dispensaires de district	« contrôle des maladies »	manque de personnel de santé
2 nd plan 1967-1971	augmentation de la couverture des districts de 42,3% à 54,9%	immunisation, en particulier pour le BCG	manque de personnel de santé
3 ^{ème} plan 1972-1976	couverture des districts en structures de soins supérieure à 70%	- santé mères-enfants, - maladies transmissibles - soins gratuits pour les pauvres à partir de 1975	manque de personnel de santé
4 ^{ème} plan 1977-1981	- construction des hôpitaux de district pour remplacer les dispensaires - volontaires de santé formés dans les villages	- maladies transmissibles : éradication de la peste et de la variole	problèmes sanitaires persistant dans les campagnes
5 ^{ème} plan 1982-1986	- poursuite des constructions - provisions pharmaceutiques établies dans les villages	- lutte contre la pauvreté et amélioration des conditions d'hygiène	
6 ^{ème} plan 1987-1991	couverture totale des districts et des sous-districts	- mise en place de l'assurance maladie - début de la lutte contre le SIDA, les cancers et les problèmes de santé mentale	
7 ^{ème} plan 1992-1996	- équipement des structures de soins	- généralisation de l'assurance maladie - programmes d'immunisation	concurrence du secteur privé
8 ^{ème} plan 1997-2001	- équipement des structures de soins	- généralisation de l'assurance maladie	crise économique

Source: MOPH, 2004

Les structures de proximité ont d'abord été construites pour répondre à l'isolement de certaines populations. Ainsi, dans la province de Phrae, des petits dispensaires ont été installés dès le début des années 70-80, dans les zones de montagnes (Atlas - carte 1.1.2.a.). L'accès à la vallée et la capitale de province y est difficile. Aujourd'hui, le système de soins offre une couverture en théorie totale du pays, avec une hiérarchisation des structures.

1.1.2.2. Organisation administrative du pays.

La Thaïlande repose sur un système administratif hiérarchisé, des villages à la capitale (tableau 8). Le pays est divisé en 76 provinces (changwat), composées de 876 districts (amphoe). Les districts sont subdivisés à leur tour en sous-districts (tambon), qui s'apparentent à des communes et regroupent une moyenne de dix villages (mouban, littéralement groupe de maisons). Les nombres de sous-districts et de villages sont variables selon les sources. Lors du recensement de la population de 2000, le NSO a déclaré 7 255 sous-districts et 69 866 villages, soit presque 1000 villages par province.

Tableau 8 : Divisions administratives, noms thaïs et effectifs :

Divisions administratives	Nom Thaï	Effectif
Région	Phak	4
Sous-régions	Khet	variable selon les administrations
Province	Changwat	76 (depuis 1993)
District	Amphoe / King Amphoe	795 / 81
Sous-district	Tambon	7 255
Village	Mouban	69 866

Source: NSO, 2000

Les 76 provinces sont communément et administrativement regroupées en quatre régions : le nord (17 provinces), le nord-est (19 provinces), le centre (26 provinces) et le sud (14 provinces). Ces grandes régions n'ont pas d'existence administrative mais sont des entités physiques et culturelles. En revanche, les différentes administrations tendent à regrouper, sans concertation, les régions au sein de sous-ensembles régionaux, les « khets ». Ainsi le MOPH divise le pays en 13 groupes, Bangkok et 12 régions, ce qui lui permet de regrouper, à cette échelle, des services, plus fonctionnels qu'administratifs, comme les bureaux de contrôle et prévention des maladies, ou d'y assurer des formations.

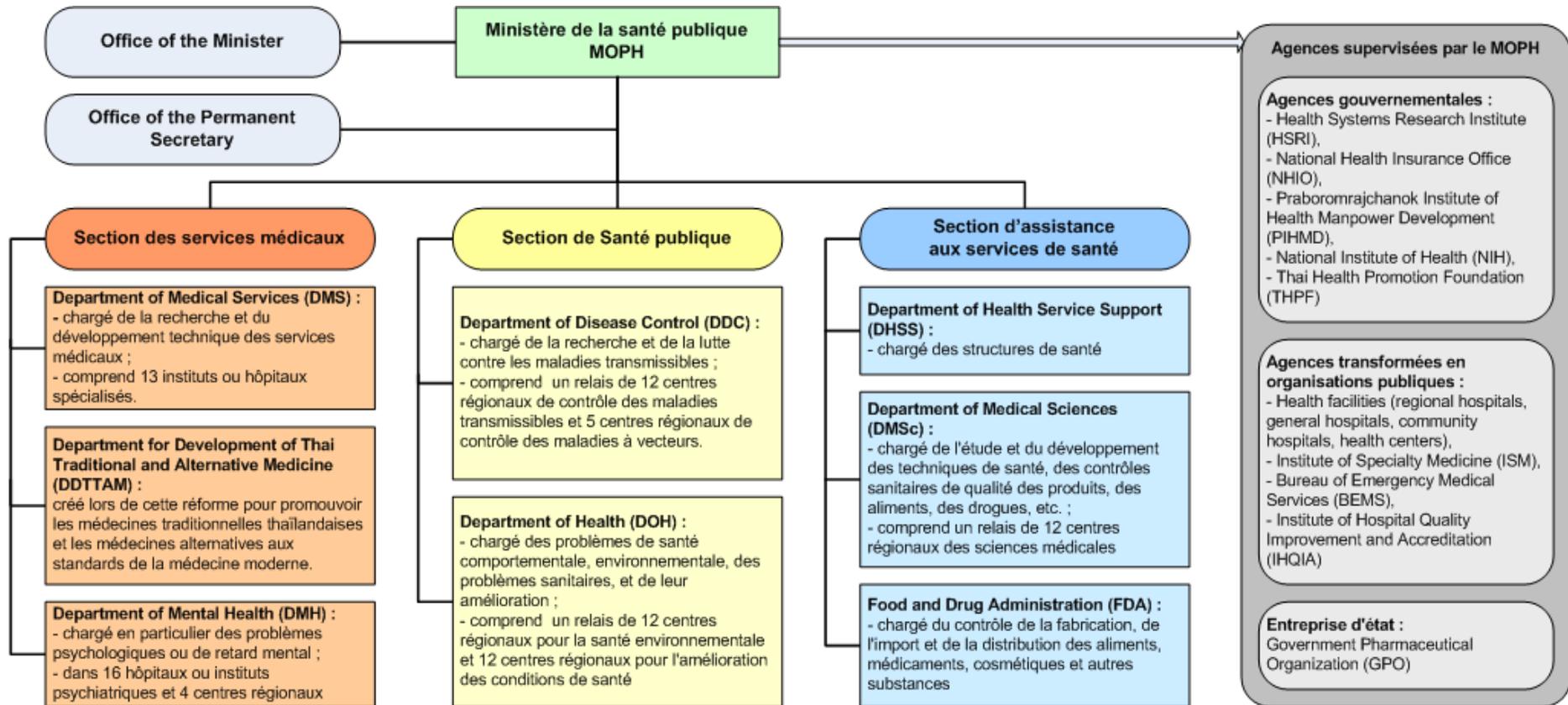
Les provinces portent le nom de la capitale de province, où sont regroupées les délégations provinciales des ministères et départements, le tout sous la direction du gouverneur de province. Ce dernier est nommé pour 4 ans par le Ministre de l'intérieur parmi les cadres supérieurs. Ces administrations provinciales sont ainsi une extension, directe et facilement contrôlable, du gouvernement. Les décisions provinciales peuvent être amendées par le gouvernement central. Les chefs de districts, également nommés par le ministre de l'Intérieur, dépendent des gouverneurs de province. En revanche, les villes élisent un maire et les villages ou groupes de villages un chef, nommé « Phou Yai Ban », littéralement l'aîné du village, devant être un résident, homme ou femme de plus de 25 ans, sachant lire et écrire. La Constitution confère aux communautés la responsabilité de gérer, de maintenir et d'exploiter leurs ressources locales. Les représentants de village sont les électeurs des chefs de sous-districts, responsables de l'application des décisions locales, comme l'allocation et la gestion des ressources : routes, eau et irrigation ou bien services de santé.

Le recours à ces représentants a été nécessaire pour déclarer les travaux de terrain mais aussi une aide précieuse pour cibler par exemple des personnes susceptibles d'aider à la collecte des rongeurs. De larges collectes de rongeurs ont ainsi pu être organisées, en distribuant des pièges aux villageois. Ces contacts ont permis d'avoir une idée de la diversité des populations en donnant des recommandations de capture. Par ailleurs, il est difficile d'identifier et de décrire ensuite les lieux de capture, perdant ainsi le contact direct avec le terrain.

1.1.2.3. Organisation actuelle du système public et structures de soins.

- **Organisation centrale**

Le ministère de la santé publique, MOPH, suite à la réforme structurelle de 2002, comprend désormais deux bureaux centraux, l'« Office of the Minister » et l'« Office of the Permanent Secretary », chargés en particulier des fonctions politiques, de planification, de formation et d'évaluation (figure 6). Les différents départements du MOPH sont regroupés en trois sections : la section des services médicaux, la section de santé publique et la section d'assistance aux services de santé.



Source : MOPH, 2004 ; © Herbreteau V., 2006

Figure 6 : Organigramme du Ministère de la santé publique thaïlandais

Le MOPH supervise d'autres agences, indépendamment des sections : 5 agences gouvernementales, 4 agences transformées en organisations publiques et 1 entreprise d'état, le Government Pharmaceutical Organization (GPO).

Dans cette structure complexe qui a évolué avec les nombreux remaniements ministériels qui se sont succédés, il est difficile de trouver et d'identifier ses interlocuteurs. Des contacts ont été établis avec deux équipes différentes et indépendantes du DCDC, l'une au Bureau de l'épidémiologie pour l'obtention des déclarations, l'autre dans un service de recherche sur ces maladies pour une coopération sur le piégeage des rongeurs. Un autre lien a été établi avec des médecins du NIH au sujet de la leptospirose et de la mélioïdose. Enfin, ce fut avec une équipe du DHSS au sujet des structures de soins. Trois équipes indépendantes – et peut-être concurrentes ? – travaillant sur la leptospirose ont ainsi été abordées.

Le budget du MOPH reste important, soit 6,7% du budget national en 2001, mais avec une part décroissante depuis la crise économique. L'essentiel du budget est attribué au National Health Security Office (43,2% en 2004, essentiellement pour financer l'assurance santé) et à l'Office of the Permanent Secretary (41,4% en 2004). 30 à 50% du budget sont utilisés pour les salaires. Le MOPH tend désormais à diminuer son rôle de service en rendant les hôpitaux plus autonomes.

• Organisation provinciale

L'administration provinciale de la santé publique est sous le contrôle des gouverneurs de province mais supervisée par les différents bureaux du MOPH. Les structures de santé sont hiérarchisées :

- Dans chaque capitale de province sont les grosses structures de santé ainsi qu'un relais administratif du MOPH :
 - o Les bureaux provinciaux de santé publique font le lien avec le MOPH à Bangkok. Ils comportent une section administrative, une section pour le développement stratégique de la santé, une section de support technique, une section de protection des patients et une section pour l'assurance santé. Ils contrôlent dans chacune des provinces un ou deux hôpitaux dits généraux ou régionaux et plusieurs hôpitaux de districts.
 - o Les hôpitaux généraux (entre 150 et 500 lits) ou régionaux (plus de 500 lits) étaient plus de 92 en 2001 (photo 6). Ils couvrent une population de plus de 10 000 habitants. Au moins un médecin y officie.
 - o Les hôpitaux privés étaient 436 en 2001.
- Dans chaque district, les populations ont accès à des services en relais des grosses structures :
 - o Les bureaux de district ou de sous-district sont en charge de l'application des décisions de l'administration provinciale, de l'évaluation, de la prévention et de la formation.



Photo : Herbreteau V.

C'est la principale structure de soins de la province de Phrae, où sont envoyés les patients des petits hôpitaux ou dispensaires lors de cas sévères, de complications ou de toute hospitalisation longue.

Photo 6 : Hôpital provincial public de Phrae.



Photo : Herbreteau V.

Dans cet hôpital de 30 lits, 2 médecins et 27 infirmières prennent en charge environ 2000 hospitalisations par an et près de 50 000 consultations externes.

Photo 7 : Hôpital du district de Khok Sri Suphan, province de Sakhon Nakhon.

- Les hôpitaux de district (720 en 2001) proposent entre 10 et 120 lits (photo 7).
- Dans chaque sous-district ou village, les habitants ont accès à des services de proximité :
 - Les dispensaires de district ou de village (9 738 en 2001 employant 31 231 personnes) fournissent un service de santé de base (photo 8). Leur taille varie selon l'isolement des villages. Un dispensaire comprend en général un fonctionnaire de la santé, une sage-femme et une infirmière, soignant entre 1000 et 5000 personnes. Les dispensaires les plus importants ont un dentiste.
 - Certains villages isolés bénéficient d'un simple poste de soins communautaire, tenu par un agent du MOPH (311 en 2001).



Photo : Herbreteau V.

Structure de proximité, se devant être accessible, les dispensaires accueillent chaque jour de nombreuses personnes qui viennent à pied, en vélomoteur ou sur la remorque du motoculteur.

Photo 8 : Dispensaire de Ban Nong Kwang, province de Sakhon Nakhon.

Les espaces les moins accessibles ont une offre de soins plus réduite. Ainsi, dans les montagnes de la province de Phrae, l'accès aux structures de soins semble plus difficile (Atlas - carte 1.1.2.b.). Les faibles densités de population y font que certains villages restent isolés.

Sur l'ensemble du pays, la carte 1.1.2.c. montre la couverture très homogène de chaque province en hôpitaux publics. Cependant, l'offre de soins est couverte selon une logique administrative, ne respectant pas forcément les densités de populations ou les besoins de santé (Atlas - carte 1.1.2.c.).

A cette hiérarchisation administrative s'ajoutent des structures spécifiques, les hôpitaux universitaires (cinq à Bangkok et quatre en province), les hôpitaux spécialisés, des hôpitaux sous la direction de l'armée, ainsi que les gros hôpitaux privés ou les cliniques privées (tableau 9).

Tableau 9 : Détail de la répartition des structures de soins publiques par unité administrative

Structures de soins	Bkk	Régions	Provinces	Districts	Sous-districts	Villages	Total
Hôpitaux universitaires	5	4	-	-	-	-	9
Hôpitaux régionaux	-	25	-	-	-	-	25
Hôpitaux spécialisés	19	41	-	-	-	-	60
Hôpitaux généraux	29	-	67	-	-	-	96
Hôpitaux de district	10	-	-	720	-	-	730
Hôpitaux indépendants du MOPH	-	-	57	-	-	-	57
Dispensaires	60	-	-	214	9738	-	10012
Postes de soins	-	-	-	-	-	311	311
Dispositif « Premiers soins »	-	-	-	-	-	72192	-

Source : MOPH, 2004 ; © Herbreteau V., 2006

Les structures privées sont essentiellement à Bangkok, dans les plus grandes villes et sur les lieux touristiques, comme Pattaya ou les îles de Phuket et de Samui. Enfin, les pharmacies jouent un rôle important mais non mesuré dans la délivrance des soins en étant un premier lieu de consultation. Le succès de cette meilleure couverture des soins de proximité, lié aux campagnes d'information et de prévention, s'est illustré par l'augmentation de la part des consultations dans les dispensaires de

29,4 à 46,1% entre 1977 et 2000. Le nombre de consultations externes a été multiplié par 10 au cours de la même période, passant de 11,9 à 112,4 millions.

1.1.2.4. Système privé de santé : offre, qualité, coût

Le développement des structures privées a commencé à Bangkok pour s'étendre vers les provinces. Il s'est accéléré dès le début des années 90 en province pour se généraliser aujourd'hui sur l'ensemble du pays. De 1991 à 2001, le nombre de cliniques privées a augmenté de 8 658 à 11 322 en province, où la couverture était réduite. En revanche, le nombre de cliniques privées a diminué à Bangkok de 5 625 à 3 081 au cours de la même période. La tendance est similaire pour les hôpitaux. Malgré tout, l'offre de soins privés reste déséquilibrée entre Bangkok et les provinces (Atlas - carte 1.1.2.d.).

Pour la clientèle, les structures privées ont la réputation d'offrir un meilleur service (photo 9).

Le système privé comprenait en 2001 (Source : MOPH):

- 6 505 pharmacies modernes,
- 4815 pharmacies ne vendant que des médicaments préparés et
- 1990 pharmacies de médecine traditionnelle ;
- 14 403 cliniques;
- 436 hôpitaux (23 en 1970, contre 373 en 1999).

En 2001, il y avait 15 507 pharmaciens mais le besoin est croissant avec une estimation de plus de 30 000 pour 2015 (MOPH). En 2000, 78,5% des pharmaciens sont dans le secteur public. Les pharmacies ne sont pas obligatoirement tenues par des pharmaciens, alors qu'elles sont souvent considérées comme des lieux de consultation par les populations.

Par ailleurs, avec 1000 pharmaciens formés chaque année, les pharmacies pourraient bientôt être tenues par des pharmaciens diplômés, sous l'impulsion du gouvernement.

La comparaison de la répartition des hôpitaux publics et privés (cartes 5 et 6) montre les deux logiques d'implantation : les structures publiques assurent une couverture homogène du pays alors que les structures privées sont implantées dans les espaces de plus fortes densités, où la clientèle est plus importante.

Le développement des structures privées a entraîné le passage de médecins du public vers le privé, où la rémunération est proportionnelle à la charge de travail, alors que les médecins du public ont longtemps eu un salaire fixe évoluant avec l'ancienneté. Depuis 1972, les médecins nouvellement diplômés doivent servir l'état pour trois ans, avant de choisir leur voie. Ce système fut mis en place pour garantir une meilleure répartition des médecins, y compris dans les zones peu attractives. Cependant, les salaires bas maintenus dans le système public ont poussé beaucoup de médecins à travailler dans le secteur privé. Moyennant 10 000 à 15 000 dollars US, beaucoup d'entre eux ont rompu ce contrat trouvant dans le privé des conditions leur permettant de le rembourser en environ 6 mois. Ce phénomène fut aggravé avec la crise économique.

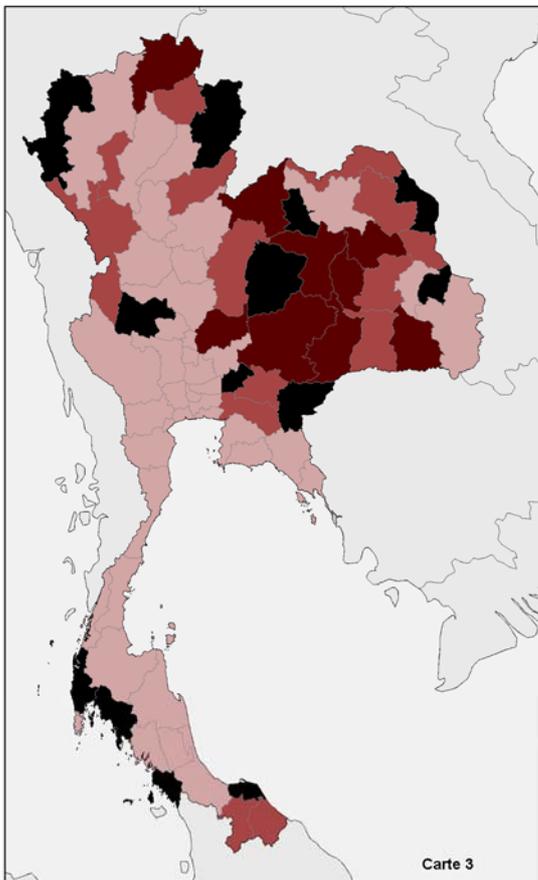
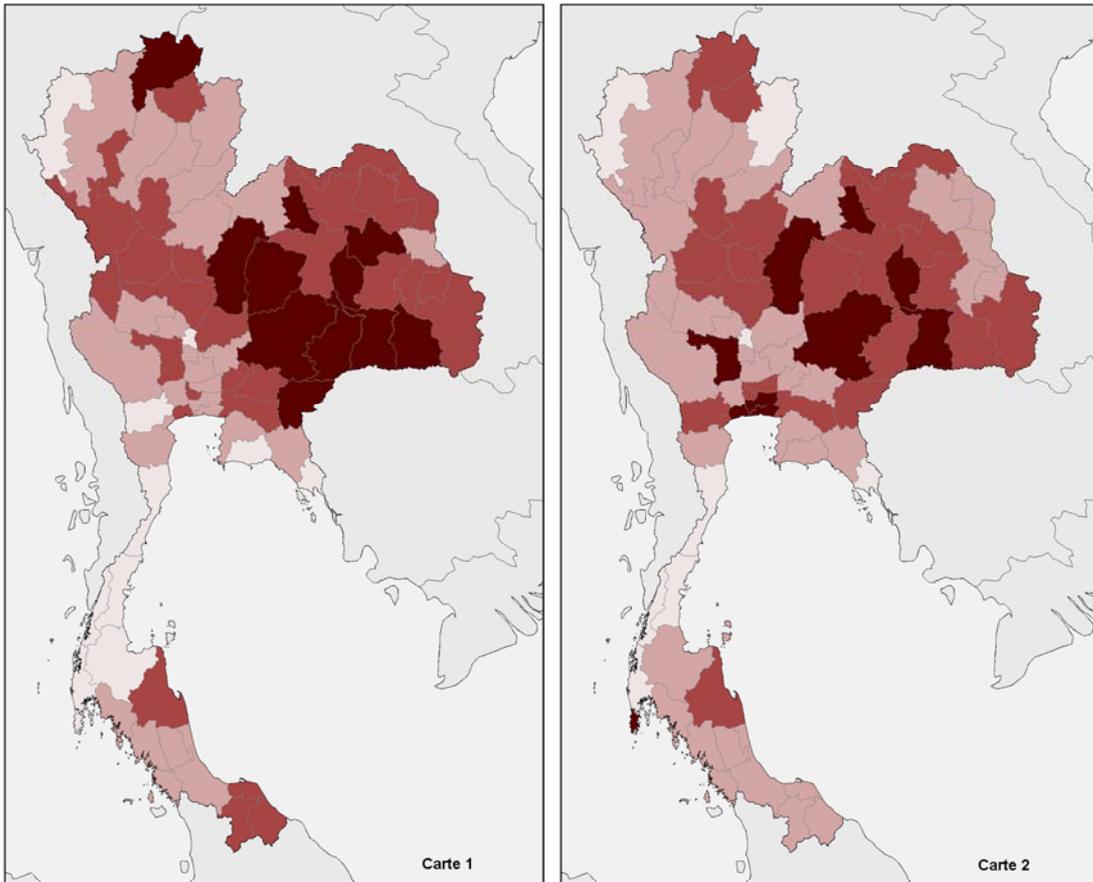


Photo : Herbreteau V.

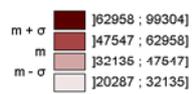
En province, les hôpitaux privés sont généralement de grosses structures, modernes et luxueuses. A Phrae., l'hôpital Prommit et l'hôpital Christian, sont les deux grosses structures privées de la province, avec des capacités de plus de cent lits.

Photo 9 : Hôpital privé Prommit dans la ville de Phrae.

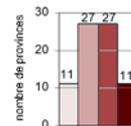
Carte 5 - Desserte médicale : population par hôpital, par hôpital public et par hôpital privé en 1999, par province en Thaïlande



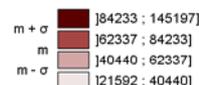
Carte 1 : Population par hôpital en 1999, par province en Thaïlande



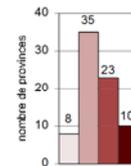
(Discretisation par la méthode de la moyenne (m) et de l'écart-type (σ))



Carte 2 : Population par hôpital public en 1999, par province en Thaïlande



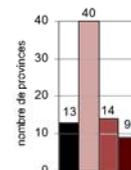
(Discretisation par la méthode de la moyenne (m) et de l'écart-type (σ))



Carte 3 : Population par hôpital privé en 1999, par province en Thaïlande

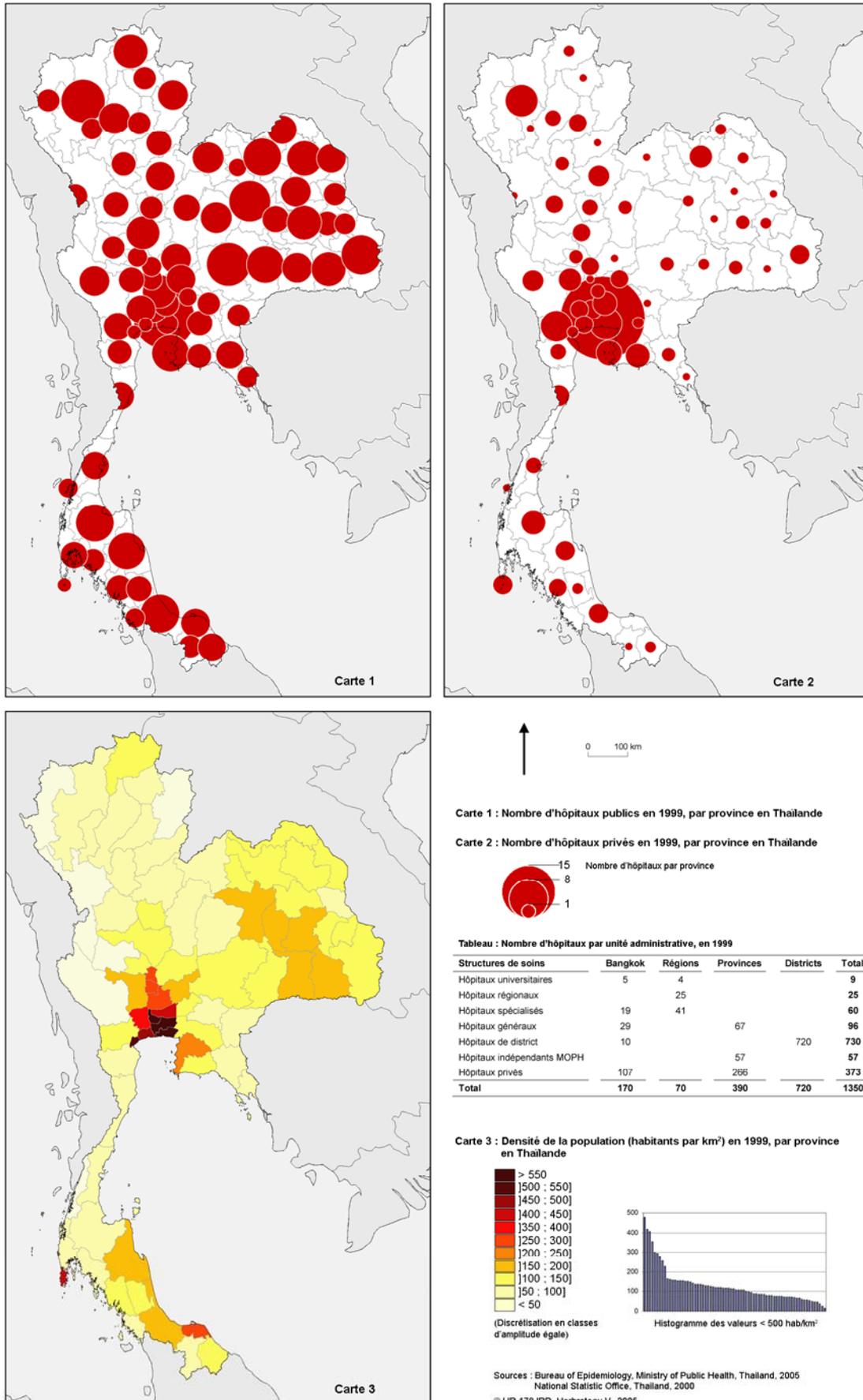


(Discretisation par la méthode de la moyenne (m) et de l'écart-type (σ))



Sources : Bureau of Epidemiology, Ministry of Public Health, Thailand, 2005
National Statistic Office, Thailand, 2000
© UR 178 IRD, Herbreteau V., 2005

Carte 6 - Offre de soins : comparaison du nombre d'hôpitaux publics, privés et de la densité de la population en 1999, par province en Thaïlande



Devant l'encombrement des hôpitaux publics, le MOPH a accordé des primes pour compenser la surcharge de travail. Les médecins du public sont aussi autorisés à exercer dans des hôpitaux privés à temps partiel ou dans leur propre clinique. En 2003, une enquête révéla que les deux tiers des médecins du public ont une seconde activité privée, leur permettant de multiplier en moyenne par 2,2 leur salaire, le tout au détriment de la qualité du service public (Prakongsai, 2003). Cela conduit à la négligence de la clientèle publique, le travail sur les heures du service public et plus de fatigue avec moins d'efficacité. Pour les autorités, cette conscience n'est pas acquise ou ignorée : les activités privées compensent les salaires bas et complètent l'offre de soins (Prakongsai, 2003).

1.1.2.5. Couverture des dépenses de santé et protection sociale

Le 1^{er} octobre 2001, le gouvernement a subitement réformé le coût des soins, introduisant un forfait de 30 bahts permettant à toute personne de bénéficier d'une consultation et des médicaments (photo 10). L'objectif annoncé, et statué dans la Constitution, était « l'obtention d'une couverture universelle des dépenses de santé pour garantir à chaque citoyen un égal accès à des services de soin de qualité ».



Photo : Herbreteau V.

« 30 bahts raksa touk rok », littéralement 30 bahts quels que soient les soins. Ces publicités de grande taille ont été placardées à travers le pays pour toucher l'ensemble de la population, comme ici le long d'une voie ferrée.

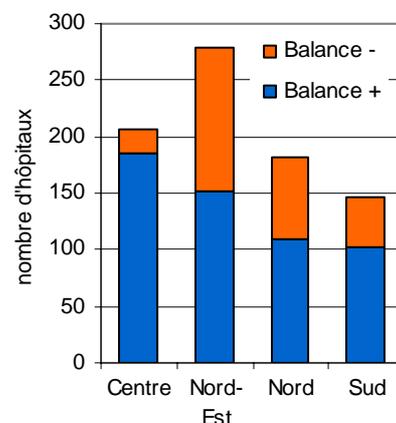
Photo 10 : Information pour le forfait soins à 30 bahts à Bangkok

Ce rapide coup médiatique, sonnait comme une mesure populaire irréflectée, se révéla très vite catastrophique pour beaucoup d'hôpitaux et de personnes. Un budget de 43 milliards de bahts fut dans un premier temps débloqué, allouant à chaque hôpital 1202 bahts par patient. Si pour les hôpitaux de district, en charge des premiers soins, ce budget était suffisant, il ne l'était pas pour les plus grosses structures ayant de lourdes charges associées aux soins intensifs et à l'investissement dans du matériel spécialisé (Bangkok Post, 29/11/2004).

En 2002, le National Health Security Act fut mis en place pour assurer la couverture universelle des soins. Il constitue désormais une partie essentielle du budget.

En 2003, un budget de 400 à 500 bahts fut alloué par patient, le reste du budget couvrant les frais administratifs, les salaires, et le financement des grosses structures.

Le budget global des hôpitaux de campagne, ainsi diminué de 33%, fut alors insuffisant. La dette des hôpitaux publics de district s'élevait ainsi à 1089 milliards de bahts en 2004 contre 298 millions pour les hôpitaux publics provinciaux ou régionaux. Plus précisément, les hôpitaux qui reçoivent peu de patients ne présentent pas de problèmes de trésorerie contrairement aux autres. Cela pose particulièrement des contraintes de gestion aux hôpitaux le long de la frontière laotienne qui soignent les laotiens venant frapper à leur porte, mais qui, depuis 2004, se retrouvent devant une impasse. Plus généralement, les hôpitaux du Nord-Est, la région la plus pauvre, connaissent les plus grandes difficultés : 45% des 278 hôpitaux y sont endettés. La région nord est dans une situation similaire avec 40% de ses hôpitaux endettés (graphique 20).



Source : MOPH, 2005 ;
© Herbreteau V., 2006

Graphique 20 : Balances financières positives ou négatives des hôpitaux thaïlandais publics, en 2004

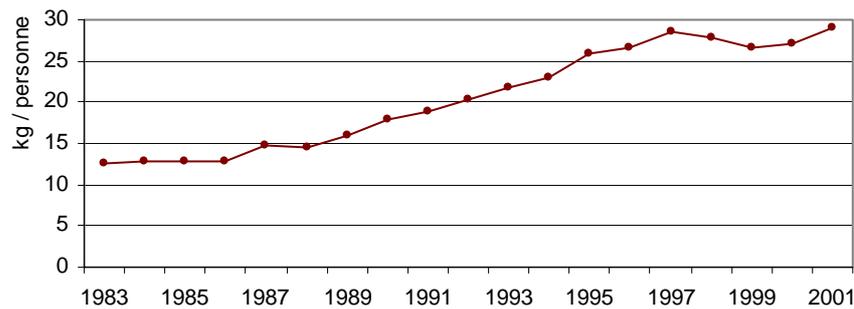
Le Sud, plus en recul, compte 30% d'hôpitaux endettés et le centre seulement 10%.

Devant une baisse de leur budget, la qualité des services est affectée dans les petits hôpitaux avec une possible augmentation du taux de décès des patients hospitalisés comme le dénonçait le journal Nation le 6 décembre 2004. Ainsi, les personnes devant consulter régulièrement bénéficiaient auparavant de forfaits pour un ensemble de soins et doivent désormais payer à chaque fois. Dans les campagnes, certaines personnes sans revenus sont alors prises en charge par les dispensaires ou les hôpitaux. Malgré une couverture des soins à 30 bahts, de grandes inégalités demeurent. Les dépenses de santé représentent 7,5% des revenus pour les classes les plus pauvres alors qu'elles en représentent 1,6% pour les personnes bénéficiant d'une protection sociale (Towse, 2003).

Les dépenses en médicaments représentaient 34,3% (57 milliards de bahts) des dépenses nationales de santé en 2000 ce qui est très élevé (pour comparaison ces dépenses représentaient 16,7% pour la France). Entre 1988 et 2000, elles ont plus augmenté que les dépenses nationales de santé ou le taux de croissance économique. En 2000, le MOPH a constaté qu'environ les deux tiers de la population avaient recours aux professionnels, médecins, personnel de santé, pharmaciens, et que le tiers restant se soignait par automédication.

1.1.2.6. Evolution des comportements de santé

L'évolution du niveau de vie et la mondialisation de l'alimentation ont provoqué des changements dans le régime alimentaire, avec toujours plus de sucre (graphique 21), d'hydrate de carbone et généralement plus de calories.

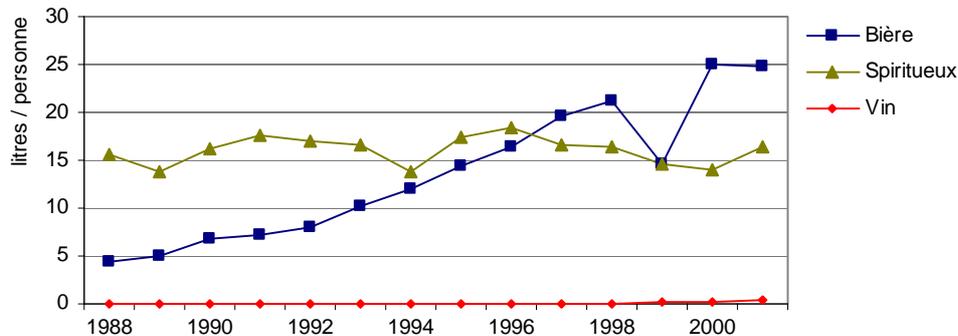


Source : Supply Administrative Center, Office of the Sugar Cane, 2004
© Herbreteau V., 2006

Graphique 21 : Evolution de la consommation de sucre (kg / personne) de 1983 à 2001

La courbe de consommation du sucre pourrait être corrélée à celle de la croissance économique, faisant apparaître nettement les effets de la crise sur le diabète ou l'obésité. Les citoyens tendent de plus en plus à acheter leurs repas préparés dans la rue, ce qui conduit à une alimentation moins saine. Ces repas sont plus gras, souvent chargés en sucre et exposés aux pollutions atmosphériques.

La consommation totale d'alcool a doublé au cours des années 90 (graphique 22).



Source: The Excise Department, Ministry of Finance. 2004
© Herbreteau V., 2006

Graphique 22 : Evolution de la consommation des principales boissons alcoolisées (bières, spiritueux et vins), de 1988 à 2001 chez les plus de 15 ans, en Thaïlande

Cette croissance récente de la consommation d'alcool, essentiellement la bière et le whisky, s'explique par l'émancipation de la société. La vie nocturne est plus active, et concerne désormais les jeunes et les femmes qui consommaient peu avant cette période. Ainsi, ces courbes retracent l'évolution de la société à travers la croissance économique.

De plus, les amphétamines ont vu leur production s'envoler au cours des années 80 et 90. D'abord consommées localement comme dopant et pas encore considérées comme drogues, un trafic international s'est rapidement organisé. La saisie de tablettes d'amphétamines est passée de 7 millions en 1993 à 94 millions en 2001 (Office of the Narcotics Control Board). En 2003, les problèmes de drogue ont défrayé l'actualité avec une répression gouvernementale, dont le cahier des charges était des plus simplistes : éradiquer le problème des drogues en trois mois ! Le bilan fut de près de 3000 morts.

Le MOPH oriente aujourd'hui ses actions vers les maladies non infectieuses et les comportements à risque. Il organise la prévention des cancers (lutte contre le tabagisme), de l'obésité (sensibilisation pour une meilleure alimentation), des problèmes mentaux (lutte contre les drogues), des maladies sexuellement transmissibles (éducation à la protection des rapports) et des accidents de la route (promotion du port du casque et de la ceinture). Le MOPH mène des campagnes d'information et de prévention souvent difficiles pour des sujets tabous comme la sexualité : par exemple, il n'est pas encore acceptable de placer des distributeurs de préservatifs dans les universités comme le souhaitait le MOPH. Enfin il mène une campagne particulièrement active pour inciter à l'activité physique, tant à la ville qu'à la campagne. Devant les dispensaires des sous-districts sont régulièrement organisées des séances d'aérobic. Plus de 60% de la population pratiquaient une activité physique plus de 3 fois par semaine, en 1997.

La durée moyenne de sommeil était de 7,6 heures par nuit en 1996 et 1997 (Thailand Health Research Institute and Bureau of Health Policy and Plan, MOPH, 1998). Les effets de la crise économique se sont faits aussi nettement ressentir sur le temps de repos : avant la crise, 63% des femmes et 54% des hommes dormaient 8 heures par nuit, contre 52% des femmes et des hommes après (Survey of Changing Health Behaviours of Bangkokian Due to the Economic Crisis, Thai Farmer Research Center, 1998).

C'est dans ce contexte de changements économiques et sociaux très rapides que se place cette étude en Thaïlande. Si les ressources sanitaires et l'accès aux soins semblent satisfaisants (photo 11), il ressort de cet état des lieux de grandes disparités sociales qui se traduisent par des différences géographiques, entre régions et entre villes et campagnes. Le Ministère de la santé, qui développe ses efforts face aux pathologies non infectieuses, soutient par ailleurs la prévention contre les maladies infectieuses et, parmi elles, en milieu rural, deux zoonoses transmises par les rongeurs que sont la leptospirose et le typhus des broussailles.



Photo : Herbreteau V.

Le Ministère de la santé tente de désenclaver les populations isolées en installant des structures de proximité.

Photo 11 : Un dispensaire, dans un village de montagne, dans la province de Phrae

1.2. Les zoonoses transmises par les rongeurs

Lorsque sont évoqués les rongeurs et les maladies qu'ils transmettent, vient à l'esprit l'image des rats ou des souris, animaux agiles et rapides, qui effraient à l'idée qu'ils nous touchent. Les rats et les souris sont classés dans la sous-famille des Murinae, dits rongeurs murins. Les Murinae représentent le plus grand effectif parmi la famille des Muridae, elle-même la plus importante famille dans l'ordre des rongeurs. Ainsi, les Murinae regroupent le quart des mammifères, soit 561 espèces dénombrées (Hutchins et al., 2003). Les rongeurs murins sont présents dans la quasi-totalité des milieux, sauvages ou proches de l'Homme. Ils ont été introduits sur tous les continents, excepté l'Antarctique. De part leur distribution cosmopolite, leur densité et leur proximité de l'Homme, les rongeurs murins sont essentiels dans la transmission des maladies à l'Homme. C'est d'après ces considérations que cette recherche fut « limitée » aux rongeurs murins.

1.2.1. Les rongeurs murins, une sous-famille diversifiée et adaptée aux différents écosystèmes

1.2.1.1. Diversité des espèces, des comportements et des biotopes : importance des rongeurs murins dans l'occupation des milieux naturels



Photo : Herbreteau V.

Photo 12 : *Leopoldamys edwardsi*, Loei, Thaïlande

Les rongeurs murins se sont adaptés aux différents milieux naturels, sous tous les climats boréaux, tempérés, subtropicaux ou tropicaux. Certains vivent à plus de 4000 mètres d'altitude, d'autres ont été identifiés à plus de 500 mètres de profondeur, dans des mines. Leurs comportements sont variés, diurnes ou nocturnes, solitaires ou en colonies, sédentaires ou nomades. Ils sont arboricoles, terrestres ou aquatiques. Enfin, ils peuvent être sauvages ou domestiques, nichant dans des terriers, dans les arbres ou des espaces anthropisés.

Outre leur comportement, une telle distribution cosmopolite correspond à une variété morphologique des animaux qui la constituent. De quelques grammes pour les souris à plus de deux kilogrammes pour les gros rats, les rongeurs murins s'apparentent morphologiquement à différentes formes animales : généralement de type rat ou souris, ils peuvent parfois ressembler aux représentants d'autres sous-familles tels les campagnols, les musaraignes, les gerbilles ou les écureuils. L'adaptation à différents milieux est permise par des variations morphologiques. Ainsi la queue plus longue des espèces arboricoles aide à l'équilibre et l'escalade, comme le montre *Leopoldamys edwardsi* (photo 12). Les pattes sont plus ou moins longues et larges selon les habitats. Elles sont légèrement palmées en milieu humide et plus striées si l'animal est grimpeur.

Enfin les colorations de la fourrure permettent de se fondre dans l'habitat. (Carleton and Musser, 1984; Nowak, 1999).

Les incisives des rongeurs sont sans racines et poussent continuellement, ce qui les conduit à ravager leur environnement. Les parties antérieures et latérales des incisives sont recouvertes d'émail, contrairement à leur partie postérieure qui est polie, permettant d'en aiguiser la pointe émaillée.

Les rongeurs murins sont très prolifiques ce qui leur permet d'investir les milieux rapidement. Les portées sont généralement de 3 à 7 petits et peuvent atteindre exceptionnellement 13 (Nowak, 1999). La maturité sexuelle est acquise très rapidement, après environ trois mois, mais pour certaines espèces, elle peut être réduite à quelques semaines (Nowak, 1999). La gestation dure généralement moins d'un mois. Leur durée de vie est courte, de quelques mois à exceptionnellement quelques années. Expérimentalement, des rongeurs murins ont pu être maintenus vivants pendant une dizaine d'années (Nowak, 1999 ; Poor, 2005).

Leur système sensoriel est très développé :

- La vue des rats resterait limitée à une perception dichromatique, dans des tonalités de bleu et de vert peu saturées, mais associée à une détection des ultraviolets. Leur vision est floue et se situe à quelques centimètres. Les autres organes sensoriels compensent cette vision réduite.
- Le toucher est essentiel dans le comportement des rongeurs, guidant leurs déplacements, la recherche de nourriture ou encore l'accouplement. Ce sens est dirigé par les moustaches, ou vibrisses, décryptant la texture des objets environnants. Les rongeurs possèdent de longues vibrisses de chaque côté du nez, d'autres partant des cils et des joues, et d'autres plus courtes autour de la bouche. Ils agitent leurs vibrisses environ 7 fois par seconde (Semba et Egger, 1986), guidant ainsi leurs déplacements, en se construisant une image de leur environnement en trois dimensions. En raison de leur vision réduite en distance, les rongeurs se déplacent en prenant connaissance au fur et à mesure du terrain environnant. Ils privilégient ainsi des chemins creusés plutôt que des surfaces planes sans repères. Dans les rizières, les rats se déplacent le long des bordures dégagées de végétation, où l'eau circule, et ne s'aventurent qu'accidentellement au cœur des rizières. Dans ou autour des maisons, ils privilégient les pistes le long des murs.
- L'odorat des rongeurs est très développé. Il leur permet de sentir différents substrats et surtout de reconnaître le passage d'autres animaux. 1% de leur ADN serait consacré à l'odorat. Outre le nez, les rats se servent de leur second organe olfactif, appelé organe voméro-nasal (ou organe de Jacobson), situé sous la surface intérieure de la cavité nasale. Cet organe détecte les phéromones, disséminées par les autres individus dans l'urine ou les matières fécales (Brown, 1975 ; Agosta, 1992 ; Brennan, 2001 ; Trinh et Storm, 2003). Cet organe intervient ainsi dans les comportements de reproduction, d'attraction, de protection ou d'agression (Bradbury et Vehrencamp 1998).
- L'ouïe répond elle aussi à une amplitude plus large. Les rongeurs perçoivent les ultrasons jusqu'à 90 kHz (Fay, 1988), alors que l'audition de l'homme est limitée à 20 kHz. Ces ultrasons sont caractéristiques de divers comportements de communication entre individus.
- Le goût permet enfin aux rongeurs de tester les aliments avant de les ingérer. Etant omnivores, ils peuvent se nourrir d'un large éventail d'aliments, dont ils mémorisent le goût ou parfois l'aversion. Des expériences mélangeant légumes empoisonnés et légumes sains ont montré les possibilités de goûter sans ingérer.

La réussite des rongeurs murins vient pour certaines espèces de leur organisation sociale, obéissant à une hiérarchie, garante du bon fonctionnement des groupes. Les rats communiquent en échangeant des informations, par des odeurs, des phéromones et par contact de leurs vibrisses. Les contacts sont fréquents au sein des groupes au moment de la toilette, qui a lieu plusieurs fois par jour, ou la nuit si les rats dorment regroupés. Ces contacts de proximité sont un facteur important de transmission horizontale des virus par voie aérienne entre individus.

Pour les rongeurs murins, uriner est un mode de communication essentiel (Birke, 1978). Ce sont surtout les mâles dominants qui marquent le territoire ou même directement les membres dominés de fines gouttes d'urine (Grant, 1963). Les femelles en font autant avant d'entrer en chaleur, tous les 4 à 5 jours (Grant, 1963). L'urine renseigne sur le sexe, l'âge, le statut social et reproducteur des

animaux (Agosta, 1992). En marquant les objets qui les entourent, les adultes déposent des repères olfactifs pour guider les jeunes ou les autres membres vers une nourriture comestible (Hopp et Timberlake, 1983 ; Galef et Beck, 1985 ; Laland et Plotkin 1991). Au delà des fonctions de communication, l'urine peut contenir divers agents pathogènes, en particulier les bactéries, qui seront ainsi mis directement au contact des autres membres d'une même espèce. La transmission de bactéries de manière horizontale, au sein d'une communauté, est un facteur important du maintien des agents pathogènes.

Au sein des écosystèmes, les rongeurs font partie de la chaîne trophique, où ils limitent la croissance des populations d'invertébrés et sont eux-mêmes chassés par les carnivores. Ils participent aussi à l'absorption de l'eau par le sol, en y construisant des terriers. Enfin ils contribuent à la dispersion des graines et à la pollinisation (Johnson et al. 2001). L'idée d'éradiquer localement une espèce vectrice de maladies n'est pas recevable car cela entraînerait un déséquilibre des écosystèmes.

Enfin, les rongeurs représentent une partie importante de la biomasse et sont considérés dans les campagnes comme gibier. Selon les régions de Thaïlande, ils sont relativement appréciés et chassés pour leur viande. Ils constituent la possibilité d'une provision en viande gratuite, ainsi consommée par les plus pauvres.

1.2.1.2. Importance sanitaire et économique des rongeurs dans le monde

Il existe plus de 400 espèces de rongeurs en Asie du sud et du sud-est et, parmi elles, 65 sont d'importantes nuisances agricoles. Les pertes y sont estimées à 5-10% de la production de riz soit environ 30 millions de tonnes ou encore de quoi nourrir 180 millions de personnes pendant un an (CSIRO, 2003). En Asie où plus de 90% de la production mondiale de riz est produite et consommée, le riz représente entre 35 et 60% de l'apport énergétique de trois milliards de personnes (Khush, 1993). Les rongeurs ont un féroce appétit qui les conduit à consommer plus d'un dixième de leur poids chaque jour. Au nord de la Thaïlande, nous avons observé et recueilli des témoignages de dégâts particulièrement importants sur les collines et les moyennes montagnes. Nous avons pu y identifier *Bandicota savilei*, capable d'envahir rapidement les parcelles de maïs et de s'y installer comme principal mammifère. Les dégâts s'accroissent depuis quelques années avec l'intensification des cultures. Ils peuvent être encore plus importants dans les régions où la production est stockée, comme c'est souvent le cas dans les pays développés. Depuis 1998, le Rodent Ecology Work Group, lancé par l'International Rice Research Institute (IRRI) et le CSIRO, mène des programmes de recherche et de formation au Viêt-Nam et plus globalement dans la région du delta du Mékong. En revanche, peu de chiffres fiables sont disponibles sur la situation en Thaïlande.

Au problème de ravage des récoltes s'ajoute la contamination des aliments, les rongeurs secrétant de fines gouttelettes d'urine sur leur passage, qui peuvent entraîner des problèmes sanitaires.

Des difficultés se posent pour les méthodes de dératisation, souvent inappropriées. De plus en plus de raticides sont utilisés, ou parfois des pesticides au spectre non spécifique. Selon le Department of Agriculture, le coût de l'utilisation des raticides se serait élevé à 530 000 euros entre 1993 et 1997. Le danger vient de leur utilisation à proximité des aliments que l'on veut protéger. Ces pesticides peuvent entraîner la mort d'autres animaux ou être nocifs pour l'Homme.

1.2.2. Les rongeurs, hôtes ou vecteurs de zoonoses

L'Homme et les animaux peuvent être atteints par des agents pathogènes qui leur sont propres ou bien qu'ils partagent et se transmettent, ce sont les zoonoses.

1.2.2.1. Les zoonoses, quelques définitions

Définies par l'OMS en 1959, les zoonoses sont les maladies et infections, naturellement transmises des animaux vertébrés à l'Homme et vice-versa. Le terme fut créé par Virchow au XIX^{ème} siècle à partir des racines grecques « zôon », l'animal et « nosos », la maladie (Saunders, 2000). On parle aussi de zoo-anthroponoses pour qualifier les maladies transmises des animaux vers l'Homme et d'anthropo-zoonoses pour les maladies transmises de l'Homme vers les animaux. Stricto sensu, cette définition exclut les pathologies causées par les animaux à l'Homme, qui ne sont ni malades, ni infectés. Une distinction est faite entre les zoonoses infectieuses dues à des virus, des bactéries ou rickettsies, et les zoonoses parasitaires, dues à des protozoaires, nématodes, trématodes ou cestodes. Les animaux vertébrés impliqués, comme les mammifères, les oiseaux ou les poissons, peuvent être domestiques ou sauvages.

Les zoonoses se distinguent par leur transmission, qui peut prendre différentes voies, soit directe telle la morsure, soit indirecte via un autre animal, soit au contact du milieu, sans transmission directe entre eux, via le sol ou l'eau. Lorsque les animaux jouent un rôle d'hôte intermédiaire dans le transport et la dispersion des agents pathogènes, ils sont dits vecteurs.

Différents types de zoonoses sont distingués selon le mode de transmission :

- orthozoonose (zoonose directe) : le cycle de transmission ne fait intervenir qu'une seule espèce de vertébrés mais plusieurs espèces de vertébrés peuvent en être réservoirs ;
- cyclozoonose : le cycle fait intervenir plusieurs animaux vertébrés et une seule est le vecteur de la transmission à l'Homme ;
- métazoonose : la transmission de l'animal vertébré à l'homme se fait via un invertébré (des acariens, comme les tiques ou les puces, ou bien des arthropodes, comme les moustiques ou les mouches) ;
- saprozoonose : la transmission se fait dans le milieu, en particulier dans le sol ou l'eau, où les animaux et l'Homme sont mutuellement infectés.

L'exposition de l'homme aux zoonoses peut se résumer à quatre catégories :

- exposition professionnelle : la maladie est contractée au moment du travail, soit par contact avec des animaux (tels les éleveurs ou les vétérinaires), avec des carcasses (tels les bouchers ou les équarisseurs) ou avec un milieu contaminé par les animaux ;
- exposition familiale : la maladie est transmise par les animaux domestiques aux membres d'une famille ;
- exposition de loisir : la maladie est contractée lors d'une activité comme la baignade ;
- exposition accidentelle : la transmission se fait par un événement imprévisible et exceptionnel.



Source : brochure de prévention contre la leptospirose, MOPH

Figure 7 : Exposition professionnelle ou de loisir, deux situations à risque dans la transmission de la leptospirose

La connaissance de l'écologie des vertébrés ou invertébrés impliqués dans les cycles de transmission est indispensable à l'étude des zoonoses. Ce sont les conditions du milieu, comme la température, l'acidité du sol, l'humidité ou le couvert végétal, qui conditionnent la présence des agents pathogènes et des animaux et, par conséquent, le risque de transmission à l'Homme.

1.2.1.1. Différents modes de transmission des zoonoses par les rongeurs

Les rongeurs sont responsables de la dispersion de nombreux agents pathogènes plus ou moins infectieux, parfois responsables d'épidémies. La plupart de ces maladies ne sont pas spécifiques aux rongeurs mais à de nombreux vertébrés. La spécificité à quelques espèces, genre ou famille masque parfois un manque d'investigations à d'autres espèces. Par ailleurs, il existe souvent une spécificité des agents pathogènes à leur hôte animal, les deux ayant co-évolué, ce qui est aujourd'hui extrêmement intéressant pour les études de taxonomie moléculaire et de la biogéographie, où la taxonomie du pathogène et celle de l'hôte, se reflètent et permettent de valider les méthodes de calcul ou de se compléter lorsqu'il manque des spécimens.

Les rongeurs peuvent être des porteurs sains ou malades. Dans ce dernier cas, l'agent pathogène agit comme un facteur régulateur des populations de rongeurs.

Si les maladies sont multiples, on peut distinguer quelques modes de transmission communs, directs (les plus rares) ou indirects :

- transmission directe par :
 - o morsure ;
 - o contact : la manutention des animaux lors de la chasse ou de leur préparation pour la cuisine met dans une situation à risque ;
- transmission indirecte par un vecteur intermédiaire. Ces vecteurs peuvent être des acariens ou des insectes qui se contaminent eux-mêmes sur les rongeurs avant de transmettre à l'Homme. Les rongeurs sont alors le réservoir de l'agent pathogène. Un contact entre le réservoir et l'Homme n'est pas nécessaire.
- transmission indirecte par contamination du milieu via l'urine ou différentes déjections :
 - o dans les zones humides, les marécages, les rizières, les fossés, les canaux d'irrigation, les rivières, les lacs, ou les égouts ;
 - o sur le sol des habitations et à l'extérieur, où les déjections peuvent être mises en suspension dans l'air ;
 - o sur les objets ou les aliments souillés dans les garde-manger et les entrepôts. C'est en particulier le cas pour les boissons bues dans leur bouteille ou dans leur cannette, ce qui implique un contact direct.



Source : brochure de prévention contre la leptospirose, MOPH

Figure 8 : Souris contaminant les aliments

Les pathogènes peuvent pénétrer l'organisme de l'Homme par :

- voie muqueuse nasale, digestive, conjonctivale ou par inhalation. Une telle transmission par voie aérienne est dite par aérosolisation.
- voie transcutanée, par les excoriations ou les plaies. Les risques d'infection sont accrus lorsque l'Homme marche pieds nus.

1.2.2.2. Les zoonoses transmises par les rongeurs sont d'origine variée

Les agents pathogènes dont les rongeurs peuvent être réservoirs et/ou vecteurs sont de diverses origines : bactéries, parasites (protozoaires, nématodes ou trématodes,) et virus. Nous détaillons ici les principales maladies selon leur origine, avec tout d'abord les maladies bactériennes (tableau 10) :

Tableau 10 : Les bactérioses transmises par les rongeurs

Bactérioses	Agent pathogène	Vecteurs	Réservoirs	Transmission
Bartonelloses	<i>Bartonella</i> spp.	Arthropodes suceurs	mammifères	indirectement par les arthropodes. Les bactéries infectent à terme les érythrocytes
Borrélioses (Fièvres récurrentes à tiques, spirochètoses, typhus récurrents)	<i>Borrelia</i> sp., essentiellement <i>Borrelia recurrentis</i>	tiques : <i>Ornithodros</i> spp.	rongeurs	indirectement, par les tiques
Fièvres dues à la morsure de rat	<i>Streptobacillus moniliformis</i> (fièvre de Haverhill), <i>Spirillum minus</i> (Sodoku)		rongeurs	par morsure d'animaux infectés ou ingestion d'aliments contaminés
Leptospirose (Maladie de Weil, fièvre des rizières)	<i>Leptospira interrogans</i> (spirochète), plus de 200 variantes sérologiques	rongeurs, bétail, porcs, chiens, lapins, reptiles...		habituellement transmise à l'homme, à travers des lésions cutanées, après contamination de l'eau par l'urine
Mélioïdose (pseudo-morve, Maladie de Withmore)	<i>Burkholderia pseudomallei</i> ou Bacille de Whitmore	tous les mammifères domestiques ou sauvages	sol, eaux de surface	l'homme, comme les animaux s'infecte directement dans l'environnement. Les rongeurs aident la dispersion des bactéries
Peste (Mort noire, fièvre pestilentielle)	<i>Yersinia (Pasteurella) pestis</i>	Puces de rats (<i>Xenopsylla cheopis</i>)	rongeurs	indirectement, par les puces
Rickettsioses				
Typhus murin (Typhus endémique, Typhus urbain)	<i>Rickettsia mooseri</i> , <i>Rickettsia typhi</i>	puces	rongeurs	indirectement par les puces ou l'urine
Typhus des broussailles (Fièvre fluviale du Japon, maladie de Tsutsugamushi)	<i>Orientia tsutsugamushi</i>	larves (chiggers) de mites trombiculides (du genre <i>Leptotrombidium</i>)	rongeurs	indirectement par les mites
Fièvre Q	<i>Coxiella burnetii</i>	parfois les tiques	divers animaux domestiques ou sauvages	par inhalation de poussières virulentes, ingestion de lait ou viandes virulents ou par les tiques
Fièvre pourprée des montagnes rocheuses (fièvre tachetée)	<i>Rickettsia rickettsii</i>	tiques, mites	rongeurs, chiens, lapins	par les tiques ou mites
Rickettsiose varicelliforme (Rickettsiose vésiculeuse)	<i>Rickettsia acari</i>	dermanysse (poux)	souris	par les poux

Salmonelloses (2 types : toxi-infections alimentaires à salmonelles, ou infections salmonelliques)	<i>Salmonella</i> spp.	tous les animaux		par ingestion d'aliments contaminés d'origine animale, transmission possible d'homme à homme.
Tularémie (Maladie de Francis, fièvre de la mouche du cerf, fièvre du lapin, maladie de Ohara)	<i>Francisella tularensis</i>	arthropodes suceurs : tiques, mites, puces, moustiques, mouches	rongeurs, cervidés, moutons, chiens, chats, lapins	indirectement, par les arthropodes ou par ingestion d'eau ou de poussières contaminées par des déjections animales

Les bactéries peuvent généralement survivre de nombreuses semaines voire mois ou années hors de leur hôte, lorsque les conditions du milieu sont favorables (température, humidité, pH). Leur activité est restreinte par des facteurs environnementaux limitants mais les bactéries deviennent de redoutables agents pathogènes dans des conditions optimales. Ainsi, la réapparition de la peste au Kurdistan après des décennies de silence épidémique a révélé que les bactéries avaient subsisté dans des terriers où les rats se sont à nouveau réinfectés.

Contrairement aux bactéries, les parasites ne seront pas la cause d'épidémies dues à une multiplication dans des conditions environnementales favorables. La transmission des parasites entre rongeurs et des rongeurs à l'Homme est question de leur proximité et de leur densité. Rares sont les rongeurs libres de tout parasite interne : ils sont présents à différents niveaux de l'organisme, dans le sang, le système digestif et même dans le système respiratoire (tableau 11).

Tableau 11 : Les parasitoses transmises par les rongeurs

Parasitoses	Agent pathogène	Vecteurs	Réservoirs	Transmission
Nématodoses				
Trichinose (Trichiniase, Trichinelliase, Trichinellose)	<i>Trichinella spiralis</i>	rongeurs, cochons, chiens, chats		ingestion de viande pas suffisamment cuite
Protozooses				
Babésiose	<i>Babesia</i> spp.	tiques	divers animaux domestiques ou sauvages	accidentellement transmis à l'homme par les tiques
Leishmaniose	<i>Leishmania major</i>	<i>Phlebotomus papatasi</i>	rongeurs	
Cryptosporidiose	<i>Cryptosporidium</i>	rongeurs, oiseaux, bétail, reptiles, lapins, chiens, chats, poissons		ingestion d'eau ou d'aliments contaminés
Trématodoses				
Schistosomose asiatique (bilharziose)	<i>Schistosoma mansoni</i> , <i>S. haematobium</i> , <i>S. japonicum</i>	<i>S. mansoni</i> et <i>S. haematobium</i> : homme ; <i>S. japonicum</i> : bétail, chevaux, rongeurs, chiens, chats		dans l'eau contaminée par des lésions cutanées

L'étude génétique des parasites a révélé, pour beaucoup d'espèces, un lien souvent exclusif entre le parasite et son hôte permettant, par comparaison, de renforcer les études phylogénétiques des parasites ou des hôtes. Ces études renseignent aussi sur la transmission horizontale des parasites entre membres d'une même espèce ce qui informe indirectement sur la biologie de ces populations.

Des liens d'exclusivité existent aussi entre les rongeurs et les virus. Quatre familles de virus sont connues chez les rongeurs (tableau 12) :

Tableau 12 : Les viroses transmises par les rongeurs

Viroses	Agent pathogène	Vecteurs	Réservoirs	Transmission
<i>Arenaviridae</i>				
Arénaviroses				
Maladie de Junin (Fièvre hémorragique argentine)	virus Junin		rongeurs	généralement par contamination de l'environnement par l'urine ou les fèces
Typhus noir (Fièvre hémorragique bolivienne)	virus Machupo		rongeurs	
Fièvre de Lassa	virus de la fièvre de Lassa		rongeurs (<i>Mastomys</i> spp.)	
<i>Bunyaviridae</i>				
Hantaviroses				
Fièvre hémorragique avec syndrome rénal (Fièvre hémorragique coréenne.)	virus Hantaan, Séoul		rongeurs	généralement par aérosolisation
Syndrome pulmonaire à hantavirus	virus Sin Nombre			
<i>Coronaviridae</i>				
SRAS (Syndrome respiratoire sévère aigü)	SARS-CoV		infection possible des rongeurs (Wang, perso. Comm., STVM, 2005)	
<i>Hepeviridae</i>				
Hépatite E	virus de l'hépatite E		infection possible des rongeurs (Jäkel, perso. Comm., MEEGID, 2006)	par contamination de l'eau ou des aliments par des matières fécales
<i>Rhabdoviridae</i>				
Rage (hydrophobie)	<i>Rhabdovirus</i> (genre <i>Lyssavirus</i>)		nombreux mammifères (peut potentiellement atteindre tous les mammifères)	par morsure, griffure ou aérosolisation : plus d'un million de traitements après morsure et plus de 30 000 morts dans le monde

On désigne par le terme « roboviroses » les viroses transmises par les rongeurs. Contraction de l'anglais « rodent-borne viral diseases », ce mot est formé sur le modèle d'arboviroses pour les viroses transmises par les arthropodes.

Parmi cette longue liste des agents pathogènes transmis par les rongeurs, seule une petite partie existe ou a été identifiée en Thaïlande. La diversité de leur nature et de leurs modes de transmission rend compte de l'importance des rongeurs pour la santé publique, et notamment dans une société où la proximité hommes-rongeurs est forte, comme c'est le cas en Thaïlande.

1.3. Epidémiologie des principales zoonoses transmises par les rongeurs, en Thaïlande



Source : Affiche du MOPH

« Extension de la leptospirose : appel à la vigilance et à l'entraide. Plus de 300 personnes ont déjà trouvé la mort depuis 1996 »

Figure 9 : Affiche d'information sur l'épidémie de leptospirose

Il a fallu des milliers de malades et plusieurs centaines de décès pour que les rongeurs soient considérés comme un vecteur majeur de zoonoses en Thaïlande (figure 9). Longtemps perçus comme simples ravageurs des récoltes, les rats des champs sont aujourd'hui la cible des départements de contrôle des maladies à vecteur, comme le sont depuis plus longtemps les moustiques. Deux agents pathogènes, en outre deux bactéries, ont particulièrement sévi en Thaïlande, officiellement depuis les années 90 : *Leptospira spp.*, qui cause chez l'homme la leptospirose, et *Orientia tsutsugamushi*, dont l'infection est le typhus des broussailles. Si l'épidémiologie de ces deux pathologies semble être aujourd'hui bien connue du Ministère de la Santé Thaïlandais, il a fallu plusieurs années pour en mettre au point le diagnostic, le rendre effectif par le personnel de santé et aujourd'hui permettre un suivi épidémiologique des ces maladies. Ce sont les seules zoonoses, transmises par les rongeurs, dont le MOPH reporte les incidences. Pour comprendre la géographie de ces zoonoses, une étude épidémiologique comparative, dans l'espace et le temps, de ces enregistrements officiels du MOPH s'impose, tout en sachant les limites de telles informations, dont la qualité est à l'image de celle du système de soins, et dont l'interprétation doit rester prudente.

Sur la base d'un accord d'échange avec la restitution des cartes d'incidence par district, le MOPH a fourni le détail de tous les enregistrements de leptospirose, de janvier 2000 à mars 2005, et de typhus des broussailles, de janvier 1999 à mars 2005, pour l'ensemble du pays. Les données antérieures ne sont pas disponibles informatiquement. Depuis mars 2005, les déclarations sont fournies régulièrement mais ne font pas partie de cette étude. Au début de chaque année, les données épidémiologiques de l'année précédente sont corrigées ou complétées, en particulier pour les décès ou rectifications de diagnostic. L'échelle du district est la plus fine qui puisse être envisagée pour une cartographie uniforme sur l'ensemble du pays et sur cette période de temps. Depuis 2003, les provinces transmettent les déclarations avec indication du sous-district et du village du patient, ce qui n'était pas le cas avant. Le format des déclarations a ainsi évolué jusqu'en 2003, où il semble désormais se stabiliser (voir Annexe 2 : Fiche d'enregistrement des malades, en Thaï), renseignant : 1- le nom du patient (gardé confidentiel par le Ministère), 2- son sexe, 3- son âge (en années ; mois et jours pour les jeunes enfants), 4- sa situation de famille, 5- son activité, 6- le code de son village (à 6 chiffres, renseignant sur le district, sous-district et le village, avec 2 chiffres chacun), 7- le code de la province, 8- la situation de son logement, dans le bourg/ville ou isolé, 9- le type de centre de soins où a eu lieu la consultation (dispensaire, hôpital de district, hôpital provincial ou clinique privée), 10- son code, 11- la date où il est tombé malade, 12- la date du diagnostic, 13- la date éventuelle de décès, 14- la date de la déclaration, et 15- la date où elle a été intégrée à la base par le Ministère.

Au cours des discussions autour de ce travail, au Ministère de la Santé, les interlocuteurs ont demandé une comparaison de l'épidémiologie spatiale de la leptospirose et du typhus des broussailles avec celle de la mélioïdose, une zoonose dont les rongeurs sont un vecteur potentiel mais pas principal. Le ministère a déclaré la mélioïdose obligatoire depuis 2003, portant un intérêt nouveau à cette zoonose dont l'ampleur reste hypothétique. La constatation est que les lieux d'infection semblent proches de ceux de la leptospirose d'où l'idée de comparer la vulnérabilité des populations aux deux pathogènes. Le MOPH a ainsi fourni l'ensemble des enregistrements de la

mélioïdose disponibles, de manière uniforme sur l'ensemble du pays, c'est-à-dire depuis janvier 2003.

Enfin, un troisième agent pathogène exclusivement transmis par les rongeurs doit être considéré : il ne s'agit plus ici de bactéries mais de virus, du genre *Hantavirus*. En 2005, un premier cas d'hantavirose a été confirmé en Thaïlande (Sputthamongkol et al., 2005), renforçant les soupçons sur la présence de ces fièvres et leur confusion avec des symptomatologies plus communes comme celles de la leptospirose ou du typhus des broussailles.

1.3.1. La leptospirose, un problème majeur de santé publique suite à de récentes épidémies

1.3.1.1. La leptospirose, une zoonose cosmopolite, particulièrement fréquente en climat tropical et humide

Définition :

La leptospirose est une maladie infectieuse due à des bactéries pathogènes du genre *Leptospira*. Elle est aujourd'hui considérée comme la zoonose la plus répandue dans le monde (Plank et Dean, 2000 ; Bharti, 2003). La transmission peut être directe ou indirecte des animaux vers l'homme, hôte final. C'est essentiellement une maladie professionnelle touchant les paysans dans les pays chauds, mais aussi les éboueurs ou les pêcheurs, ou plus rarement une maladie des loisirs, transmise lors des baignades en lac, en particulier.

Historique :

La première description remonte à Larrey en 1812 qui décrit une fièvre jaune parmi les troupes de Napoléon lors du siège du Caire. Attribuée initialement à la peste, cette fièvre n'en était pas aussi contagieuse. Au cours du XIX^{ème} siècle, elle fut connue sous le nom de « typhoïde bilieuse », avant qu'Adolf Weil n'en décrive une forme sévère en 1886. Son nom restera pour qualifier l'une des formes de leptospirose, due au sérotype *icterohaemorrhagiae* ou *copenhageni*. C'est en 1907 que Stimson identifia pour la première fois l'agent pathogène, *Spirochaeta interrogans*, et observa les agrégations de bactéries, dans les reins d'un patient atteint de la maladie de Weil et que l'on croyait atteint de fièvre jaune (Faine et al., 1999). En 1914, Inada, Ido, Hoki et Kaneko isolèrent au Japon le germe *Spirochaeta icterohaemorrhagiae* dans un cobaye infecté par le sang d'un patient de la maladie de Weil. En 1917, Noguchi observa morphologiquement *Spirochaeta icterohaemorrhagiae*, différent des autres spirochètes, le décrit et le nomma *Leptospira*. En 1918, Martin et Petit mirent au point la réaction d'agglutination-lyse (RAL) qui devint réaction de référence pour l'identification des leptospires.

Distribution géographique :

La leptospirose a une distribution mondiale mais sévit essentiellement sous les climats tropicaux, marqués par des précipitations importantes et dans des régions aux sols neutres ou alcalins (Acha et Szyfres, 1980), qui garantissent les conditions optimales à la survie des leptospires dans l'environnement. Des variantes sérologiques ont été observées selon les régions.

Taxonomie :

Les leptospires appartiennent à l'ordre des Spirochaetales et à la famille des Leptospiraceae. Classiquement, on divise le seul genre *Leptospira* en deux espèces: *L. biflexa*, saprophytes et *L. interrogans*, pathogènes. Les différences morphologiques entre espèces ne sont pas assez marquées pour permettre leur identification visuellement, au microscope à fond noir (elles sont trop petites pour une observation au microscope classique). On distingue alors les différentes souches selon leurs propriétés antigéniques, révélées par la réaction d'agglutination-lyse de Martin et Petit (RAL ou MAT en anglais), ce sont les sérovars : plus de 200 sérovars pathogènes divisés en 25

sérogroupe ont été décrits (tableau 13). Les différents sérovars peuvent être pathogènes ou commensaux selon les hôtes et spécifiques à un hôte particulier. Les outils de l'identification moléculaire ont permis récemment d'identifier plus d'espèces (Brenner, 1999, Levett, 2001).

Tableau 13 : Classification des espèces et sérogroupe les plus communs du genre *Leptospira*

Espèce	Principaux sérogroupe
<i>L. alexanderi</i> (genomospecies 2)	Hebdomadis, Manhao, Javanica, Mini
<i>L. borgpetersenii</i>	Ballum, Javanica, Sejroe, Tarassovi
<i>L. interrogans</i> sensu stricto	Australis, Autumnalis, Canicola, Icterohaemorrhagiae, Pomona, Pyrogenes, Sejroe, Hebdomadis, Bataviae, Ranarum, Louisiana, Mini
<i>L. kirschneri</i>	Autumnalis, Grippotyphosa, Icterohaemorrhagiae
<i>L. noguchii</i>	Australis, Icterohaemorrhagiae, Panama, Autumnalis, Pyrogenes, Louisiana, Bataviae
<i>L. santarosai</i>	Hebdomadis, Mini, Pyrogenes, Sejroe, Tarassovi
<i>L. weilii</i>	Celledoni, Javanica, Tarassovi
<i>L. fainei</i> ^a	Hurstbridge
<i>L. inadai</i> ^a	Lyme, Manhao
<i>L. meyeri</i> ^a	Javanica, Mini, Sejroe, Semarang, Ranarum
<i>L. biflexa</i> sensu stricto ^b	Andamana, Semarang
<i>L. wolbachii</i> ^b	Codice, Semarang
<i>Turneria parva</i> b (ex- <i>L. parva</i>)	Turneria
<i>Leptonema illini</i> b	"Leptonema"
Genomospecies 1 ^a	Saprophytic serogroup Ranarum
Genomospecies 3 ^b	Saprophytic tentative serogroup Holland
Genomospecies 4	Icterohaemorrhagiae
Genomospecies 5 ^b	Saprophytic serogroup Ranarum

^a statut pathogène

^b saprophyte/autre genre

Source : d'après Brenner, et al. 1999 ; OMS, 2003

© Herbreteau V., 2006

Cependant des organismes génétiquement différents peuvent avoir des caractéristiques sérologiques communes ou inversement des organismes sérologiquement différents peuvent avoir des marqueurs génétiques communs. La classification sérologique est la plus utilisée, étant plus pertinente du point de vue du diagnostic.

Morphologie des leptospires :

Ce sont des bactéries de forme hélicoïdale (longueur : 4-25µm, largeur 0,1µm, et environ 20 spires) dont la paroi est proche de celle des bacilles à Gram et dont les extrémités en crochets, à la différence des autres spirochètes. Mobiles dans l'eau, elles sont surtout motiles (rotation, flexion, translation) grâce à un appareil locomoteur interne, une paire de flagelles axiaux, qui leur permettent aussi de pénétrer les tissus.

Biologie des leptospires :

Les leptospires pathogènes se maintiennent dans les tubules rénaux de certains animaux. Elles sont aérobies strictes et, hors de leur hôte, peuvent survivre longtemps dans l'eau. La survie de *L. interrogans pomona*, étudiée sous des conditions hivernales expérimentales, est estimée à 42 jours dans le sol, 183 jours en sol humide dans de l'eau douce (tableau 14 ; Miller et al., 1991).

Tableau 14 : Survie expérimentale des leptospires dans différents milieux (Faine et al. 1999)

Milieu	Temps
Eau potable, pH5	1 jour
Eau potable, pH7	28 jours
Eaux usées	10 jours
Eau de mer	18-20 heures
Rein de porc	12 jours
Lait de vache, dilué	60 jours
Lait de vache, non dilué	30 minutes
Sol humide	35 jours
Urine de vache diluée	35 jours
Sol saturé d'urine	6 mois

Les expérimentations de Faine et al. montrent des possibilités de survie considérables en milieu alcalin et humide, qui ressortent comme des facteurs limitant à la survie du pathogène plus de quelques jours dans l'environnement et donc comme des facteurs de transmission. Dans des conditions optimales, un sol saturé d'urine animale, la survie paraît extrêmement longue, allant jusqu'à plusieurs mois.

Cycle de transmission :

Les leptospires persistent sans signe clinique dans leur réservoir animal. Différents mammifères, des souris aux éléphants, mais aussi des oiseaux, amphibiens, reptiles, ou même des acariens comme la tique peuvent être réservoirs de la leptospirose ; plus généralement ce sont les rongeurs, et en particulier les Murinae, les chiens ou les animaux d'élevage, les porcins ou les bovins. La liste des réservoirs possibles est très longue, ce qui offre aux leptospires un réservoir animal pratiquement inépuisable et dans tous les milieux. Les leptospires n'ont pas d'hôte exclusif mais peuvent avoir un hôte d'élection ; ce sont des souches plus virulentes pour l'homme (Acha et Szyfres, 1980).

Infectés, les animaux éliminent les leptospires par l'urine souillant le milieu extérieur, et exposant les animaux vivant dans le même environnement. Les transmissions entre individus d'une même espèce sont donc les plus fréquentes, permettant ainsi la maintenance des leptospires dans leur réservoir (cycle de maintenance). *L. canicola* se maintient ainsi chez les chiens ou *L. hardjo* chez le bétail. Accidentellement, les leptospires libérées vont infecter d'autres animaux qui peuvent se retrouver à leur tour hôtes, augmentant ainsi les risques de transmission à l'homme.

La transmission à l'homme est accidentelle, soit par voie directe au contact de l'animal infecté, ou indirectement, par exposition à un sol ou eau contaminée par l'urine d'un animal infecté. Une transmission directe d'homme à homme peut avoir lieu mais demeure très rare. Les leptospires pénètrent dans l'organisme par les plaies, les muqueuses, par la conjonctive ou par inhalation. Elles envahissent rapidement le sang, les tissus et les organes (période leptospirémique) avant que le système immunitaire ne les élimine (Acha et Szyfres, 1980). Néanmoins, elles peuvent s'installer dans les tubules rénaux pendant plusieurs semaines et persister près des yeux (OMS, 2003).

Dans la majorité des cas, l'eau intervient comme un média entre les leptospires et l'homme et apparaît comme le facteur environnemental le plus constant conditionnant la transmission.

Symptômes et diagnostic :

L'homme est sensible à plusieurs sérovars. La phase clinique dure de 3 jours à quelques semaines. Il s'agit d'une maladie parfois paucisymptomatique* mais souvent grave. Les symptômes sont variables : fièvre, frissons, vomissements, myalgies* et suffusion* conjonctivale, troubles neuroméningés (céphalées, malaises graves, méningite) éruption et uvéite occasionnelles; parfois ictère, insuffisance rénale, anémie et hémorragie cutanée. La guérison peut durer plusieurs mois. La mort peut suivre une défaillance rénale, défaillance cardio-pulmonaire ou une hémorragie généralisée. La virulence de la maladie n'est pas vraiment comprise, variable selon les sérovars et les individus. Cependant un même sérovar peut induire une forme légère ou aiguë de leptospirose (OMS, 2003).

La difficulté du diagnostic est surtout due à la ressemblance des symptômes de la leptospirose avec ceux d'autres fièvres, telles la dengue, la malaria, les fièvres dues aux hantavirus ou encore des rickettsioses telles le typhus des broussailles (Plank et Dean, 2000 ; Leelarasamee et al., 2004). Des coinfections entre ces maladies peuvent aussi compliquer le diagnostic (Wongsrichanalai et al., 2003).

Sérologie-Immunité:

Le système immunitaire réagit en produisant des anticorps spécifiques anti-leptospires, qui n'apparaissent pas avant le 5^{ème} 6^{ème} jour. Ils sont détectables à partir de la deuxième semaine par différentes méthodes sérologiques, dont les : tests RAL, tests de micro-agglutination, tests d'immunofluorescence (IFI), tests ELISA, PCR ou de nombreux tests en kits disponibles tel LEPTO DIPSTICK (Petchclai et al., 1990 et 1992 ; Suputtamongkol Y. et al., 1998 ; Smits et al., 2000, Plank et Dean, 2000 ; Wuthiekanun, et al., 2004).

Après infection, l'immunité est acquise spécifiquement pour le sérovar impliqué mais pas pour les autres (Faine et al., 1999 ; OMS, 2003), ce qui n'offre qu'une très faible protection si l'on considère la diversité des leptospires dans l'environnement.

Traitement :

Le traitement antibiotique doit être administré aussitôt que possible, de préférence pendant la période d'incubation. Plusieurs traitements sont proposés (Plank et Dean, 2000 ; OMS, 2003) :

- Antibiotiques par voie orale pour les formes mineures et au début: amoxicilline, ampicilline, doxycycline ou erythromycine. Ils stoppent la croissance des bactéries, en inhibant la synthèse protéique
- Pénicilline G pour les formes sévères
- Traitement symptomatique en cas d'insuffisance rénale

Il est à noter que la doxycycline a montré de meilleurs résultats que la pénicilline G en Thaïlande (Suputtamongkol Y. et al., 2005).

Prophylaxie :

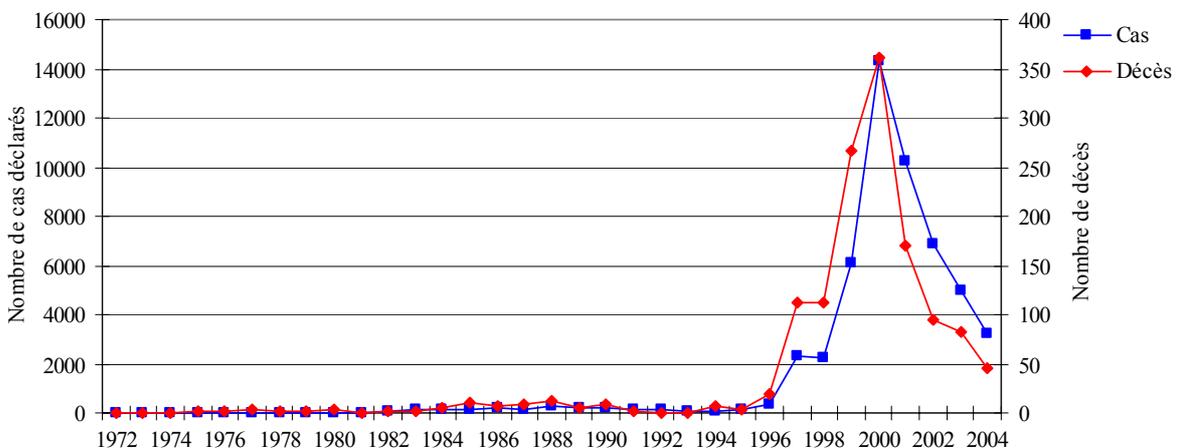
Il existe un vaccin inactivé anti-IH, efficace et réservé aux professionnels. Plus généralement, les mesures de prophylaxie peuvent inclure (Acha et Szyfres, 1980 ; Faine et al., 1999 ; OMS, 2003) :

- des mesures individuelles : protection des personnes fortement exposées : port de bottes, gants, éviter les zones humides ;
- des mesures pour les élevages : mesures d'hygiène générale, éviter le contact entre différents animaux, tels porcins et bovins, et éventuellement la vaccination des animaux ;
- des mesures de lutte collective : drainage des zones humides, protection des bâtiments (en particulier des entrepôts de nourriture) vis-à-vis des rongeurs, aménagement du stockage des déchets, dératisation ;
- surveillance : des épidémies (la leptospirose est une maladie à déclaration obligatoire), des rongeurs, des facteurs de risque de transmission.

1.3.1.2. La leptospirose, émergence et recul en Thaïlande depuis dix ans

Historique de l'épidémie :

La leptospirose a été enregistrée pour la première fois en Thaïlande en 1943 (Tangkanakul et al., 2005) puis est restée longtemps endémique. L'épidémie a débuté en 1996 par une croissance lente jusqu'en 1998 puis une progression très rapide jusqu'en 2000 (14 285 cas et 362 décès). A partir de 2001, le nombre de cas déclarés chute régulièrement (graphique 23).



Source : MOPH. © Herbreteau V., 2006

Graphique 23 : Evolution des enregistrements de leptospirose, de 1972 à 2004, en Thaïlande

L'épidémie a atteint des taux très importants entre 1999 et 2001 et touché l'ensemble du pays : 88% des districts (816) ont enregistré de cas entre 2000 et 2004.

Cependant il existe vraisemblablement un décalage important entre les cas enregistrés du Ministère et la réalité de l'infection, entre l'incidence déclarée et l'incidence réelle. Les symptômes de la leptospirose peuvent être confondus avec ceux d'autres fièvres communes en Thaïlande, la dengue hémorragique ou le typhus des broussailles, ce qui complique le diagnostic. Jusqu'en 2000, la maladie restait mal connue des centres de soins ruraux, qui l'ont vraisemblablement sous diagnostiquée. Depuis 2001-2002, les médecins ont soumis les cas observés à un dépistage en laboratoire, qui a contribué à un meilleur diagnostic et à la diminution du nombre de cas déclarés.

Caractéristiques des patients, recherche des critères de vulnérabilité :

La leptospirose est connue pour être une maladie professionnelle touchant les agriculteurs, dans des pays où le travail du sol reste peu mécanisé, particulièrement sous des climats chauds et humides. Les moyennes annuelles des cas de leptospirose vérifient ces constatations (tableau 15).

Tableau 15 : Répartition des patients par sexe et part des patients ayant une activité agricole parmi les cas diagnostiqués de leptospirose de 2000 à 2004 en Thaïlande

Année	Hommes	Femmes	Paysans
2000	11 046 (77,3 %)*	3 239 (22,7 %)	11 612 (81,3 %)
2001	7 681 (75,2 %)	2 538 (24,8 %)	7 711 (75,5 %)
2002	5 131 (74,8 %)	1 733 (25,2 %)	5 138 (74,9 %)
2003	3 757 (75,7 %)	1 205 (24,3 %)	3 620 (73,0 %)
2004	2 340 (75,0 %)	778 (25,0 %)	2 157 (69,2 %)
Pourcentage annuel moyen	75,6 %	24,4 %	74,7 %
Ecart-type	1,0	1,0	4,4
Total 2000-2004	29 955 (75,9 %)	9 493 (24,1 %)	30 238 (76,7 %)

* effectif (pourcentage)

Source :MOPH. © Herbreteau V., 2006

Les déclarations montrent une constance des caractéristiques des populations vulnérables avec un écart-type très faible entre les moyennes annuelles (1,0). Entre 2000 à 2004, près des trois quarts des cas sont des hommes (75,6 %) et aussi les trois quarts sont des paysans (74,7 %). Les caractéristiques d'âge des patients sont tout aussi régulières (tableau 16).

Tableau 16 : Age des patients diagnostiqués pour la leptospirose de janvier 2003 à mars 2005 en Thaïlande

Année	2003	2004	2005
Moyenne (m)	37,8	37,3	35,5
Ecart-type (σ)	16,2	17,0	18,9
Minimum	1	0	2
Maximum	92	88	91

Source :MOPH. © Herbreteau V., 2006

Pour l'ensemble des patients atteints par la leptospirose entre 2003 et 2005, les âges s'étalent de quelques mois à 92 ans. La moyenne d'âge est proche d'année en année, entre 35 et 40 ans, alors que les valeurs d'âge des patients sont dispersées, comme l'atteste un écart-type important (entre 16 et 19 années). Pour vérifier si ces valeurs sont représentatives de la population, nous pouvons calculer l'âge moyen de la population à partir des données démographiques par classe d'âge et par district. En prenant l'âge médian de chaque classe (exemple 7 ans pour la classe 5-9) et 87 ans pour la classe « +85 ans », l'âge moyen de la population thaïlandaise est alors estimé à 30,8 ans ($\sigma = 19,6$). Pour les populations rurales, l'âge moyen est 30,5 ans ($\sigma = 19,6$) et 29,9 ans ($\sigma = 19,7$) pour les hommes. L'âge moyen des patients est donc nettement supérieur avec un écart-type plus faible, ce qui traduit un risque d'infection lié au travail. L'essentiel des cas ont entre 20 et 55 ans : ce sont les personnes actives, travaillant à la campagne.

1.3.1.3. La leptospirose, des épidémies localisées

Voir les 63 cartes du suivi mensuel de la leptospirose de janvier 2000 à mars 2005, sur le CD d'accompagnement.

Voir les 5 cartes de l'atlas : carte 1.3.1.a. à carte 1.3.1.e. : incidence de la leptospirose en 2000, 2001, 2002, 2003 et 2004 (pour 100 000 habitants), par district en Thaïlande

Durant la période 2000-2005, au nord-est de la Thaïlande, le plateau Issan a été la région la plus affectée par les épidémies de leptospirose. De nombreux cas ont aussi été enregistrés dans la partie est de la région nord et dans l'extrême sud. Le reste du pays a reporté peu de cas.

Nous avons calculé les incidences dans l'ensemble des 926 districts, de janvier 2000 à mars 2005. Le recensement général de la population de 2000, utilisé pour le calcul de ces incidences, est le seul disponible qui donne le détail de la population par district. Afin de réaliser des cartes d'incidence à la fois annuelles et mensuelles, en utilisant une échelle comparable, nous avons adopté une discrétisation exponentielle. La distribution des incidences par district étant fortement dissymétrique (la plupart ayant des valeurs très faibles, inférieures à 10), une telle échelle permet de différencier les classes de faible valeur et de distinguer le grand nombre de districts correspondants. Les valeurs de la fonction exponentielle ont été retenues pour leur concordance avec les valeurs mensuelles d'incidences, qui s'étalent de 0 à 347 (6 classes), et avec le maximum annuel de 1097, soit à un dixième près l'exponentielle de 7 (tableau 17).

Tableau 17 : Valeurs de la fonction exponentielle et bornes retenues pour la cartographie des incidences de leptospirose

x	1	2	3	4	5	6	7
exp (x)	2,7	7,4	20,1	54,6	148,4	403,4	1096,6
Bornes retenues	3	7	20	55	150	400	1097

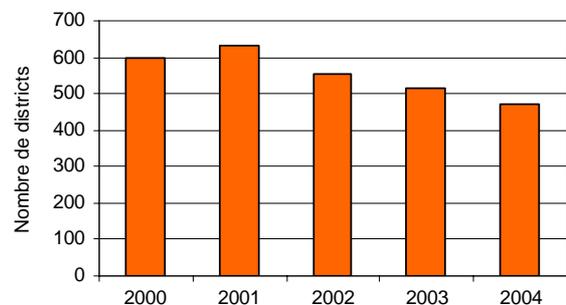
Source :MOPH. © Herbreteau V., 2006

La courbe de l'évolution du nombre de cas montre aussi un phénomène exponentiel avant 2000, pouvant suggérer, comme c'est le cas dans les réactions chimiques en chaîne ou certains processus biologiques de croissance, à un phénomène en chaîne faisant intervenir différents facteurs dont la combinaison s'auto-accélère.

La carte de l'incidence annuelle moyenne de la leptospirose entre 2000 et 2004 (pour 100 000 habitants) par district montre que les incidences les plus fortes suivent la frontière ouest de la région Issan, sur une ligne nord-ouest / sud-est, qui relie Loei à Buriram et se prolonge vers Phrae (carte 7). Les incidences diminuent en s'écartant de cette ligne tant vers l'ouest que vers l'est. Ainsi, les provinces bordant le Mékong ont enregistré des incidences faibles.

La comparaison spatiale des incidences annuelles montre que l'incidence moyenne diminue chaque année mais que la distribution spatiale des districts ayant des cas reste semblable.

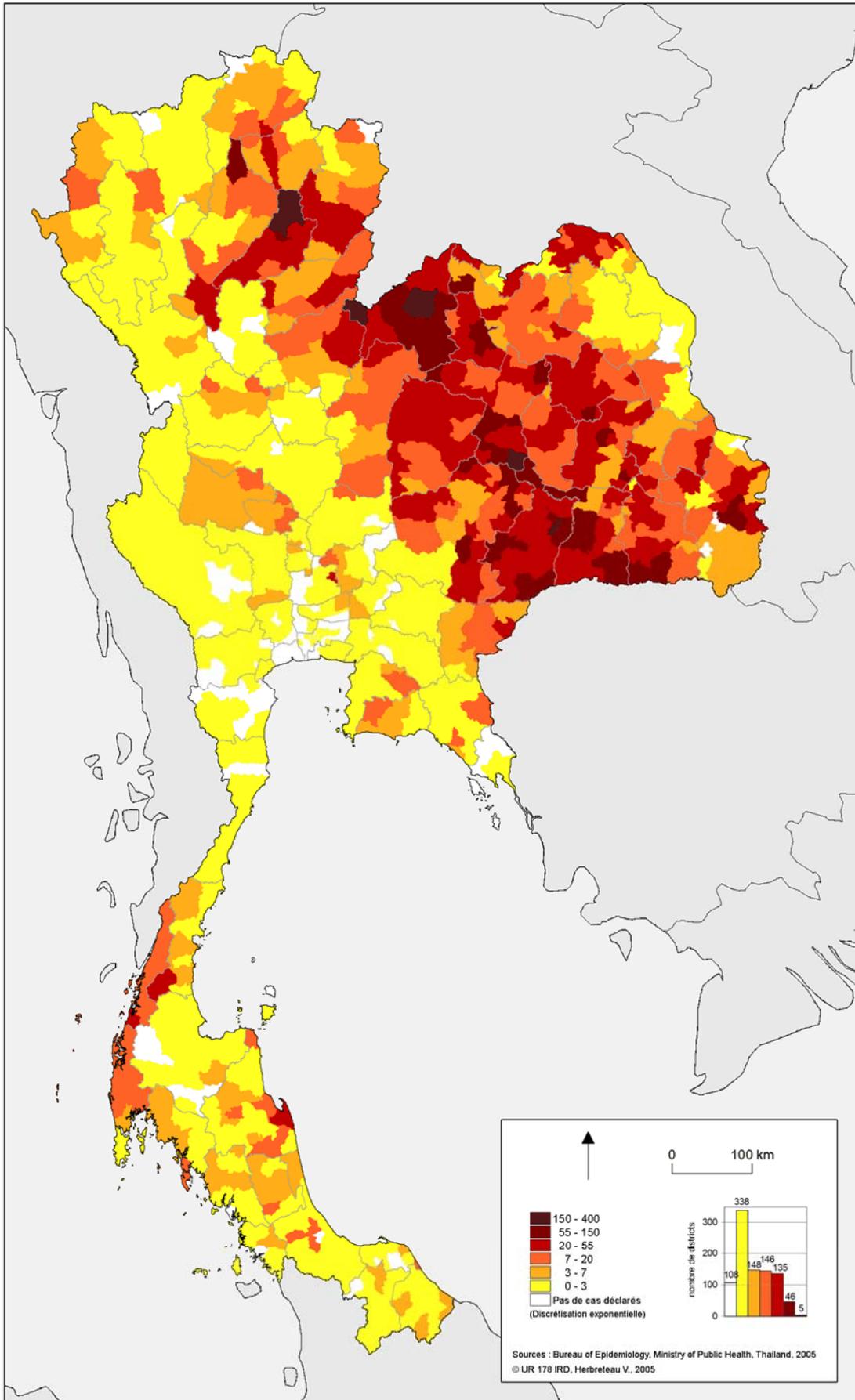
Le nombre de districts ayant reporté des cas augmente entre 2000 et 2001 (+5,3%) puis diminue (entre -8 et -12%). Environ la moitié des districts du pays ont reporté des cas chaque année. La moyenne des incidences par district diminue au cours de la même période (baisse de -20 à -40%). Entre 2000 et 2001, l'augmentation du nombre de districts et la diminution parallèle de l'incidence moyenne peuvent traduire un meilleur diagnostic de la leptospirose, en particulier dans les districts ayant eu peu de cas, grâce à la sensibilisation et à la formation du personnel de santé à l'identification des symptômes.



Source :MOPH. © Herbreteau V., 2006

Graphique 24 : Nombre de districts ayant reporté des cas de leptospirose entre 2000 et 2004, en Thaïlande

**Carte 7 : Incidence annuelle moyenne de la leptospirose entre 2000 et 2004
(pour 100 000 habitants), par district en Thaïlande**



Des incidences très fortes ont été enregistrées en 2000 et en 2001 (tableau 18).

Tableau 18 : Evolution des incidences annuelles de la leptospirose (pour 100 000 habitants) par district de 2000 à 2004 en Thaïlande

Année	2000	2001	2002	2003	2004
Nombre de districts avec cas	598	630	556	513	470
Incidence par district :					
moyenne	24,8	17,7	11,6	9,1	5,7
écart-type	65,3	48,9	24,9	22,1	13,2
maximum	1097	860	188	292	166

Source : MOPH. © Herbreteau V., 2006

Les écarts-types élevés entre les incidences des districts traduisent des niveaux de diagnostic différents. L'incidence annuelle maximale a été atteinte en 2000 dans le district Huay Rat, de la province de Buriram (sud de la région Issan), ayant enregistré 392 cas soit une incidence de 1097 ou environ 1 cas pour 100 habitants, ce qui illustre la gravité de l'épidémie en 2000. L'incidence mensuelle maximale a aussi été reportée depuis ce même district, en août 2000, avec 124 cas soit une incidence de 347 / 100,000. Par ailleurs tous les districts voisins ont aussi eu de fortes incidences ce qui ne fait pas de Huay Rat un cas isolé et ne remet pas en cause des erreurs de report des données. Le calcul de l'incidence annuelle moyenne sur la période des cinq ans montre que les régions plus au nord, et en particulier les provinces de Phrae et Loei, ont enregistré beaucoup de cas de leptospirose tout au long de la période.

L'incidence annuelle maximale est déclarée dans le district Song, au nord de la province de Phrae (242 / 100 000). Viennent ensuite les districts Huay Rat de la province de Buriram (239 / 100 000), Nong Song Hong de la province de Khon Khaen (186 / 100 000) et Muang de la province de Loei (185 / 100 000). L'alignement de ces quatre districts éclaire le tracé de cette ligne d'incidences maximales décrite précédemment.

La cartographie de l'âge moyen des patients par district, en 2003 et 2004, discrétisés par la méthode de la moyenne et de l'écart-type (cartes 1.3.1.f. et g.), montre une distribution aléatoire des districts dont la moyenne d'âge des patients est jeune ou âgée (au-delà d'un écart-type de la moyenne). Une telle discrétisation permet de comparer les deux années entre elles et de mettre en évidence quels sont les districts qui s'écartent nettement de la moyenne.

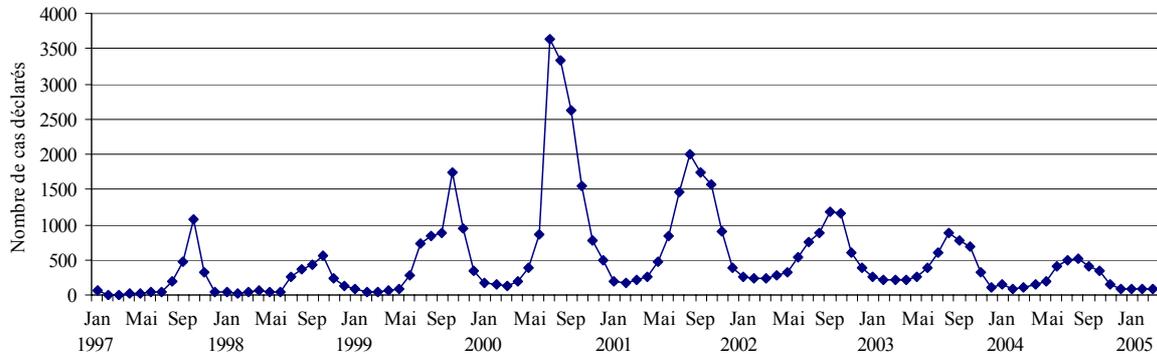
La proportion des classes d'âge les plus vulnérables à la leptospirose, les 20-55 ans (c'est-à-dire la moyenne d'âge des cas +/- 1 écart-type) dans la population totale varie nettement d'un district à un autre : les valeurs s'étalent de 40 à 70% avec les plus forts pourcentages correspondant aux grands centres urbains : la grande agglomération de Bangkok et les zones industrielles, ainsi que les capitales régionales, Chiang Mai, Chonburi, Khon Khaen, etc. (Atlas - carte 1.3.1.h.). Ces classes 20-55 correspondent avant tout à la population active, dont la part est plus grande dans les villes à cause des migrations de travail. Sur la carte se distinguent tout de même la partie sud de la région Issan et le sud du pays, avec des pourcentages plus faibles alors que ce sont des régions épidémiques. La comparaison de cette cartographie des proportions de classes d'âge 20-55 ans dans la population avec celle de l'âge moyen des patients montre qu'il n'y a pas de relation.

Enfin la cartographie de la proportion de femmes dans le total des cas de leptospirose, par district, ne montre aucun regroupement spatial (Atlas - carte 1.3.1.i.). La moyenne de ces pourcentages par district, 11,6%, et l'écart-type, 15,5%, sont faibles. Les quelques districts ayant des pourcentages importants ont aussi des effectifs de cas faibles. Cela signifierait que l'exposition des femmes est équivalente partout ou encore que l'implication des femmes dans les tâches agricoles serait semblable.

1.3.1.4. La leptospirose, au gré de la saison des pluies

Voir les 5 cartes de l'atlas : carte 1.3.1.j. à carte 1.3.1.n. : incidence mensuelle de la leptospirose en 2000, 2001, 2002, 2003 et 2004 (pour 100 000 habitants), par district en Thaïlande

Le détail mensuel du nombre de cas déclarés de leptospirose, depuis janvier 1997, montre la saisonnalité des infections, liées à la saison des pluies (graphique 25).

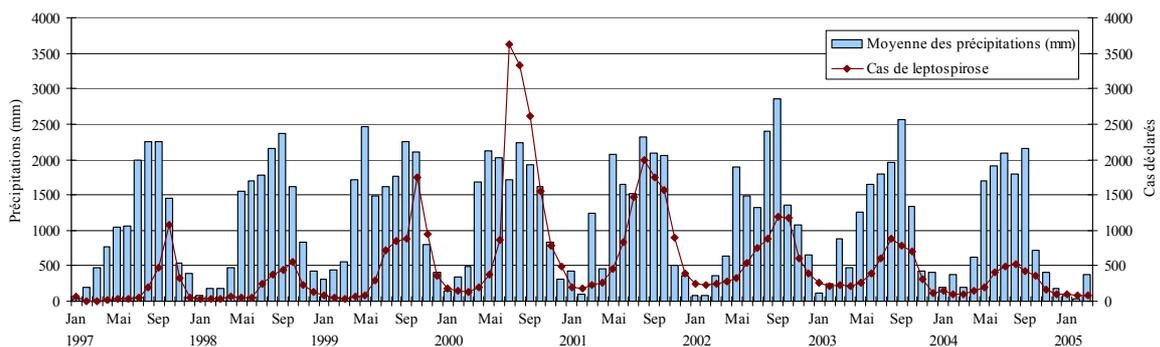


Source :MOPH. © Herbreteau V., 2006

Graphique 25 : Evolution du nombre de cas déclarés de leptospirose, de janvier 1997 à mars 2005, en Thaïlande

L'incidence augmente fortement au mois de juillet et atteint un sommet entre août, septembre et octobre selon les années : 1076 cas en octobre 1997, 555 en octobre 1998, 1748 en octobre 1999, 3352 cas en août 2000, 1989 en août 2001, 1190 en septembre 2002, 877 en août 2003, 524 en août 2004. Les pluies ont un rôle majeur dans la dynamique des épidémies de leptospirose, étant vecteur des leptospires. L'eau contribue à la fois à leur dispersion mais aussi à leur transmission à l'Homme. D'autre part, l'eau est aussi régulatrice des populations de rongeurs, vecteurs de la leptospirose. Il a ainsi été observé des diminutions conséquentes des densités de populations de rongeurs suite à des inondations, ce qui diminue a posteriori l'incidence de la maladie.

Les moyennes mensuelles des précipitations ont été calculées afin de les comparer, dans une première approche, avec les cas déclarés de leptospirose sur l'ensemble du pays, de 1997 à 2005 (graphique 26).



Source :MOPH. TMD. © Herbreteau V., 2006

Graphique 26 : Evolution comparée des moyennes mensuelles de la pluviométrie et des enregistrements de leptospirose, de janvier 1997 à mars 2005, en Thaïlande

Tout en gardant en mémoire le manque de représentativité des moyennes mensuelles, dans un pays marqué par des spécificités climatiques régionales, on observe nettement la saisonnalité des infections de leptospirose amplifiées par la saison des pluies. Les déclarations mensuelles sont corrélées aux données pluviométriques avec un coefficient de 0,49 ($p < 0,0001$), montrant un effet de la pluie sur le taux d'infection. Le graphique montre par ailleurs un décalage temporel entre le début de la saison des pluies, traduit par la croissance exponentielle des précipitations, et une même croissance exponentielle des cas déclarés de leptospirose. Si l'on calcule alors les corrélations entre les cas de leptospirose et les données pluviométriques du mois qui précède, le coefficient de

corrélation est supérieur, 0,58 ($p < 0,0001$), montrant ce rôle à retardement de l'eau sur les infections.

De plus, nous pouvons observer qu'en saison sèche le nombre de cas déclarés est très bas ce qui renforce l'idée d'un rôle primordial de l'eau dans la transmission de la leptospirose.

Enfin, les variations annuelles des précipitations sont faibles et ne permettent pas d'expliquer la montée de l'épidémie en 2001 puis son recul.

1.3.2. Le typhus des broussailles, exclusivement endémique en Asie du sud-est, et ré-émergent en Thaïlande

1.3.2.1. Le typhus des broussailles, une transmission des rongeurs à l'homme par la piqûre de larves d'acariens

Le typhus (du grec typhos) est le nom donné à un groupe de zoonoses similaires pouvant être mortelles pour l'homme. Provoquées par des bactéries de la famille des Rickettsies, elles entraînent des infections caractérisées par des fièvres et des maux de tête. Le typhus le plus fréquent en Thaïlande est le typhus des broussailles, parfois nommé fièvre fluviale du Japon.

Définition :

Les rickettsioses sont communément divisées en trois grands groupes :

- le typhus, comprenant le typhus exanthématique (typhus épidémique à poux ou typhus fever), autrefois à l'origine de pandémies dévastatrices, et le typhus murin (typhus endémique).
- les fièvres boutonneuses, très nombreuses.
- le typhus des broussailles (scrub typhus)

Le typhus des broussailles est causé par *Orientia tsutsugamushi* (anciennement : *Rickettsia tsutsugamushi*, *Rickettsia orientalis*).

Historique :

Le typhus des broussailles fut décrit pour la première fois en 1899 au Japon. Pendant la Seconde Guerre mondiale, il a handicapé ou tué des milliers de fantassins, stationnés dans les campagnes de l'Asie du sud-est. Le nom de son agent pathogène, « tsutsugamushi » vient de deux mots japonais, « tsutsuga » désignant quelque chose de petit et de dangereux et « mushi » définissant une créature.

Distribution géographique :

La distribution du typhus des broussailles paraît restreinte à l'est du continent asiatique et l'ouest du Pacifique dans un espace délimitant un triangle parfois qualifié de « tsutsugamushi triangle ». Ses angles sont localisés à l'ouest de la Russie, à l'est de l'Australie et au nord du Japon. Des épidémies ont ainsi été enregistrées en Russie asiatique, Pakistan, Inde, Chine, Thaïlande, Laos, Cambodge, Viêt-nam, Malaisie, Philippines, Japon et Australie (Kawamura et al., 1995 ; Orfila ; Faa et al., 2003). Parmi ces pays, la Thaïlande a subi d'importantes épidémies touchant plusieurs milliers de personnes chaque année, depuis 1991.

Taxonomie :

Empire	<i>Bacteria</i> ou <i>Eubacteria</i>
Phylum	<i>Proteobacteria</i>
Classe	<i>Alpha Proteobacteria</i>
Ordre	<i>Rickettsiales</i>
Famille	<i>Rickettsiaceae</i>
Genre	<i>Orientia</i>
Espèce	<i>Orientia tsutsugamushi</i> (Tamura et al., 1995)

Les agents pathogènes des typhus sont des bactéries de la famille des Rickettsiaceae, qui comprend deux genres : *Rickettsia* (causant le typhus murin, le typhus épidémique et les fièvres boutonneuses) et *Orientia* (avec une seule espèce, *O. tsutsugamushi*, responsable du typhus des broussailles). (Dumler et al., 2001)

Morphologie et biologie de *Orientia tsutsugamushi* :

(Kawamura et al., 1995 ; Orfila)

Les souches de *Orientia tsutsugamushi* sont des petits bacilles intracellulaires (de 0,3 à 0,8 µm de diamètre sur 1 à 3 µm de longueur). Elles sont dépourvues de flagelle et immobiles. Elles possèdent une structure de paroi proche de celle des bactéries à Gram négatif.

Orientia tsutsugamushi est une bactérie à développement intracellulaire obligatoire. Elle infecte les cellules endothéliales, les macrophages et les granulocytes neutrophiles, où elle se multiplie dans le cytoplasme, avec un temps de doublement de 9 à 18 heures. La libération des bactéries se fait par un mécanisme qui rappelle la libération des virus enveloppés. La bactérie est recouverte par la membrane cytoplasmique de la cellule eucaryote et elle peut soit pénétrer dans une cellule adjacente soit se libérer de la membrane cytoplasmique et apparaître sous une forme « normale » apte à infecter d'autres cellules.

Cycle de transmission :

(Kawamura et al., 1995 ; Orfila)

De nombreux animaux peuvent constituer le réservoir naturel de ces bactéries mais, essentiellement, il s'agit de rongeurs sauvages. L'homme ne représente qu'un hôte accidentel. La transmission entre animaux ou de l'animal à l'homme se fait par des arthropodes infectés par ces rickettsies (tiques, puces, poux ou autres acariens selon les typhus). Dans le cas du typhus des broussailles, la transmission à l'homme se fait par piqûre de larves de *Trombiculidae*, des acariens du genre *Leptotrombidium* (ordre des *Acarina*, famille des *Trombiculidae*). Ces larves sont communément appelées « chiggers ». Il y en aurait plus de 700 espèces à travers le monde mais seules une vingtaine d'espèces seraient responsables de la transmission de maladies à l'homme. Ce sont de minuscules êtres vivants de forme ovale, de couleur variant du jaune au rouge, et faisant tout au plus un millimètre de longueur. Ces acariens vivent habituellement sur des herbes en zones broussailleuses, d'où le nom de typhus des broussailles. Après éclosion des œufs (environ une semaine), les larves de *Leptotrombidium* sp. restent dans le sol où elles se fixent à des débris végétaux jusqu'à ce qu'elles puissent piquer un hôte vertébré. Elles pénètrent généralement la peau via les pores. Elles ne sucent pas le sang, contrairement aux tiques, mais ingèrent un mélange de lymphes, cellules du sang et tissu. Après leur repas, les larves retournent dans le sol et le cycle biologique se poursuivra à l'état libre. S'il y a eu contamination, une larve ne transmet pas directement la rickettsie à un autre animal ou à l'homme car les larves ne peuvent piquer qu'un seul hôte. Par ailleurs, le germe se transmet par voie transovariale et une larve ainsi infectée peut inoculer le germe à un vertébré.

Il n'y a pas de transmission d'homme à homme directe.

Les vecteurs sont différents selon les zones climatiques : dans les zones tempérées il s'agit de *Leptotrombidium akamushi*, *Leptotrombidium pallidum* et *Leptotrombidium scutellare* alors que dans les zones tropicales les principaux vecteurs sont *Leptotrombidium deliense*, *Leptotrombidium arenicola* et *Leptotrombidium fletcheri*.

Habituellement, la contamination de l'homme est observée dans des zones dont la végétation est dégradée à la suite de déforestations ou de l'abandon des cultures et souvent en lisière des forêts ou le long des cours d'eau. Les populations les plus exposées sont les agriculteurs, les éleveurs ainsi que les militaires en campagne, mais des cas de typhus des broussailles sont également décrits en zone urbaine.

Symptômes et diagnostic :

L'incubation est de 6 à 21 jours chez l'homme. L'infection se manifeste par des fièvres à 40 °C associées, entre autres, à des troubles cardiaques (myocardite), des signes pulmonaires et des affections cutanées (Kawamura et al., 1995 ; Seong et al., 2001 ; Orfila). De petites escarres de 1 mm de diamètre apparaissent à l'endroit des piqûres puis elles s'ulcèrent et se recouvrent de croûtes. Vers le huitième jour on assiste au développement d'une éruption généralisée maculeuse puis maculo-papuleuse et fréquemment à une pneumopathie. Des troubles nerveux (délire, stupeur, méningite, encéphalite), une cardiomyopathie ou une coagulation intravasculaire disséminée sont observés dans les formes graves. En l'absence de traitement, le taux de mortalité varie de 3 à 40% selon les régions (Watt et al., 1999).

Comme cela a été évoqué pour la leptospirose, le typhus des broussailles est souvent confondu avec d'autres fièvres tropicales (Watt et al., 2003 ; Blair et al., 2004).

Sérologie-Immunité:

La structure antigénique permet de définir plus de 30 sérovars dont trois, les sérovars Karp, Gilliam et Kato, ont suffisamment d'épitopes communs avec les autres sérovars pour pouvoir être utilisés dans le diagnostic sérologique. L'immunité est limitée rendant les réinfections possibles.

Traitement et prophylaxie :

Il n'existe pas de vaccin contre le typhus de broussailles. La plupart des antibiotiques sont considérés comme inactifs vis-à-vis de *Orientia tsutsugamushi*, à l'exception du chloramphénicol, des tétracyclines (notamment la doxycycline), de la ciprofloxacine et de l'azithromycine (Strickman et al., 1995 ; Watt et al., 1999 ; Seong et al., 2001). Des mesures de protection sont préconisées pour éviter le contact avec les acariens vecteurs, tel le port de bottes en prairies herbacées ou forêts, ainsi que des mesures d'hygiène, douches plus fréquentes et changement de vêtements (photo 13). En effet, la piqûre n'étant pas perceptible, les acariens risquent d'être détectés trop tard.



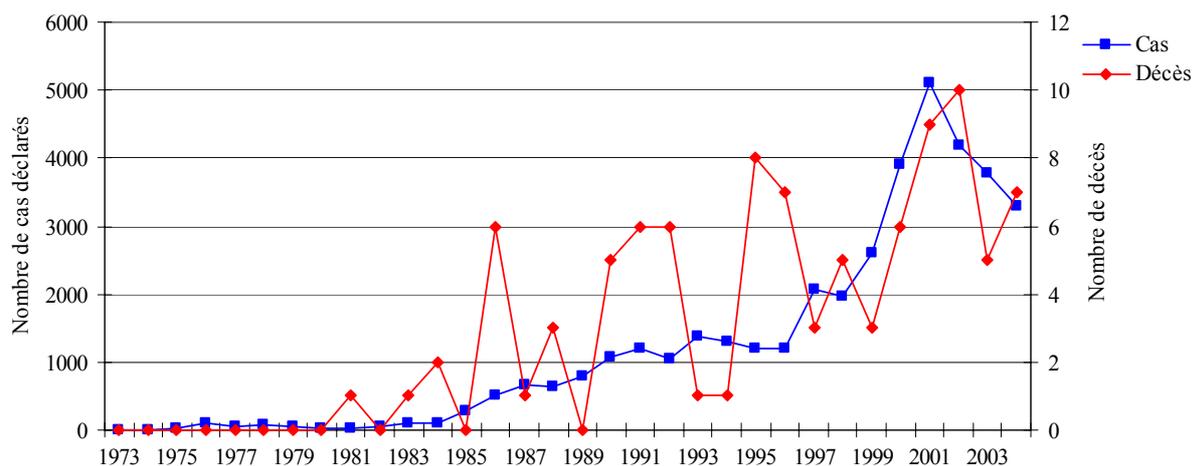
Source :MOPH

Photo 13 : Photographies extraites d'une affiche du MOPH de sensibilisation à la protection contre le typhus des broussailles en Thaïlande

1.3.2.2. Le typhus des broussailles, une incidence élevée et croissante en Thaïlande

Historique de l'épidémie :

Le typhus des broussailles est endémique en Thaïlande depuis de nombreuses années, mais le nombre de cas diagnostiqués est resté très faible jusque dans les années 80. A partir de 1985, l'incidence commence réellement à croître (graphique 27). L'augmentation reste lente jusqu'en 1996. A partir de 1997, le nombre de cas enregistrés est plus fort. Le typhus des broussailles devient une zoonose majeure en Thaïlande. En 2001, la morbidité a atteint un maximum de 5094 cas, soit un an après le pic enregistré pour la leptospirose. Depuis 2001, le nombre de cas décroît plus lentement, en restant à un niveau élevé. Avec 5 décès enregistrés en 2003 et 7 en 2004, la mortalité due au typhus des broussailles est proche de celle due aux hépatites ou au choléra. Le taux de mortalité reste faible mais croît lentement avec une pente qui suit celle de l'augmentation du nombre de cas.



Source :MOPH. © Herbreteau V., 2006

Graphique 27 : Evolution des enregistrements de typhus des broussailles, de 1973 à 2004, en Thaïlande

Comme pour la leptospirose, l'émergence du typhus des broussailles observée par les enregistrements du MOPH est à interpréter avec précaution, si l'on considère les progrès du diagnostic et une meilleure offre et plus grand recours aux soins. Les problèmes de diagnostic ont été mentionnés par le Department of Communicable Diseases Control du ministère de la santé en 2001 qui reconnaît que des cas de typhus des broussailles ont été enregistrés dans le groupe des Pyrexia d'origine inconnue (PUO) dans les années 90. Des efforts de surveillance et de diagnostic ont été consentis depuis ce qui doit amener à relativiser la prise d'ampleur de l'épidémie. Les cas ont sans doute été sous-déclarés avant 1997. L'émergence du typhus des broussailles aurait tout de même eu lieu dès 1985, soit onze ans plus tôt que pour la leptospirose. Ces deux pathologies sont en déclin mais restent encore à des taux trop élevés.

Caractéristiques des patients, recherche des critères de vulnérabilité :

Contrairement à la leptospirose, le typhus des broussailles touche à la fois les hommes et les femmes dans des proportions similaires (tableau 19).

Tableau 19 : Répartition des patients par sexe et part des patients ayant une activité agricole parmi les cas diagnostiqués de typhus des broussailles de 1999 à 2004, en Thaïlande

Année	Hommes	Femmes	Paysans
1999	1 407 (54,2 %)*	1 190 (45,8 %)	732 (28,2 %)
2000	2 283 (58,3 %)	1 631 (41,7 %)	2 031 (51,9 %)
2001	2 909 (57,1 %)	2 185 (42,9 %)	2 435 (47,8 %)
2002	2 505 (59,8 %)	1 687 (40,2 %)	1 973 (47,1 %)
2003	2 224 (59,1 %)	1 542 (40,9 %)	1 888 (50,1 %)
2004	1 845 (56,1 %)	1 445 (43,9 %)	1 478 (44,9 %)
Pourcentage annuel moyen	57,4 %	42,6 %	45,0 %
Ecart-type	2,1	2,1	8,6
Total 1999-2004	13 173 (57,6 %)	9 680 (42,4 %)	10 537 (46,1 %)

* effectif (pourcentage)

Source :MOPH. © Herbreteau V., 2006

En moyenne de 1999 à 2004, les cas se composent de 57,6% d'hommes et 42,4% de femmes. Ces valeurs sont relativement stables chaque année avec un écart-type très faible (2,1%) entre les répartitions annuelles hommes/femmes des cas de typhus des broussailles. Cette homogénéité se retrouve pour la moyenne d'âge des patients (tableau 20).

Tableau 20 : Age des patients diagnostiqués pour le typhus des broussailles de janvier 2003 à mars 2005, en Thaïlande

Année	2003	2004	2005
Moyenne (m)	32.1	31.7	31.5
Ecart-type (σ)	19.1	32.1	19.6
Minimum	0	0	0
Maximum	94	89	90

Source :MOPH. © Herbreteau V., 2006

La moyenne d'âge des patients correspond à la moyenne d'âge de la population, estimé à 30,8 (voir chapitre 1.3.1.2.). De plus, l'étendue des âges, de 0 à 94 ans, confirme que le typhus des broussailles touche indifféremment toutes les générations. Contrairement à la leptospirose, maladie professionnelle, le typhus des broussailles a un spectre très large, infectant quel que soit le sexe, l'âge et donc probablement l'activité. Cela correspond à une transmission plus passive pour l'Homme, où l'agent pathogène vient vers lui, alors que pour la leptospirose, l'Homme a un rôle actif en allant vers les lieux contaminés, telle que l'eau des rizières.

1.3.2.3. Le typhus des broussailles, une distribution en apparence liée à l'environnement physique

Voir les 78 cartes du suivi mensuel du typhus des broussailles de janvier 1999 à juin 2005, sur le CD d'accompagnement.

Voir les 6 cartes de l'atlas : carte 1.3.2.a. à carte 1.3.2.f. : incidence du typhus des broussailles en 1999, 2000, 2001, 2002, 2003 et 2004 (pour 100 000 habitants), par district en Thaïlande

Contrairement à la leptospirose, la distribution des cas de typhus des broussailles, diagnostiqués de janvier 1999 à mars 2005 paraît nettement plus homogène sur l'ensemble du territoire, toutes les provinces ayant reporté des cas. Une approche mensuelle montre que ces déclarations sont plus sporadiques, avec beaucoup de provinces ayant des incidences très basses.

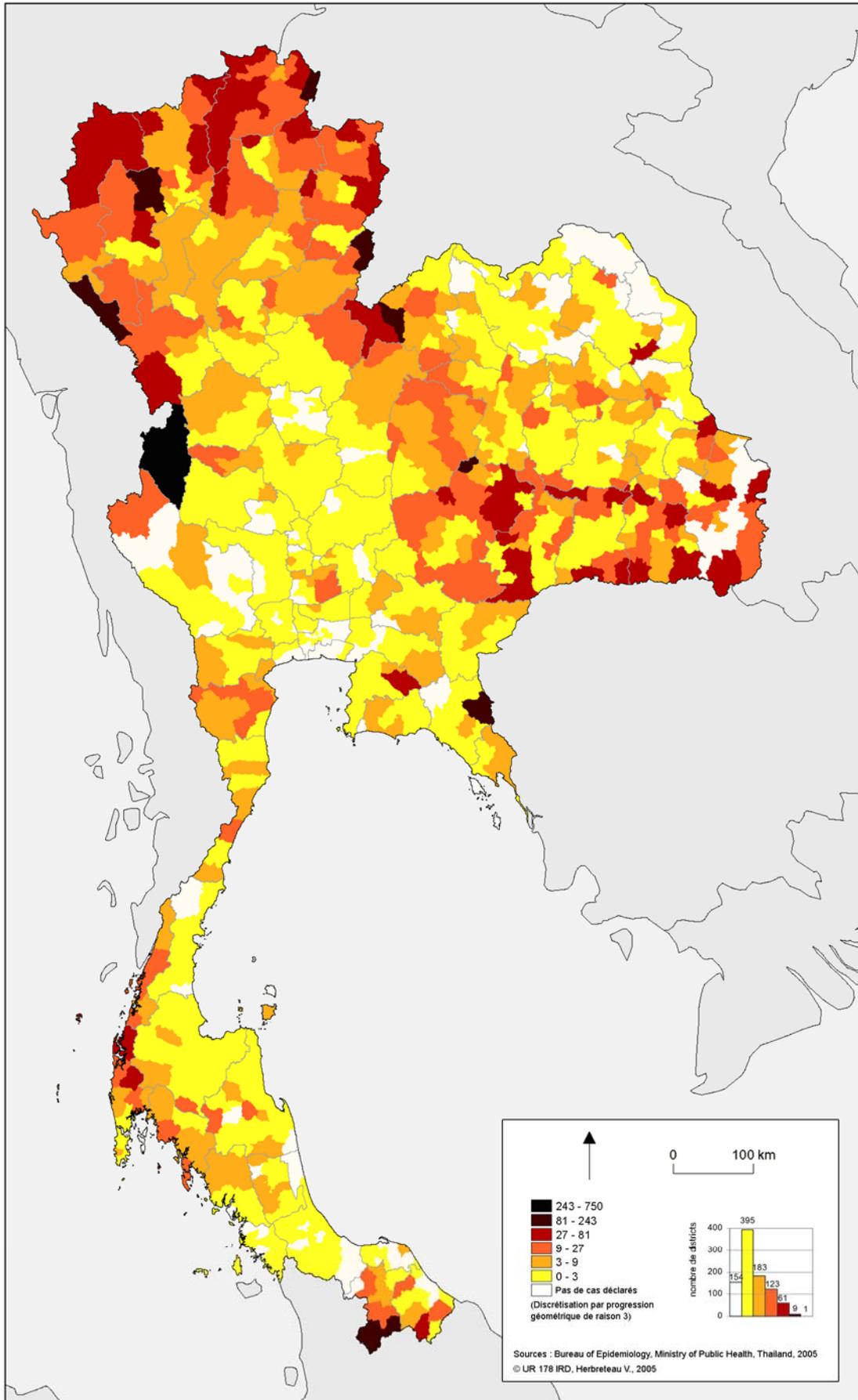
Les valeurs des incidences mensuelles par district étant fortement dissymétriques, une progression géométrique de raison 3 (soit $u_n = 3^n$ avec $n \in [1 ; 5]$) prenant donc les valeurs : 3 ; 9 ; 27 ; 81 ; 243) a été retenue pour la cartographie des incidences du typhus des broussailles. Tout comme une discrétisation exponentielle, une progression géométrique permet de différencier entre eux les districts ayant de faibles incidences. Le choix de cette projection et de sa raison 3 répond à l'étendue des valeurs d'incidence sur les 60 mois de la période étudiée où le maximum atteint est de 240 cas pour 100 000 habitants en août 2001.

La carte de l'incidence moyenne du typhus des broussailles entre 1999 et 2004 (pour 100 000 habitants) par district permet de distinguer deux grands espaces caractérisés par des fortes incidences (carte 8) :

- les zones montagneuses et frontalières, dessinant un demi-cercle autour de la région nord, et en particulier, la frontière avec le Myanmar, de Sangkhlaburi à l'ouest jusqu'au Triangle d'or au nord. Le relief y est accidenté et les paysages encore très boisés.
- une zone qui se superpose aux espaces à fortes incidences de leptospirose dans la région nord-est sur cette ligne nord-ouest / sud-est reliant Loei à Buriram. Comme pour la leptospirose, les provinces le long du Mékong ont reporté très peu de cas.

De janvier 1999 à décembre 2004, il y a eu au moins un patient dans 83,4% des districts. La plus forte incidence a été enregistrée au nord de la province d'Uttaradit, dans le district de Ban Khok avec 258 patients pour 100 000 habitants en août 2001. Il s'agit d'un petit district, dans les montagnes du nord faisant la frontière avec le Laos.

**Carte 8 : Incidence moyenne du typhus des broussailles entre 1999 et 2004
(pour 100 000 habitants), par district en Thaïlande**

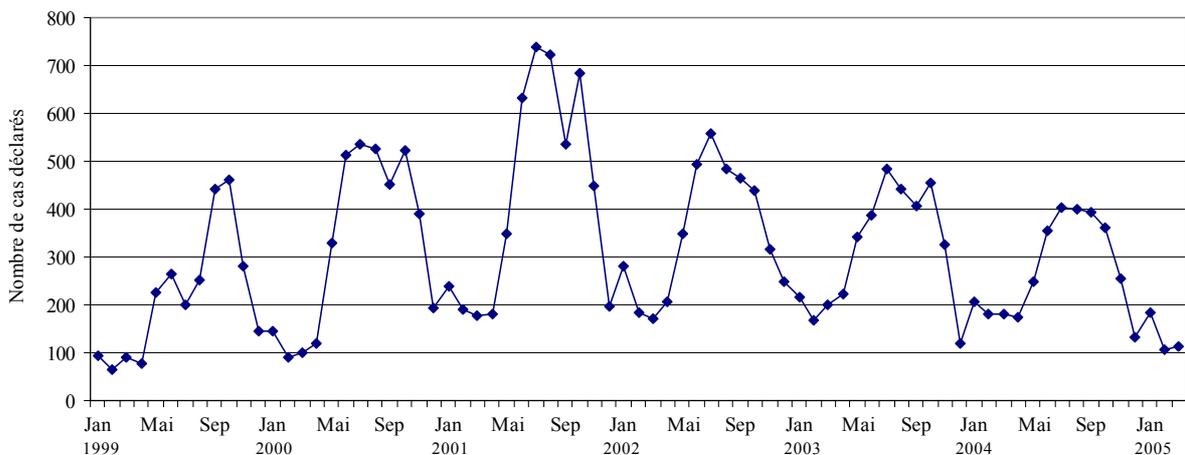


La plus forte moyenne de l'incidence annuelle a été enregistrée dans le district Umphang de la province de Tak, à la frontière birmane, avec 295 cas pour 100 000 par an. A partir de 2001, ce district a continuellement reporté des cas de typhus des broussailles et des incidences élevées. Il se démarque visuellement des provinces voisines sur les cartes d'incidence. Il est probable que le diagnostic soit en cause, que ce soit l'attribution au typhus de fièvres d'autres origines ou un meilleur diagnostic des infections du typhus. En faveur de cette seconde hypothèse, il se trouve que ces régions de frontière avec le Myanmar possèdent des structures de soins complémentaires spécialisées. Enfin de nombreux cas ont été enregistrés dans l'extrême sud du pays, dans le district Batong de la province de Yala, à la frontière avec la Malaisie.

1.3.2.4. Le typhus des broussailles, une incidence en superposition des courbes de précipitation

Voir les 6 cartes de l'atlas : carte 1.3.2.g. à carte 1.3.2.l. : incidence mensuelle du typhus des broussailles en 1999, 2000, 2001, 2002, 2003 et 2004 (pour 100 000 habitants), par district en Thaïlande.

Pour la transmission du typhus des broussailles, qui implique à la fois les rongeurs et les larves d'acariens, l'effet des saisons est là aussi très fort (graphique 28).

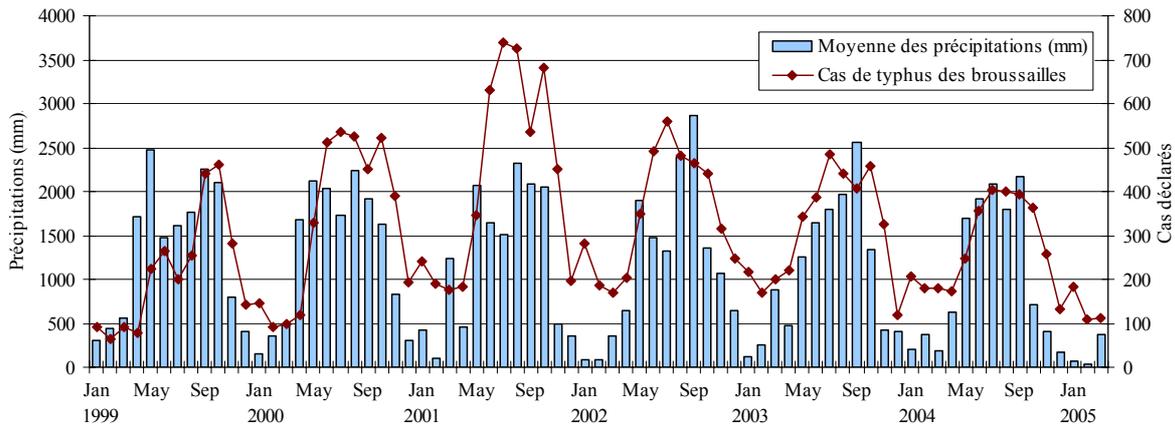


Source : MOPH. © Herbreteau V., 2006

Graphique 28 : Evolution mensuelle du nombre de cas déclarés de typhus des broussailles, de janvier 1999 à mars 2005, en Thaïlande

On observe sur la courbe des déclarations un cycle alternant des faibles incidences en saison sèche puis de fortes incidences pendant toute la saison des pluies, de mai à octobre selon les régions. Il faut noter que le niveau de déclarations reste au-dessus d'un certain seuil, d'environ 100 cas par mois durant cette période 1999-2004. Ainsi, il n'y a pas vraiment de pic d'incidence bien marqué mais une période de plusieurs mois. Selon les années, les maxima ont été enregistrés à différents mois : 460 cas en octobre 1999, 522 cas en octobre 2000, 738 cas en juillet 2001, 492 cas en juin 2002, 484 cas en juillet 2003 et 402 cas en juillet 2004. Certains mois de janvier se démarquent par une augmentation des déclarations : c'est le cas en 2000, 2001, 2002, 2003 et 2005. La cause pourrait être liée aux aléas du système de soins, et probablement au traitement des données informatisées et au report des cas.

Si l'on compare les déclarations à l'histogramme des précipitations, la courbe du nombre de cas déclarés vient épouser les oscillations de la pluviométrie (graphique 29).



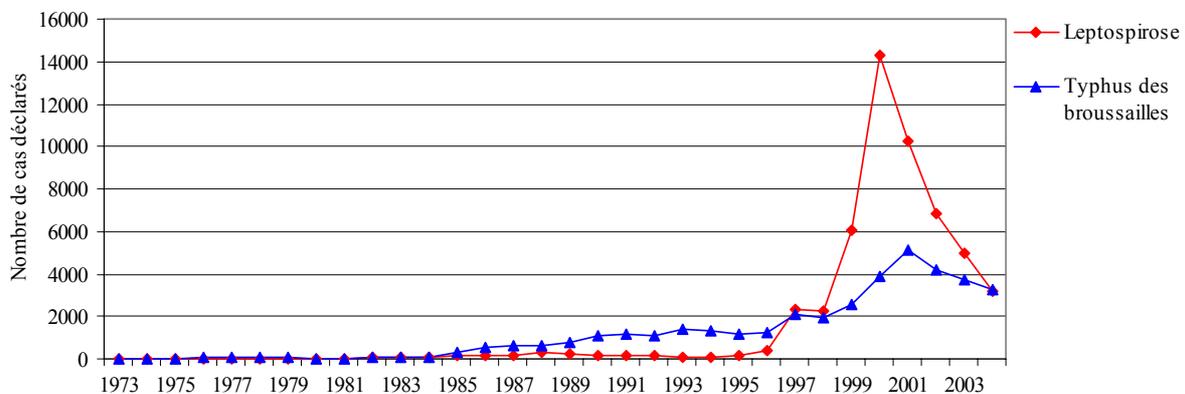
Source :MOPH. TMD. © Herbreteau V., 2006

Graphique 29 : Evolution comparée des moyennes mensuelles de la pluviométrie et des enregistrements de typhus des broussailles, de janvier 1999 à mars 2005, en Thaïlande

Les déclarations de typhus des broussailles sont significativement corrélées aux précipitations mensuelles avec un coefficient de 0,67 ($p < 0,0001$), supérieur à celui de la leptospirose. On retrouve pour le typhus un effet de décalage temporel entre pluies et déclarations, avec un meilleur coefficient de corrélation avec les données pluviométriques du mois qui précède : 0,76 ($p < 0,0001$). Températures mais surtout précipitations agissent sur la transmission du typhus des broussailles en régulant la biologie des rongeurs et chiggers. Cela se traduit par des variations de densité et d'activité importantes de ces hôtes et vecteurs, qui influencent indirectement la transmission du typhus. Les chiggers ont besoin d'un environnement humide pour réaliser leur cycle. Ce cycle (œuf, larve, nymphe et adulte) pouvant être accompli en 60 jours, elles peuvent le déclencher rapidement lorsque les conditions sont réunies. Un meilleur indicateur pourrait être l'hygrométrie mais les données ne sont pas disponibles pour le tester.

1.3.2.5. Le typhus des broussailles et la leptospirose, des fluctuations concomitantes

Une comparaison des déclarations annuelles depuis trente ans montre cette tendance commune d'émergence et de recul des deux zoonoses, la leptospirose ayant atteint le plus grand nombre de personnes en 2000 et le typhus des broussailles en 2001 (graphique 30).

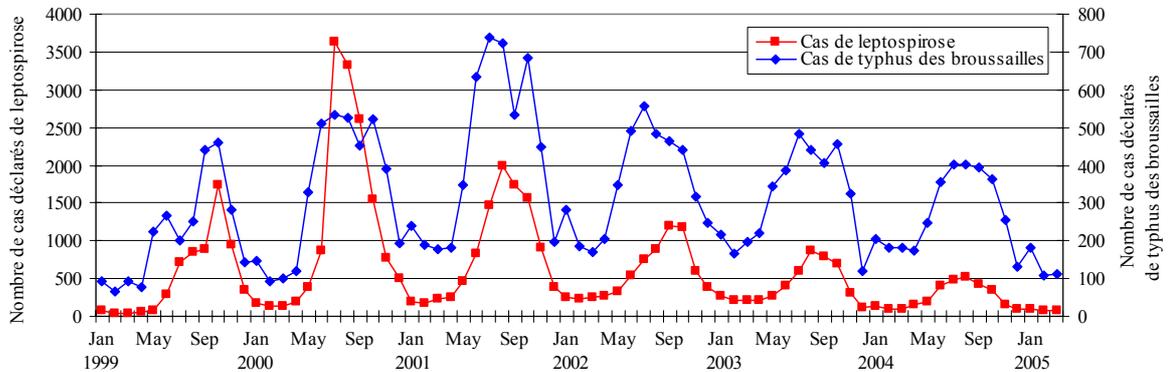


Source :MOPH. © Herbreteau V., 2006

Graphique 30 : Comparaison des déclarations annuelles de leptospirose et de typhus des broussailles, de 1973 à 2004, en Thaïlande

Bien que le typhus ait été diagnostiqué depuis plus longtemps, les mêmes doutes persistent pour ces deux zoonoses quant à la qualité du diagnostic jusqu'au début des épidémies et quant à l'incertitude de leur incidence réelle.

Entre 1973 et 2004, la comparaison de la morbidité annuelle de la leptospirose et du typhus des broussailles montre une corrélation significative de 0,86 ($p < 0,05$), expliquée par ces fluctuations parallèles. Les données mensuelles donnent plus de détails sur cette concomitance des infections au motif saisonnier (graphique 31).



Source :MOPH. © Herbreteau V., 2006

Graphique 31 : Comparaison des déclarations mensuelles de leptospirose et de typhus des broussailles, de janvier 1999 à mars 2005, en Thaïlande

Les oscillations se répètent avec une période annuelle et une amplitude croissante puis décroissante. Le pic saisonnier de la leptospirose est nettement très court, en forme de courbe de Gauss d'une durée de trois à quatre mois. Entre ces pics d'incidence, le niveau de déclaration reste très bas. En revanche, les oscillations du typhus des broussailles sont plus longues, avec une croissance en début de saison des pluies et une baisse pendant la saison sèche, probablement due aux différences climatiques entre le Nord et le Sud. Le pic de janvier, qui se remarque sur la courbe du typhus est absent de celle de la leptospirose, ce qui renforce les interrogations quant à son explication. Si le système de soins était en cause, ce pic devrait se retrouver sur les deux courbes. Enfin, en notant bien que l'échelle utilisée pour représenter la leptospirose est cinq fois supérieure à celle du typhus, on constate que ce dernier, avec une courbe plus enveloppante, maintient des incidences élevées, pendant cinq à sept mois par an et un niveau moyen le reste de l'année.

Les motifs épidémiologiques de ces deux zoonoses, dont les petits rongeurs sont une étape fondamentale du cycle, illustrent la relative exposition des hommes aux agents pathogènes, liée à la complexité des modes de transmission. L'interprétation de ces phénomènes, basée sur les déclarations du système de soins, en est tout aussi délicate car il ne s'agit là que de la constatation des conséquences de cette transmission, avec les interrogations qui l'accompagnent. Par ailleurs, bien que ces données soient à manipuler précautionneusement, elles sont informatives et doivent être prises comme telles.

Malheureusement, le système de santé ne puisse enregistrer plus de pathologies dont les rongeurs sont la source. Ainsi, l'incidence des hantaviruses reste inconnue, alors que les épidémies qui ont pu avoir lieu en Amérique du sud laissent perplexes quant à leur absence en Thaïlande.

1.3.3. Les hantavirus, du soupçon à l'identification

1.3.3.1. Les hantaviroses la plus insoupçonnable des infections des rongeurs à l'homme

Définition :

Les hantavirus sont des virus à ARN monocaténaire* de polarité négative, qui appartiennent à la famille des *Bunyaviridae*. L'animal réservoir est un rongeur et la transmission à l'homme a lieu par voie aérienne. Ils peuvent causer plusieurs fièvres hémorragiques généralement foudroyantes (Schmaljohn et Hjelle, 1997).

Maladies causées par les hantavirus :

Les différentes maladies attribuées aux hantavirus sont : la fièvre hémorragique avec syndrome rénal (FHSR), la néphropathie épidémique, la fièvre hémorragique épidémique, la fièvre hémorragique de Corée et le syndrome pulmonaire dû au hantavirus (SPH).

Historique :

Isolés pour la première fois lors de la guerre de Corée, au début des années 50, les hantavirus prirent le nom de la rivière Hantaan qui traverse la région de l'endémie (Schmaljohn et Hjelle, 1997). Depuis, on attribue aux hantavirus des épidémies humaines décrites dès le début du vingtième siècle. Selon l'OMS, c'est entre 150 000 et 200 000 cas qui sont reportés chaque année, ce qui resterait bien en deçà de la réalité des épidémies.

Distribution géographique :

Les hantavirus sévissent à l'état endémique dans les régions où vivent les réservoirs (rongeurs), notamment en Chine, en Corée, au Japon, en Scandinavie et en Russie (Schmaljohn et Hjelle, 1997 ; Kariwa et al., 1999 ; Gonzalez, 2002). Les virus à l'origine du SPH (Sin Nombre, New York, Black Creek Canal, Bayou, Laguna Negra, Andes) circulent et ont été isolés en Amérique du nord et du sud (Salazar-Bravo et al., 2002 ; Pini et al., 2003 ; Torrez-Pérez et al., 2004), le virus Hantaan principalement en Asie (Elwell et al., 1985 ; Reynes et al., 2003), le virus Puumala, en Europe, et le virus Séoul, partout dans le monde (Gonzalez et al., 1984). En 2006, nous avons isolé et séquencé l'Hantavirus Thailand, sur un Muridae, *Bandicota indica* (Hugot et al., 2006).

Taxonomie :

Groupe	virus à ARN monocaténaire de polarité négative
Ordre	virus à ARN monocaténaire de polarité négative, segmenté
Famille	<i>Bunyaviridae</i>
Genre	hantavirus
Espèces	Andes virus (ANDV), Bayou virus (BAYV), Black Creek Canal virus (BCCV), Cano Delgadito virus (CADV), Dobrava-Belgrade virus (DOBV), El Moro Canyon virus (ELMCV), Hantaan virus (HTNV), Isla Vista virus (ISLAV), Khabarovsk virus (KHAV), Laguna Negra virus (LANV), Muleshoe virus (MULV), New York virus (NYV), Prospect Hill virus (PHV), Puumala virus (PUUV), Rio Mamore virus (RIOMV), Rio Segundo virus (RIOSV), Seoul virus (SEOV), Sin Nombre virus (SNV), Thailand virus (THAIV), Thottapalayam virus (TPMV), Topografov virus (TOPV), Tula virus (TULV)

Les hantavirus sont, avec les bunyavirus, phlebovirus, nairovirus et tospovirus, un genre de la famille des *Bunyaviridae*. Cette famille comprend aussi d'autres virus responsables de fièvres hémorragiques, comme le virus de la fièvre hémorragique de Crimée-Congo ou le virus de la fièvre de la Rift Valley. Comme tous les virus à ARN, les hantavirus ont de très hauts taux de mutation parce qu'il leur manque des polymérase de l'ADN qui peuvent trouver et corriger de telles erreurs. Cela explique leur faculté d'adaptation à divers hôtes et milieux.

Les analyses phylogénétiques montrent la correspondance entre les hantavirus et leur hôte rongeur, révélant une longue coévolution (Plyusnin et Morzunov, 2001).

Cycle de transmission :

L'animal réservoir est un rongeur Muridae. Les infections aux hantavirus sont ainsi liées aux dynamiques des populations de rongeurs (Sauvage et al., 2003). La transmission à l'homme, dite aérosolisation, se fait par des aérosols provenant d'excréments de rongeurs infectés. Le virus est présent dans l'urine, les excréments et la salive d'animaux atteints d'une infection persistante, avec les plus fortes concentrations dans les poumons (Hinson et al., 2004). D'autres modes de transmission sont possibles : ingestion, contact de matières infectées avec les muqueuses, lésions cutanées et morsures d'animaux. La transmission d'un rongeur à l'autre se fait aussi par voie aérienne et également par morsure. La transmission interhumaine est possible mais extrêmement rare. L'incubation est de 3 à 60 jours (en moyenne 14-30 jours).



Symptômes et diagnostic :

Les fièvres hémorragiques avec syndrome rénal (FHSR) et le syndrome pulmonaire dû au hantavirus peuvent entraîner la mort après quelques jours. Le virus Hantaan cause la forme la plus sévère de FHSR. Les virus Puumala (néphropathie épidémique) et Séoul causent des maladies moins graves. Les symptômes associés au Virus Thailand ne sont pas décrits.

La surveillance demande un diagnostic par analyse sérologique et isolement du virus (Hjelle et al., 1995). Un vaccin a été expérimentalement développé pour le virus Seoul.

1.3.3.2. Les hantaviroses, à travers les mailles du diagnostic ?

Si un seul cas humain d'hantavirose a jusqu'ici été confirmé en Thaïlande, beaucoup de cas sont restés reportés parmi les fièvres d'origine inconnue (Suputthamongkol et al., 2005). Les symptômes des hantaviroses se confondent avec ceux des autres fièvres tropicales que sont la leptospirose, le typhus des broussailles ou la dengue. Mais, contrairement à ces trois dernières, il n'existe pas de diagnostic clinique pour les hantaviroses en Thaïlande. L'apprentissage du diagnostic à l'ensemble des médecins requerrait un très grand nombre de cas pour une meilleure connaissance des symptômes et des situations à risque. Un dépistage sérologique systématique serait une solution pour mieux différencier l'origine des fièvres. Il est réalisé plus systématiquement dans les grands hôpitaux et, dans les provinces, dans le cas d'infections sévères. Il semble tout de même qu'il demeure une marge importante entre le diagnostic attribué à chaque fièvre et la réalité.

1.3.4. La mélioïdose, un risque latent pour les agriculteurs.

Si la mélioïdose n'est pas réellement liée aux petits rongeurs, qui comme l'homme peuvent être accidentellement infectés, une étude épidémiologique comparative avec la leptospirose semble être intéressante, si l'on considère leur lien au sol et à l'eau dans le mécanisme de transmission. L'objectif de cette comparaison est d'estimer l'exposition à chacune des infections pour interpréter les distributions spatiales et temporelles de leurs prévalences observées.

1.3.4.1. La mélioïdose, à réservoir hydrotellurique, une « bombe à retardement »

Définition :

La mélioïdose (ou maladie de Whitmore) est une maladie infectieuse émergente causée par la bactérie *Burkholderia pseudomallei* (ou bacille de Whitmore), endémique sous les climats tropicaux et particulièrement en Asie du sud-est. C'est un germe de l'environnement, isolé des sols riches en matières organiques et des eaux chaudes stagnantes. Non diagnostiquée, longtemps confondue avec d'autres fièvres, la mélioïdose est depuis peu considérée par les structures de santé publique en Asie du sud-est. Néanmoins elle n'est « sérieusement » étudiée qu'en Australie, Malaisie et Thaïlande, n'offrant qu'une image limitée de ce que peut en être son ampleur. Un regain d'intérêt a récemment été porté à *Burkholderia pseudomallei*, aujourd'hui considérée comme un agent pathogène utilisable comme arme biologique.

Historique :

La mélioïdose fut décrite pour la première fois en 1911, à Rangoon en Birmanie, par Whitmore et Krishnaswami, qui l'isolèrent chez un opiomane (Whitmore et Krishnaswami, 1912). La pathologie fut alors nommée maladie de Whitmore. En 1921, Stanton et Fletcher dénomment la maladie mélioïdose car elle présente des similitudes cliniques et anatomopathologiques avec la morve (melis : morve et oïdos : en forme de d'où melioïdose : en forme de morve). Pendant près de cinquante ans, elle resta relativement ignorée dans cette région de l'Asie du sud-est où seuls quelques cas furent décrits au Viêt-nam en 1925, au Sri Lanka en 1927, à Singapour et en Indochine en 1932 (Galimand, 1982 et 1986). C'est au cours de la guerre du Viêt-nam, où 225 000 cas ont été diagnostiqués parmi les soldats américains, que l'on a commencé à s'intéresser à cette maladie. En 1975, une épizootie éclate au Jardin des Plantes de Paris, montrant les effets spectaculaires de la mélioïdose avec la mort de nombreux mammifères de la ménagerie (Mollaret, 1988). Au gré des mouvements de populations et des déplacements ou transports d'animaux (souvent des chevaux), des cas ont ainsi été reportés sur la plupart des continents, dans des milieux et climats différents de l'aire d'origine (Parry et al., 1999 ; Issack et al., 2005 ; Rolim et al., 2005). La mélioïdose est aujourd'hui considérée comme une maladie émergente en voie de dissémination (Perret, 1997).

Distribution géographique :

La mélioïdose est endémique dans de nombreuses régions situées entre les 20^{ème} parallèles nord et sud, avec pour foyer originel l'Asie du sud-est et pour foyer secondaire l'Australie (Leelarasamee, 1989). Elle est aussi reportée en Afrique, Amérique du sud et Europe. *B. pseudomallei* est en effet un germe essentiellement hydrotellurique, présent dans les milieux humides des régions tropicales (Hovette, 2001).

Auparavant, il existait une divergence entre l'extension de la bactérie dans les sols à travers le monde et le nombre moins important de malades. Cette divergence est en partie expliquée par la différenciation génétique des espèces et la description d'un germe proche de *B. pseudomallei* mais non pathogène, *B. thailandensis* (White, 2003).

Taxonomie :

Empire	<i>Bacteria</i> ou <i>Eubacteria</i>
Phylum	<i>Proteobacteria</i>
Classe	<i>Beta Proteobacteria</i>
Ordre	<i>Burkholderiales</i>
Famille	<i>Burkholderiaceae</i>
Genre	<i>Burkholderia</i>
Espèce	<i>Burkholderia pseudomallei</i>

En 1912, Whitmore dénomma le germe responsable de la mélioïdose *Bacillus pseudomallei*. Elle fut ensuite classée dans le genre *Pseudomonas* en 1957 par Haynes puis, en 1992, dans le nouveau genre *Burkholderia* (Yabuuchi, 1992). Le genre *Burkholderia* a subi de nombreux remaniements avec un grand nombre d'espèces et de genomospecies, dont notamment : *B. pseudomallei*, *B. thailandensis*, *B. multivorans*, *B. cepacia*, *B. mallei*, *B. ubonensis*. Ces espèces ont pour principal habitat le sol et les plantes. Certaines sont pathogènes pour l'homme ou l'animal. Ainsi, *B. pseudomallei* est très proche de *B. mallei*, responsable de la morve, une maladie ressemblant beaucoup à la mélioïdose et qui se traduit par une infection pulmonaire. Elle fut éradiquée par la vaccination systématique des équidés (Dodin et Galimand, 1985). *B. thailandensis*, isolée et décrite en 1998 dans le centre et le nord-est de la Thaïlande, est très proche de *B. pseudomallei* mais semble dépourvue de pouvoir pathogène. Il en est de même pour *B. ubonensis*.

Biologie des *Burkholderia pseudomallei* :

Burkholderia pseudomallei est une bactérie saprophyte, présente dans le sol et dans l'eau ou les zones humides (eaux stagnantes, rizières, canaux d'irrigation, mares, marécages, lacs de retenue). C'est une bactérie hydrotellurique, pouvant vivre en dehors des régions tropicales et résistant très bien au froid.

L'épizootie du Jardin des Plantes de Paris a montré que *B. pseudomallei* est capable de persister pendant de nombreuses années dans de nouveaux sols, pouvant être très éloignés de l'aire d'origine (Mollaret, 1988 ; Houssaint, 2003). Les transports sont un facteur déterminant de dispersion, qui ont expliqué et causeront encore des épidémies dans les divers continents.

B. pseudomallei peut survivre longtemps à l'extérieur en milieu humide et chaud (Thomas, 1981). Ceci peut expliquer le réveil des formes latentes chez l'hôte (Houssaint, 2003). L'incidence de la mélioïdose augmente au cours de la saison des pluies, avec une corrélation significative décrite en Thaïlande, ce qui traduit le rôle de l'eau dans la dispersion des bactéries (Suputtamongkol, 1994).

Cycle de transmission :

La mélioïdose est une maladie à réservoir hydrotellurique. La source de contamination est le milieu extérieur mais l'homme est également capable de se contaminer à partir d'un animal infecté (zoonose rare). L'homme ainsi que les mammifères domestiques (bovidés, porcs, chevaux, camélidés, lapins, carnivores...) ou sauvages (rongeurs sauvages, éléphants, cervidés, buffles, dauphins...) ou encore de nombreux oiseaux sont sensibles. Les petits rongeurs n'interviendraient pas significativement dans l'épidémiologie de la maladie (Perret, 1997). La contamination peut avoir lieu par voie transcutanée (souillure de plaie) par des eaux, des boues ou des sols infectés, ou par inhalation de poussières contaminées (lors de la guerre du Viêt-nam, environ un tiers des cas observés chez les soldats résultait de l'inhalation de poussières soulevées par les pales d'hélicoptères). La contamination par ingestion, expérimentalement possible, ne semble pas avoir d'impact épidémiologique (Houssaint, 2003). Enfin, des cas de transmission interhumaine ont été observés mais restent exceptionnels (McCormick et al., 1975). Les agriculteurs et les militaires sont les plus touchés.

C'est une maladie opportuniste, qui atteint préférentiellement les patients immunodéprimés, la bactérie pouvant alors sortir d'une forme latente restée silencieuse plusieurs années. Des facteurs prédisposants ont été identifiés chez l'homme : infections rénales chroniques, alcoolisme, déficits immunitaires ou diabète sucré.

Symptômes et diagnostic :

La mélioïdose est qualifiée de « grande imitatrice » si l'on considère les diverses formes cliniques qu'elle revêt (Leelarasamee et Bovornkitti, 1989). Elle peut en effet toucher tous les organes, avec une période d'incubation de quelques jours à quelques années pour les formes latentes.

Un diagnostic bactériologique par culture de *B. pseudomallei* est nécessaire. Des tests sérologiques ont été développés mais présentent des résultats controversés : ainsi, dans une série récente, un tiers des patients ayant une culture positive à *B. pseudomallei* présentait simultanément une sérologie négative (Sandford, 1995). Dans les régions endémiques, où la majorité de la population est séropositive, les tests sérologiques sont peu utiles (White, 2003).

Traitement :

B. pseudomallei est résistant à la plupart des antibiotiques, ce qui peut aggraver considérablement le pronostic vital surtout dans les formes aiguës fébriles (Suputtamongkol et al., 1994 ; Houssaint, 2003). Désormais, en zone endémique, la pathologie est de plus en plus souvent évoquée devant toute pathologie fébrile grave avec ou sans symptôme pulmonaire et une antibiothérapie adaptée à *B. pseudomallei* est débutée sans attente des résultats bactériologiques.

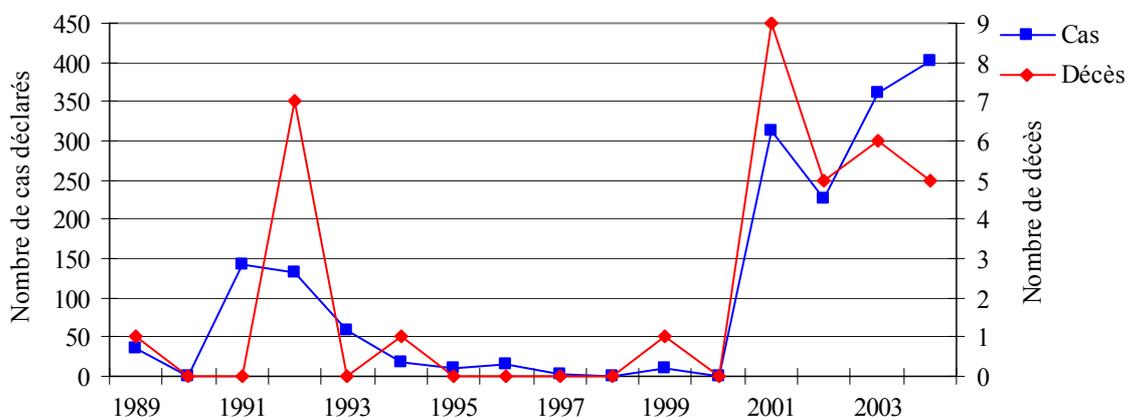
Suite à un traitement efficace, le risque de rechute est toujours présent même après de nombreuses années, ceci étant favorisé par d'autres pathologies affaiblissant le sujet. Un long suivi est nécessaire suite à tout traitement. La mélioïdose fut ainsi qualifiée de « bombe à retardement » pour ses facultés de s'implanter durablement dans des régions très éloignées de ses territoires d'origine et d'affecter à nouveau tout individu ayant déjà été contaminé (Perret, 1997). Aucun vaccin n'est disponible contre la mélioïdose.

1.3.4.2. La mélioïdose, en voie de dissémination en Thaïlande

Ce titre, repris de Perret (1997), traduit la situation épidémiologique paradoxale d'une maladie endémique depuis le début du siècle, mais émergente dans les déclarations du système de santé.

Historique de l'épidémie :

Alors que la Thaïlande est au cœur du foyer de la mélioïdose, le premier cas ne fut rapporté qu'en 1955 (Leelarasamee, 2000). A partir des années 1980, la maladie commença à être diagnostiquée (graphique 32). De nombreux cas étaient jusqu'ici, et le demeurent sans doute encore, classés parmi les fièvres d'origine inconnue ou confondus avec les autres fièvres, la leptospirose, la dengue ou les rickettsioses (Chaowagul, 1989; Suputtamongkol et al., 1994). Cette situation de diagnostic défaillant se retrouve dans les pays voisins, comme au Laos où deux cas ont été diagnostiqués près de Vientiane en 1999 (Phetsouvanh et al., 2001), ou au Cambodge et au Myanmar où aucun cas n'a été diagnostiqué depuis les isolations de Whitmore.



Source :MOPH. © Herbreteau V., 2006

Graphique 32 : Evolution des enregistrements de mélioïdose, de 1989 à 2004, en Thaïlande

Selon les enregistrements du système de santé, une première épidémie aurait eu lieu en 1991 et 1992 causant 7 décès. Plus de cas ont été reportés, entre 2001 et 2004, avec 312, 226, 360 et 402 cas, dont 25 décès durant cette période. Ceci ne traduit pas pour autant une tendance de l'épidémie.

Caractéristiques des patients, recherche des critères de vulnérabilité :

Tout comme la leptospirose, la mélioïdose s'apparente à une maladie professionnelle touchant les agriculteurs (tableau 21).

Tableau 21 : Répartition des patients par sexe et part des patients ayant une activité agricole parmi les cas diagnostiqués de mélioïdose en 2003 et 2004, en Thaïlande

Année	Hommes	Femmes	Paysans
2003	190 (52,8 %)	170 (47,2 %)	255 (70,8 %)
2004	251 (62,4 %)	151 (37,6 %)	256 (63,7 %)
Pourcentage annuel moyen	220 (57,9 %)	160 (42,1 %)	255 (67,1 %)

* effectif (pourcentage)

Source : MOPH. © Herbreteau V., 2006

Depuis 2003, le MOPH a renforcé la surveillance de la leptospirose, avec un suivi sur l'ensemble du pays. Au cours de ces deux années, les deux tiers des cas étaient des agriculteurs et plus d'un tiers des femmes. Ces valeurs sont moins caractéristiques que pour la leptospirose, car elles se rapprochent des caractéristiques des populations rurales, essentiellement agricoles. La moyenne d'âge des patients est de 46 ans, soit près de 10 ans de plus que pour les patients atteints par la leptospirose. Cet âge est nettement supérieur à la moyenne d'âge de la population et en particulier des populations rurales qui est de 30,5 ans. La mélioïdose touche en effet préférentiellement des patients immunodéprimés, donc plus âgés.

Le spectre de vulnérabilité de la mélioïdose paraît plus large que celui de la leptospirose. Cependant, les deux maladies ont un mode d'infection similaire, au contact du sol ou de l'eau. Les lieux d'infection seraient ainsi semblables : il s'agit des régions agricoles et, en particulier, les rizières.

1.3.4.3. La mélioïdose, sa distribution spatiale

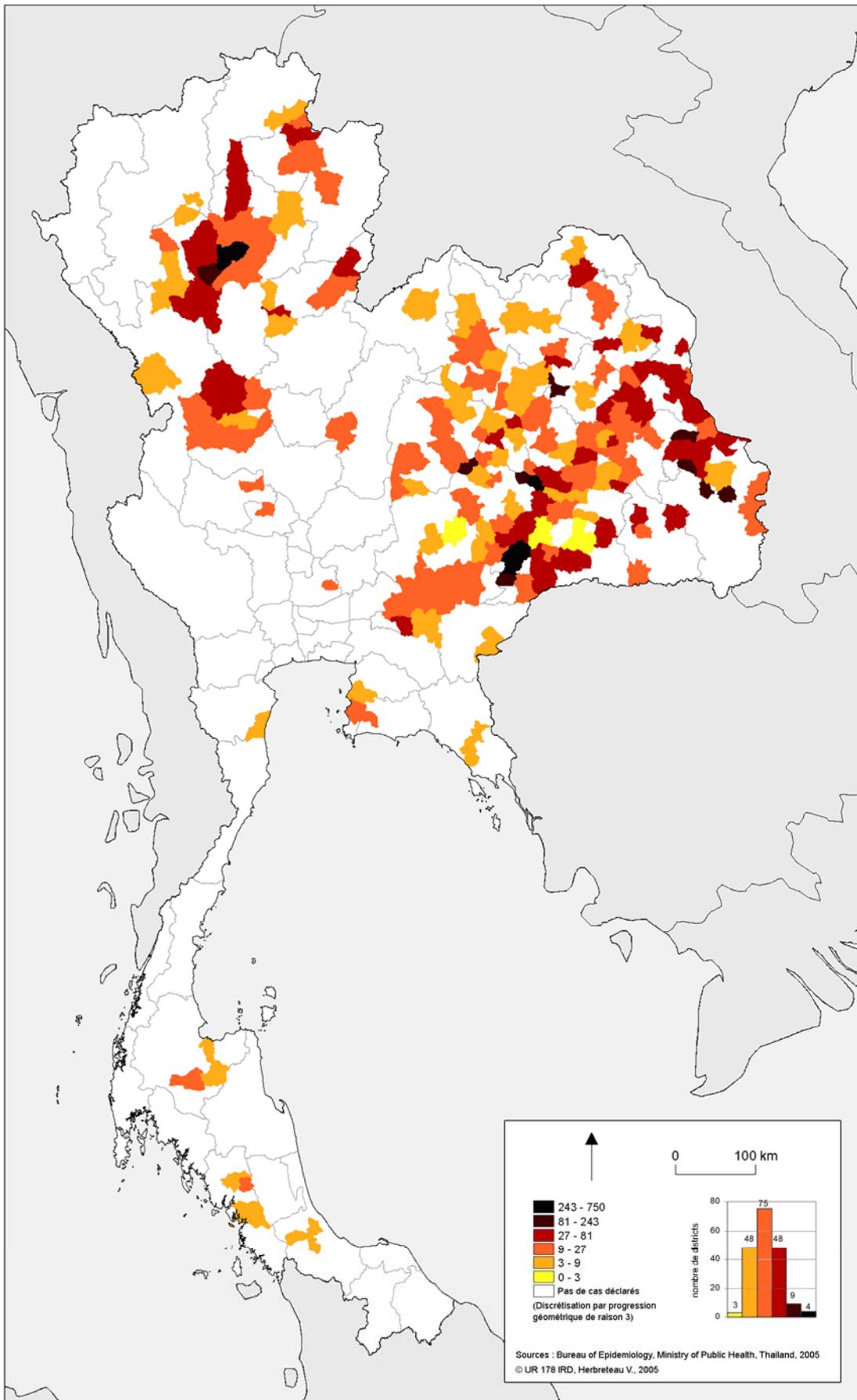
Voir les 30 cartes du suivi mensuel de la mélioïdose de janvier 2003 à juin 2005, sur le CD d'accompagnement.

Voir les 2 cartes de l'atlas : carte 1.3.4.a. et carte 1.3.4.b. : incidence de la mélioïdose en 2003 et 2004 (pour 1 000 000 d'habitants), par district en Thaïlande.

Comme pour la leptospirose, la mélioïdose a essentiellement affecté le plateau Issan ainsi que les parties basses de la région nord, à partir de janvier 2003. Le sud et l'est du pays ont reporté peu de cas.

Afin de cartographier l'incidence depuis 2003 à l'échelle la plus fine permise par les données, c'est-à-dire celle du district, nous avons adopté une discrétisation prenant en compte les très faibles valeurs. Nous avons repris la progression géométrique de facteur 3, utilisée pour cartographier les incidences de typhus des broussailles (bornes : 0 ; 3 ; 9 ; 27 ; 81 ; 243).

**Carte 9 : Incidence moyenne de la mélioiïdose en 2003 et 2004
(pour 1 000 000 d'habitants), par district en Thaïlande**

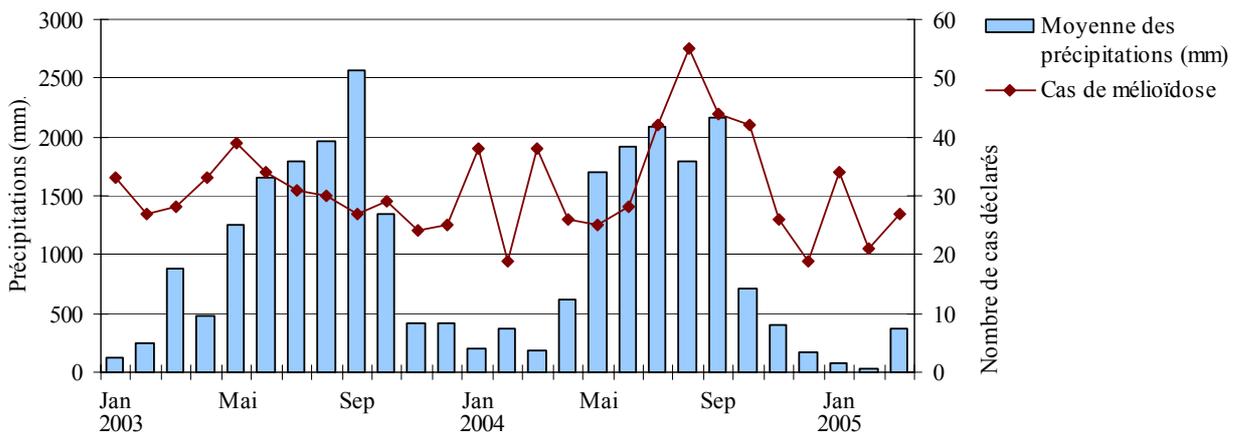


La carte de l'incidence moyenne de la mélioïdose en 2003 et en 2004 (pour 1 000 000 d'habitants) montre la distribution restreinte des districts touchés (carte 9). Seul un district sur cinq (20,2%) a déclaré au moins un cas entre janvier 2003 et juin 2005. De même que pour la leptospirose, la province de Buriram a enregistré de nombreux cas et de fortes incidences. Le district de Nang Rong, situé dans cette province, est celui qui a reporté le plus grand nombre de cas : 60 cas cumulés en 2003 et en 2004. Les plus fortes incidences moyennes ont été enregistrées dans le district de Mae Tha de la province de Lampang et dans trois districts de la province de Buriram. Cependant, le district de Huay Rat, qui a reporté les plus fortes incidences de leptospirose n'a déclaré aucun cas de mélioïdose durant cette période, contrairement aux districts voisins. Il est probable que la mélioïdose y ait été confondue avec la leptospirose, renforçant ainsi son incidence.

1.3.4.4. La mélioïdose, une saisonnalité peu marquée

Voir les 2 cartes de l'atlas : carte 1.3.4.c. et carte 1.3.4.d. : incidence mensuelle de la mélioïdose en 2003 et 2004 (pour 1 000 000 d'habitants), par district en Thaïlande.

Durant ces deux années 2003 et 2004 à partir desquelles le suivi épidémiologique de la mélioïdose est possible, l'incidence semble peu marquée par l'influence des saisons (graphique 33). On observe en 2004 une augmentation de l'incidence liée à la saison des pluies alors qu'en 2003, l'incidence diminuait régulièrement durant cette même saison.



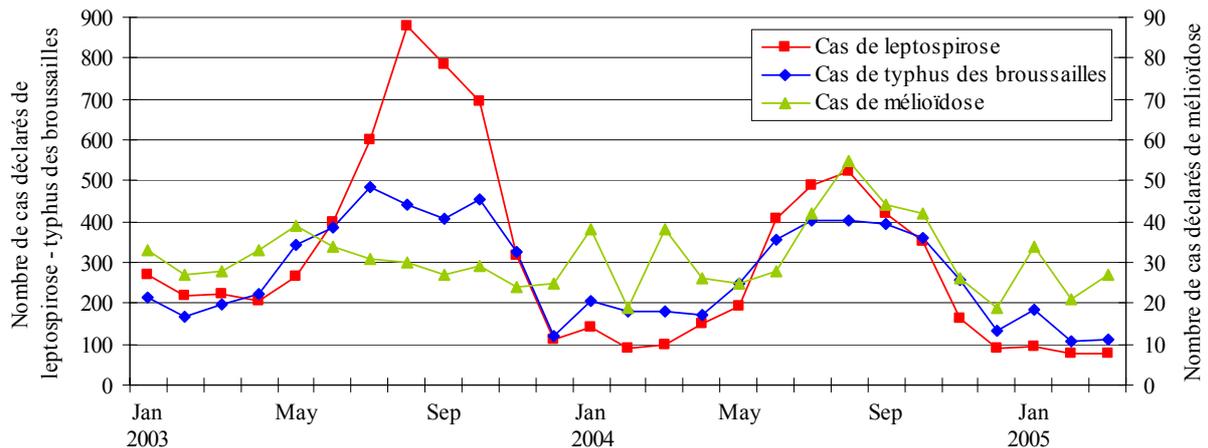
Source : MOPH. TMD. © Herbreteau V., 2006

Graphique 33 : Evolution comparée des moyennes mensuelles de la pluviométrie et des enregistrements de mélioïdose, de janvier 2003 à mars 2005, en Thaïlande

Ce graphique montre surtout la discontinuité des déclarations, autant attribuable aux faibles effectifs qu'aux aléas du report des cas. Les lieux d'infections étant similaires, la comparaison de la mélioïdose et de la leptospirose par district peut éclairer sur la qualité du diagnostic de l'une comme de l'autre.

1.3.4.5. La mélioïdose, éléments de comparaison avec la leptospirose et le typhus des broussailles

Comparées au typhus des broussailles et surtout à la leptospirose, les oscillations de la mélioïdose sont difficilement observables et d'amplitude très faible (graphique 34). L'année 2003 n'a pas suivi les courbes de précipitations contrairement à la leptospirose et à la mélioïdose ce qui réduit toute possible corrélation sur cette période. Par ailleurs, quelques tendances des courbes étudiées dans les chapitres précédents se retrouvent pour la mélioïdose.



Source : MOPH. © Herbreteau V., 2006

Graphique 34 : Comparaison des déclarations mensuelles de leptospirose, de typhus des broussailles, et de mélioïdose, de janvier 2003 à mars 2005, en Thaïlande

L'échelle adoptée en ordonnée est la même pour la leptospirose et le typhus des broussailles, mais dix fois plus petite pour la mélioïdose. De janvier à mai 2003, les courbes, à des échelles différentes, sont quasi-superposables. De juillet à novembre 2003, c'est la mélioïdose et le typhus qui suivent une même tendance décroissante, avec un léger pic en novembre 2003 probablement suite aux importantes précipitations de septembre 2003. Enfin de mai à décembre 2004, la caractéristique courbe de Gauss, liée à la saison des pluies, se retrouve pour les trois maladies. On observe par ailleurs sur ce graphique la remarque faite sur le typhus des broussailles où les mois de janvier s'illustrent par un pic en discontinuité avec la tendance des courbes. En 2003 et 2004, ces pics sont très nets pour la mélioïdose et apparaissent légèrement pour la leptospirose. Ceci était alors masqué sur les graphiques précédents pour des raisons d'échelle de l'axe des abscisses. On peut donc effectivement supposer qu'au mois de janvier, un certain nombre de cas de l'année qui précède sont reportés tardivement, et enregistrés dans les nouveaux fichiers alors qu'ils devraient l'être, rétroactivement, dans ceux de l'année où ces cas se sont effectivement déclarés. Plus l'incidence de la maladie est importante et moins cette perturbation est visible sur les courbes.

Cette comparaison renforce l'idée de l'importance de l'eau et de la mousson pour la transmission de la leptospirose, alors qu'en saison sèche la transmission de ces trois maladies serait régie par des facteurs communs.

1.4. Rongeurs et Homme, animal sacré, hôte du jardin, gibier ou peste ?

1.4.1. Le rat, animal sacré ?



Photo : Herbreteau V.

Figure 10 : Peinture murale au temple Wat Wang Luang dans la province de Phrae

Si le rat porte en lui une image très forte : sale, « porteur de maladies », animal repoussant, les religions lui ont accordé une toute autre place, observant son agilité et ses capacités d'adaptation aux différents milieux.

Dans l'astrologie chinoise, le rat est le premier des 12 cycles de l'année du zodiaque chinois. Ainsi tous les douze ans est l'année du rat. Les rats symbolisent l'intelligence, la chance et la richesse : « nées sous le signe du rat, les personnes sont dites honnêtes, généreuses, créatives et ambitieuses, mais aussi gaspilleuses ».

Dans le bouddhisme japonais, le Daikoku, l'un des sept dieux shichi fukujin, est représenté avec un rat, symbolisant la fortune et l'abondance (figure 11).

Dans l'hindouisme, le rat est le véhicule de Ganesh, ce Dieu opulent à tête d'éléphant et quatre bras, traduisant à nouveau ses facultés à se déplacer. Au nord ouest de la ville de Deshnoke, le temple Karni Mata est dédié à la vénération des rats en respect de l'incarnation de Durga, dieu de la guerre. Les rats y sont nourris et y pullulent, côtoyant les fidèles, un bienfait étant de toucher leur nourriture.

La culture thaïlandaise est imprégnée par le bouddhisme theravâda, religion officielle et pratiquée par l'essentiel de la population (exceptés 4% de musulmans et moins de 1% de chrétiens). Cette religion trouve ses origines en Inde et il n'est alors pas étonnant de retrouver le rat dans l'iconographie, porteur des divinités (figure 12). Cependant, dans la culture thaïlandaise et la conscience collective, le rat est avant tout un être vivant qu'on ne peut tuer (figure 10). Cette influence se traduit dans la persistance de croyances en la réincarnation et l'animisme, qui font qu'on ne tue pas un animal, qu'il soit insecte ou mammifère : c'est un sentiment qui se traduit des regards qu'on nous jette lorsque l'on écrase des fourmis... Ainsi, les gens attraperont un petit rat domestique dans leur maison et le rejeteront dehors... avant qu'il ne revienne.

Si les souris et les rats peuvent être chassés pour leur viande, ou éradiqués en ville pour les dégâts qu'ils causent, cela se fera toujours dans la discrétion pour ne pas blesser les consciences.



Figure 11 : Représentation d'un Daikoku avec un rat (bouddhisme japonais)



Figure 12 : Le rat dans le bouddhisme theravâda en Asie du sud-est

1.4.2. Des comportements culturellement contrastés

Les rongeurs, animaux domestiques ?

Dans les différentes régions où nous avons mené les captures, nous avons retrouvé le rat domestique, *Rattus exulans*, dans ou autour des habitations. Il s'est imposé sur les autres espèces, en Thaïlande et dans la région, comme le principal rongeur domestique. Dans le nord-est en particulier, les expériences de collecte et les interviews nous ont montré qu'il était particulièrement abondant.



Photo : Herbreteau V.

Nous avons souvent observé une corrélation positive entre la propreté des jardins et la réussite des piégeages des rongeurs domestiques

Photo 14 : Distribution des cages dans le village de Ban Nong Kung, province de Sakhon Nakhon

En distribuant 20 cages dans 10 maisons, un soir, le 3 juin 2003, dans un petit village de la province de Sakhon Nakhon, 32 *Rattus exulans* ont pu être capturés (photo 14). Les cages n'ont pas suffi, certains s'organisant pour conserver les piégés dans une même cage et redispasant les pièges vides. Une femme en a même apporté un le matin, attrapé à la main au moment de notre arrivée et conservé dans ses vêtements. La plupart ont utilisé comme appât du riz gluant, la base de l'alimentation. Communément appelé « Nu Ban », le rat des maisons, il fait ici partie du quotidien, parfois visible sans pour autant être considéré comme nuisible. Cette partie de la région Issan, non loin du Mékong a été peu touchée par l'épidémie de leptospirose et les personnes rencontrées n'étaient pas sensibles à l'éventuel risque sanitaire causé par ces rongeurs.

D'autres espèces, comme *Rattus rattus*, peuvent nicher dans les jardins, creusant des terriers ou nidifiant parmi des débris. Dans les campagnes, les populations différencient aisément plusieurs espèces.

Les rongeurs, gibier ?

En parcourant les marchés, et plus spécialement ceux de la région Issan (photo 15), il y a toujours quelques étals qui vendent des petits rongeurs grillés, non loin des étals de viande. En familiarisant un peu plus et questionnant les vendeurs, sont sortis de sacs poubelles toutes sortes de petits mammifères, autres rongeurs ou carnivores, et souvent des animaux protégés ou interdits. Les petits rongeurs étalés en appel sont là au quotidien et leur vente est autorisée de par leur abondance. Ils sont souvent dépecés et grillés, prêts à accompagner un repas. L'identification n'est alors pas toujours possible mais il s'agit principalement de rats ou d'écureuils. Un petit rat se vend environ 20 bahts soit le prix d'un plat préparé mais un rat des rizières peut valoir 40 ou 60 bahts. Ainsi dans les villages, certains en ont fait leur spécialité, s'assurant des subsides ou devenant de véritables professionnels du rat. Ces personnes chassent régulièrement et conservent leurs proies vivantes dans des cages. Ils les revendent sur les marchés si les villageois ne viennent pas eux-mêmes s'approvisionner.

D'autres n'en font pas commerce mais chassent régulièrement en déposant des cages ou fabriquant des pièges de bambou. Les chasseurs et paysans rencontrés au cours de cette étude ont montré une grande connaissance des rongeurs, des différentes espèces et de leur écologie.

Des noms descriptifs sont attribués aux différentes espèces, qualifiant ainsi leur taille, « yai » (grand) ou « lek » (petit), leur couleur, « trong krao » (au ventre blanc), « fan luang » (aux dents jaunes), ou leur biotope, « na » (des champs), « ban » (de la maison). Ces noms respectent d'assez près la taxonomie dans la reconnaissance des groupes. C'est surtout au moment des moissons, en fin d'année civile que les gros rongeurs des rizières, de l'espèce *Bandicota indica*, sortent et sont faciles à capturer. Les paysans les chassent maintenant à la carabine. C'est en les suivant lors de chasses nocturnes qu'on apprend beaucoup à leur contact : ils imitent leurs cris, écrasent des feuilles mortes pour mimer leur présence, et s'en approchent avant de les éblouir de leur lampe frontale. Les rats sont alors dépecés dans la nuit et grillés ou conservés au réfrigérateur. Ces activités de chasse mais surtout de préparation des animaux sont un risque d'infection par ces zoonoses. Les personnes ne se protégeant pas des rongeurs s'exposent :

- à la leptospirose par contact direct avec le sang ou d'éventuelles gouttes d'urine,
- au typhus des broussailles par des piqûres de puces,
- aux hantaviruses par inhalation de fines particules contenant des virus.

C'est durant ces activités que le risque d'infection est le plus grand. Il est plus important qu'au moment du repas lui-même où la viande est cuite.

Les rongeurs, vecteurs de maladies ?

Alors ose-t-on poser la question « n'avez-vous pas peur d'attraper la leptospirose ? » Si certains répondent qu'ils en ont toujours mangé et qu'ils ne sont jamais tombés malades, le doute règne dans certaines régions qui ont connu les plus fortes épidémies. Ici chacun connaît, de proche ou de loin, quelqu'un qui a eu la leptospirose. Si les gens savent que l'on peut en mourir, beaucoup sont partagés entre les pratiques ancestrales, les mets appréciés et le danger potentiel.



Photo : Herbreteau V.

Les rats restent une viande appréciée dans les campagnes et trouvent ainsi leur place sur les étals des marchés

Photo 15 : Rats grillés, sur un marché du Nord-Est de la Thaïlande

2. Deuxième partie :

Géographie des facteurs de risque, une approche spatio-temporelle de la dynamique des zoonoses transmises par les rongeurs



Photo 16 : Récolte du riz dans la province de Phrae (Photo : Herbreteau V.)

Les changements environnementaux, avec une artificialisation des espaces particulièrement importante au cours de la seconde moitié du XX^{ème} siècle en Thaïlande, perturbent les équilibres intra et inter espèces ainsi que les contacts de l'Homme à la nature (Morand *et al.*, 2006). Ces nouveaux états affectent indirectement la santé des populations exposées à de nouveaux vecteurs et/ou pathogènes (Chivian, 2003). C'est dans ces conditions qu'émergent brutalement des maladies nouvelles (Ostfeld et Keesing, 2000 ; Woodhouse *et al.*, 2002 et 2005). L'estimation du risque potentiel de transmission de zoonoses par les rongeurs requiert l'identification et l'analyse des conditions nécessaires à l'infection. Ces facteurs de risque sont à la fois liés à la présence combinée des rongeurs et des agents pathogènes, qui constituent l'aléa, mais aussi à l'exposition de l'Homme, susceptible d'être affecté.

Avant d'aborder l'analyse de ces facteurs de risque, nous allons exposer l'approche méthodologique, les problèmes rencontrés et les solutions envisagées.

2.1. Méthodologie : recueil des données et mise en place d'une base de données spatialisée pour l'étude du risque

2.1.1. Approche conceptuelle de l'étude du risque

2.1.1.1. Le risque, produit de l'aléa et de la vulnérabilité

« Le risque désigne un danger bien identifié, associé à l'occurrence d'un événement ou d'une série d'événements, parfaitement descriptibles, dont on ne sait pas s'ils se produiront mais dont on sait qu'ils sont susceptibles de se produire » (Callon M, et al., 2001, cité dans le Rapport de la mission d'évaluation et d'expertise de la veille sanitaire en France, 2006). En santé, ce danger est une menace à l'état de bien-être d'un individu ou d'une population. Le risque quantifie la probabilité de réalisation de l'événement ou de la suite d'événements qui conduisent à l'affectation par cette menace. Au sens mathématique, si cette probabilité est nulle, le risque est impossible. En revanche, si elle est égale à 1, le risque est certain.

L'analyse du risque obéit souvent à une approche dichotomique entre l'aléa et la vulnérabilité, dont le produit est le risque. D'un côté, l'aléa est lié à la notion de hasard, en désignant la probabilité de survenue de la menace. De l'autre, la vulnérabilité estime la faiblesse de l'individu ou de la population étudiée par rapport à cette menace. Enfin, le risque dépend des facteurs d'exposition qui vont rapprocher les individus ou populations vulnérables d'un danger.

Dans le cas de l'étude du risque d'infection par des maladies transmissibles, telles que sont les zoonoses liées aux rongeurs, l'aléa est représenté par la présence de l'agent pathogène. Diverses situations de rencontre entre agents pathogènes et individus font que les contacts peuvent être infectieux ou non (figure 13).

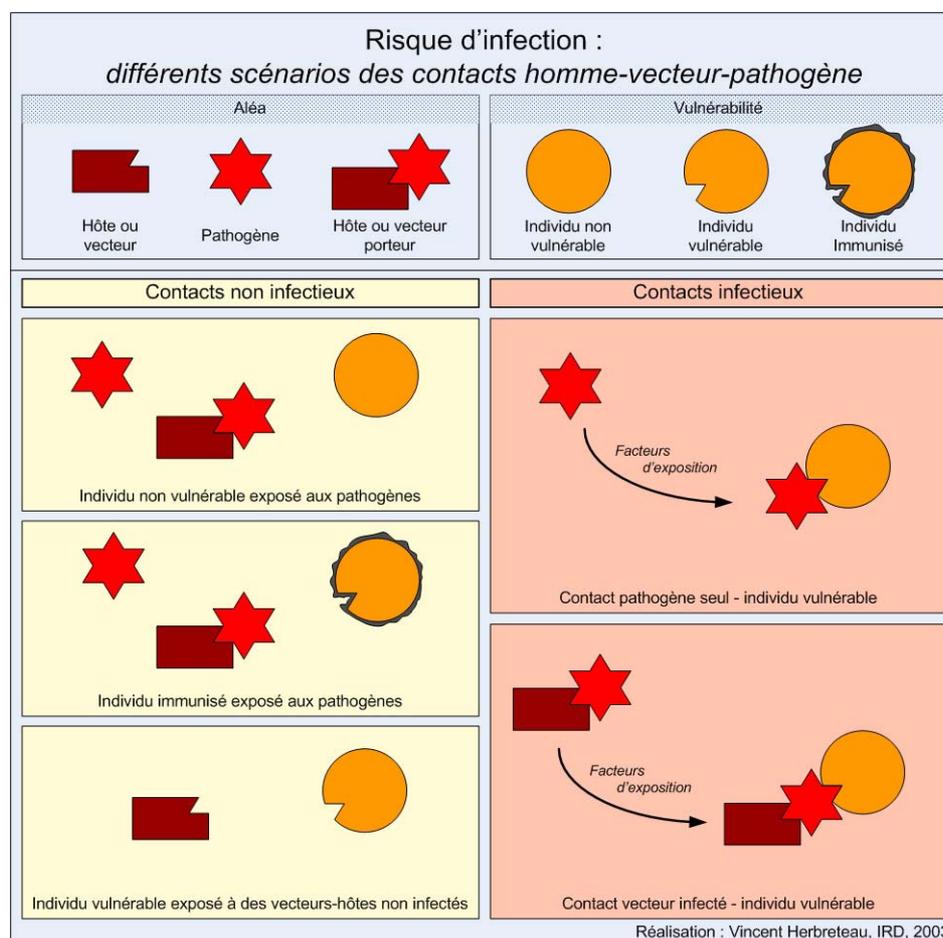


Figure 13 : Schématisation des situations à risque d'infection

Un agent pathogène peut être libre dans l'environnement, comme le sont les leptospires dans l'eau des rizières, ou lié à son hôte, comme c'est le cas du typhus des broussailles dans les larves trombiculides. Dans le cas de la leptospirose, les rongeurs jouent aussi un rôle de vecteur en augmentant la distribution du pathogène ou en le rapprochant de l'Homme. Les rongeurs sont alors une composante de l'aléa. La vulnérabilité est variable dans le temps, dans l'espace mais aussi entre individus : un paysan, en allant travailler dans sa rizière, devient vulnérable à l'infection par les leptospires, alors que les autres membres de sa famille qui restent au foyer ne le seront pas. La mesure de la vulnérabilité traduit les chances de contact avec le danger.

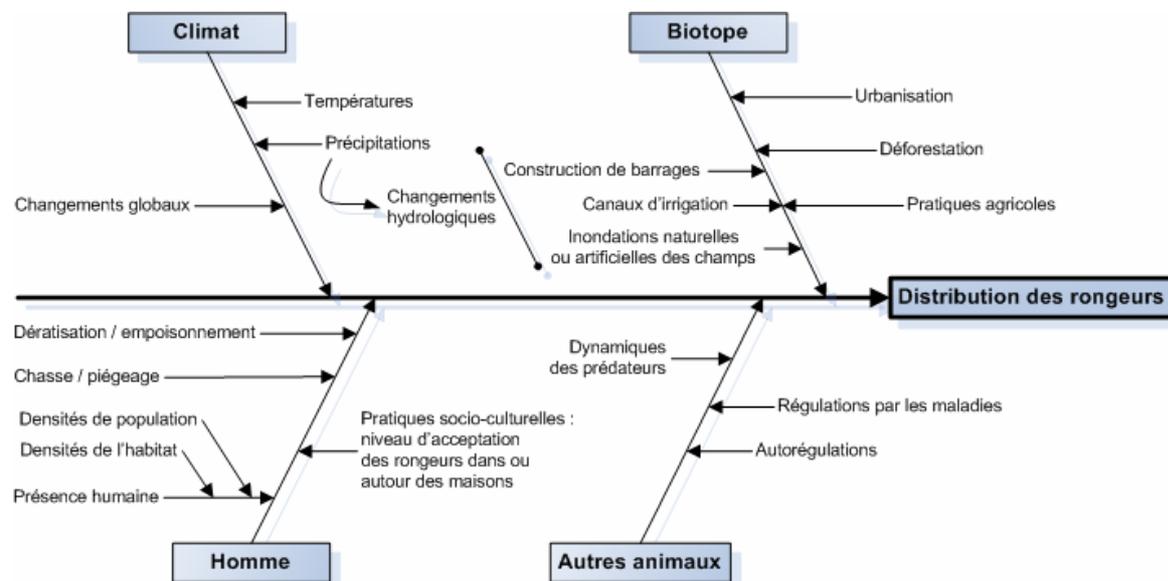
Par ailleurs, il peut y avoir contact sans toutefois y avoir de risque. Ainsi, une personne immunisée pour un agent pathogène donné n'est plus à risque. De même, le contact avec un vecteur sain ne correspond pas à une situation à risque. Ces quelques schématisations, du risque impossible au risque certain, ne doivent pas occulter la complexité de la réalité, où chaque situation et chaque individu obéissent à des facteurs de risque propres.

Un facteur de risque est un élément dont la présence augmente la probabilité que l'événement étudié se produise. Dans l'étude d'un risque sanitaire, les facteurs de risque sont nombreux et interdépendants. Il convient de les envisager dans la globalité des phénomènes pour appréhender et évaluer le risque associé.

2.1.1.2. Approche exploratoire des facteurs de risque

Pourquoi trouve-t-on *Bandicota savilei* sur les collines de la province de Phrae et pas dans la vallée centrale ? Pourquoi est-il abondant en 2003 alors qu'il était rare dans les années 90 ? Evidemment, il est ambitieux de répondre à de telles questions, devant la complexité des interactions des facteurs qui régissent la présence d'une espèce en un endroit donné et à un moment donné. Néanmoins, des éléments de réponse peuvent être abordés par une analyse rigoureuse.

Un modèle en « arête de poisson » permet une telle approche exploratoire pour identifier les facteurs expliquant la distribution des rongeurs. Quatre grandes forces semblent influencer spatialement et dynamiquement la présence d'une espèce en un lieu donné : le climat, le biotope, l'Homme et les autres populations animales (figure 14).



Source : d'après Herbreteau V. et al., ANYAS, 2006

Figure 14 : Approche exploratoire de la présence des rongeurs

- **Dans un écosystème, la présence et densité des espèces animales et végétales obéissent à un équilibre dynamique :**

Certaines espèces animales sont en compétition face aux ressources alimentaires ou aux possibilités de refuge, dans un milieu donné mais aussi entre les différents niveaux de la chaîne trophique. La

densité d'une espèce est conditionnée par la disponibilité en ressources alimentaires et le niveau de prédation. Les rongeurs ont tout particulièrement une très bonne adaptabilité à des changements brutaux. A la mise en culture de nouvelles terres, ou bien lorsque les récoltes arrivent à maturité, des populations de rongeurs vont venir s'installer à proximité des parcelles concernées. Cette colonisation est souvent liée à une augmentation synchrone du pouvoir reproducteur. Au contraire, si les conditions sont défavorables, la reproduction sera limitée. Les densités de population sont ainsi adaptées aux potentialités du milieu, dans une forme d'autorégulation.

La présence d'une espèce implique ou non celle d'une autre et réciproquement. Les rongeurs étant territoriaux, ils se délimitent un espace de vie, qu'ils chercheront à protéger de l'intrusion des autres espèces en compétition. Par ailleurs, une population croissante de rongeurs risque d'attirer des prédateurs carnivores. Le niveau de prédation jouera alors sur la densité des rongeurs.

Enfin, les maladies sont un autre facteur régulateur des populations animales. Dans le cas des rongeurs, qui ont un comportement social impliquant des contacts entre les membres d'une même communauté, la transmission horizontale de germes pathogènes peut s'amplifier rapidement.

- **Les changements environnementaux conditionnent les dynamiques des populations de rongeurs :**

Les perturbations des écosystèmes sont à l'origine d'une cascade d'événements qui influencent positivement ou négativement la santé humaine. La plupart des espèces de rongeurs habitent un biotope spécifique, dont ils sont tributaires des modifications. En Thaïlande, certaines espèces envahissent les champs, d'autres sont dites sylvoles, avec une spécificité plus ou moins forte aux divers types de forêts, résineux ou feuillus, et aux différents climats.

Les effets des perturbations écologiques sur les dynamiques des populations de rongeurs restent obscurs, car il est difficile d'évaluer les densités des espèces à un moment donné et d'en modéliser l'évolution, ces fluctuations pouvant être très rapides pour les rongeurs. Le travail de terrain a, malgré tout, permis d'observer une évolution globale des aires de répartition. Les populations de rongeurs se densifient en zones agricoles, causant occasionnellement le ravage de récoltes, avec les deux espèces du genre *Bandicota* présentes en Thaïlande, *B. indica* et *B. savilei*. Les rongeurs commensaux prennent de l'importance avec des espèces cosmopolites, *Rattus rattus* et *Rattus norvegicus* ou encore *Rattus exulans* devenu quasiment le seul rongeur trouvé dans les habitations sur l'ensemble du pays, au détriment d'espèces du genre *Mus*.

- **Les changements climatiques agissent-ils sur les distributions des rongeurs ?**

Si la question des changements climatiques globaux soulève nombre de débats, il ne semble pas qu'elle soit vraiment fondée pour les rongeurs, à moins de considérer des milieux non anthropisés. A grande échelle, la dynamique des rongeurs, réactifs à toute perturbation, peut être si rapide qu'il est difficile d'envisager des évolutions à petites échelles, spatiales et temporelles. De plus, les transports accidentels de rongeurs sous des climats radicalement différents, ont prouvé leurs facultés d'adaptation. Ainsi le *Rattus rattus* asiatique, *Rattus tanezumi*, vient d'être identifié en Afrique du sud par l'analyse de son ADN (Peter Taylor, communication orale).

En revanche, les accidents climatiques locaux influencent les dynamiques des populations. Les pluies ont probablement les conséquences les plus directes. Les agriculteurs du Nord-Est ont évoqué, à plusieurs reprises, des déplacements d'espèces vers les collines, suite à des inondations importantes et prolongées des terres basses.

- **Les rongeurs suivent les actions de l'Homme :**

L'Homme occasionne des changements brutaux au sein des écosystèmes : l'installation d'une maison au milieu d'un champ, la croissance d'un village, la création d'un lac de barrage, l'alternance des cultures agricoles ou encore l'irrigation des terres sont autant de situations qui font qu'une population de rongeurs sauvages peut disparaître rapidement d'un milieu. La pression humaine sur l'environnement, à travers les densités de la population et de l'habitat, ainsi que le niveau d'artificialisation du milieu, sont des indicateurs à prendre en compte dans l'estimation des espèces présentes et de leur densité. Les pratiques agricoles peuvent réorganiser la saisonnalité des espèces : nous avons pu observer l'adaptation de la période de reproduction de certaines espèces au rythme de la mise en eau des rizières. Les conséquences de l'utilisation de pesticides et d'insecticides sont tout aussi drastiques sur les populations de rongeurs : les oiseaux et rongeurs

insectivores semblent rares dans certaines régions agricoles. Un lien direct pourrait être fait entre l'utilisation d'insecticides et la rareté de ces espèces. Nous avons pu le vérifier avec la capture d'insectivores, les musaraignes, sur les terres agricoles. Nous avons pu en attraper quelques-unes sur des monocultures de riz où aucun insecticide n'avait été utilisé, alors qu'elles ont disparu des terres des régions où l'agriculture s'est intensifiée.

De plus, les campagnes de dératisation, parfois menées pour la protection des cultures en Thaïlande, sont à prendre en compte pour une diminution radicale mais pas totale, des populations. Nous n'avons pas eu connaissance de telles campagnes dans un but de santé publique.

En revanche, les espèces domestiques, comme *Rattus exulans*, communément trouvé dans ou autour des maisons sur l'ensemble de la Thaïlande, sont dépendantes du comportement de l'Homme face à elles. Certaines personnes les chassent hors de leur foyer, d'autres les acceptent au quotidien. Différents comportements pourraient avoir des spécificités culturelles régionales, qu'il restera difficile à appréhender. Malgré tout, la densité de la population et de l'habitat dans les villages semble conditionner la densité de *Rattus exulans*.

L'étude du risque requiert la collecte de l'information disponible et utile à la mesure des facteurs de risque. Ces données sont intégrées au sein d'un Système d'Information Géographique (SIG) pour permettre une analyse spatio-temporelle.

2.1.2. Mise en place du Système d'information Géographique « rongeurs et santé »

2.1.2.1. Collecte et intégration des données



L'ensemble des données collectées au cours de cette recherche (données sur le pays, données de terrain sur les rongeurs et données épidémiologiques) sont intégrées dans un SIG « rongeurs et santé » (voir Annexe 1). Le logiciel SavGIS, développé sous la direction de Marc Souris au sein de l'IRD, a permis de constituer ce SIG et sert d'interface à l'accès et à l'analyse des données. Ce SIG est mis à disposition des autres équipes de recherche de l'IRD en Thaïlande.

Les informations géographiques ou non sur le pays ont été obtenues dans différents ministères et administrations thaïlandais :

- le Royal Thai Survey Department : cartes topographiques complètes et quelques photographies aériennes des provinces étudiées ;
- le National Statistical Office : données démographiques, économiques et sociales ;
- le Ministry of Public Health ainsi que ses bureaux provinciaux : données sur le système de soins et les données épidémiologiques ;
- le Thai Meteorological Department : données météorologiques, achetées et intégrées dans le SIG pour la période d'étude seulement ;
- le Royal Forestry Department : évolution du couvert forestier ;
- le Department of Land Development : carte pédologique ;
- l'Office of Environmental Policy and Planning : réseau hydrographique ;
- le Department of Livestock Development : données sur les élevages ;

Des informations spatialisées, plus générales, proviennent du Thai Environmental Institute, qui a développé en 1995 la base de données « Thailand on a disc » et du Département de l'environnement, pour la base de données « ProtoGIS ».

La qualité des données disponibles en Thaïlande varie inévitablement selon les sources. Globalement, de nombreuses informations existent mais de manière plus ou moins accessible. Ces informations sont peu homogènes, ce qui a demandé pour la mise en place du SIG « rongeurs et santé » un long travail préparatoire de description (métadonnées, disponibles sur le CD d'accompagnement), de correction (fermeture des contours pour les couches d'information géographique, correction de tracés administratifs ou naturels à l'aide de cartes topographiques

scannées et géoréférencées, rectification des codes), d'uniformisation (projection unique, codification unique, spatialisation des données). Des problèmes inhérents au traitement de l'information géographique se sont posés :

- Le choix des échelles : la question des échelles est souvent problématique dans l'intégration et l'utilisation des données géographiques. Au sein d'un SIG, les données rassemblées sont à des échelles différentes, dont le rapport doit être mentionné au sein des métadonnées. Le croisement des données à grande échelle avec des données à petite échelle donne une nouvelle couche de données dont la résolution est celle des données à petite échelle. Ainsi pour l'étude épidémiologique à l'échelle des villages, le manque de données démographiques par village est le facteur limitant l'analyse.
- L'utilisation de données datées : les problèmes de résolution spatiale se retrouvent pour la résolution temporelle. Les incidences mensuelles et annuelles, entre 1997 et 2005 selon les zoonoses étudiées, sont calculées à partir des seules données disponibles, celles du recensement de 2000. Les effectifs de population par district étant très grands devant le nombre de cas y étant déclarés, les variations de population sont négligeables sur l'incidence des maladies.

2.1.2.2. Problèmes de sources

2.1.2.2.1. Des limites administratives changeantes

- **Création de nouvelles unités, villages, sous-districts, districts, provinces**

Un chef-lieu de sous-district ou de district, en croissance démographique et économique, peut passer dans la catégorie administrative supérieure. Associé aux districts voisins, un tel chef-lieu de sous-district devient un « king amphoe », c'est-à-dire un nouveau district. Un district qui a pris de l'importance peut de même se jumeler à ses voisins pour devenir une nouvelle province. Ainsi il y a 76 provinces depuis 1993, où Sakaeo fut séparée de Prachinburi dans la région est, Nong Bua Lamphu fut séparée de Udon Thani et Amnat Charoen séparée de Ubon Ratchathani dans la région nord-est. Dès 2005, le gouvernement a envisagé une future séparation des districts voisins de Suwanamphum, où est, depuis 2006, le nouvel aéroport international de Bangkok. Cela constituerait une province dans la partie est de l'actuelle province de Bangkok, où l'urbanisation et les activités économiques se sont considérablement développées.

Ceci pose une difficulté essentielle dans le traitement rétrospectif des données où les entités étudiées changent. C'est tout d'abord un problème cartographique car les limites spatiales des divisions administratives sont disponibles pour ce qu'elles sont aujourd'hui mais pas pour les structures passées avec moins de 76 provinces ou moins de districts ou sous-districts. Les études spatio-temporelles sont donc difficiles car elles nécessitent l'agrégation de certaines données. Cette difficulté est elle-même rencontrée par les ministères dont les services d'analyse de données et de cartographie sont indépendants. Chacun y répond de manière individuelle ou, bien souvent, renonce à des études spatiales rétrospectives. En 2005, il existe un contour correct des provinces et des districts mais pas des sous-districts ni des villages. La cartographie des sous-districts est disponible pour l'année 1993. Depuis 2004, le service de cartographie du NSO s'attache à produire les découpages des sous-districts et villages, sous forme SIG. Il a dû entreprendre le géoréférencement des villages sur l'ensemble du territoire. Les villages étant des entités aux limites floues, ils sont cartographiés par un point, pouvant être leur centre, mais dont l'attribution n'est pas élucidée (utilisation des cartes topographiques, de photographies aériennes ou relevés GPS ?). Les chefs-lieux de district, appelés municipalités par le NSO, sont cartographiés par un polygone. En 2005, ces découpages n'étaient pas encore disponibles sur l'ensemble du pays. Ils seront en revanche directement reliés aux données du recensement ce qui devraient activer les analyses démographiques spatiales, à une échelle plus fine que les régions, telle que le NSO s'y limite encore. Enfin des problèmes de projection s'ajoutent pour les données cartographiques. Deux projections sont principalement utilisées dans les SIG, WGS 84 et Indian Everest. Si ces problèmes peuvent être résolus par un changement de projection, dans le logiciel utilisé, un standard de projection devrait être fixé pour uniformiser les bases de données.

- **Problème des études temporelles**

L'augmentation du nombre d'unités spatiales pose surtout un problème dans les études temporelles. Par exemple, s'il y a 100 cas de leptospirose dans 10 districts, soit 10 cas par district, et que le nombre de districts est multiplié par deux, on obtient 100 cas dans 20 districts soit une moyenne de 5 cas par district. On conclura alors à une diminution du nombre de cas. Concrètement, la création d'unités spatiales est rare, et les variations des moyennes ou autres variables statistiques risquent d'être minimales, mais cela doit être mentionné.

- **Alternatives : une approche par village ou une approche par cas**

Les enregistrements du MOPH identifient les patients par leur nom et prénom, écrits avec l'alphabet Thaï, ainsi que leur adresse de résidence, village, et souvent numéro de la maison et quartier dans le village. Chaque maison est immatriculée, telles que le sont les voitures, avec des documents faisant lieu du nombre de résidents. Le code des villages, utilisé par le MOPH, est différent du code utilisé par le NSO, qui pourrait être considéré pourtant comme la référence cadastrale. Les municipalités définies par le NSO regroupent généralement plusieurs bourgs, qui sont pour le MOPH, autant de villages. Le MOPH considère donc pour une même province un plus grand nombre de villages. Ainsi pour la province de Phrae, les 705 villages distingués par le MOPH équivalent à 631 villages pour le NSO, et 74 villages inclus dans les chefs-lieux de district. La comparaison des codes du NSO et du MOPH et la création de liens entre eux se révèlent très délicats. Elle a été faite village par village en se basant sur le nom écrit en Thaï (les écritures étant elles aussi très aléatoires selon les sources). Ceci représente une complication expliquant pourquoi le MOPH n'est pas encore parvenu à cartographier les déclarations au village de résidence. Ceci en constitue le premier essai.

Les bureaux provinciaux de la santé suivent parfois une codification des villages différente de celle dictée par le MOPH. Pour le codage des villages de Phrae, deux listes des codes utilisés ont été fournies à un an d'intervalle par le bureau du MOPH de Phrae. Après intégration dans le SIG et réalisation des cartes, alors que tout semblait fonctionner, la comparaison des cas déclarés et des cas cartographiés (absence de quelques cas sur les cartes ou villages sans cas) et la comparaison des codes des villages avec ceux des structures de soins ont révélé un problème de code. Les erreurs viennent essentiellement des codes des sous-districts. La première liste qui fut utilisée est en fait celle issue du logiciel d'enregistrement des malades. Elle est dépassée car elle comporte 680 villages au lieu de 705. La seconde, complète, correspond aux codes du Ministère de l'Intérieur mais diffère radicalement pour certains districts (2 sur 8 dans la province de Phrae), ce qui nécessite une vérification exhaustive (pour chaque sous-district) des données cartographiées. Après ces deux échecs une table de correspondance a été construite à partir de la première issue du logiciel et complétée logiquement par les 25 villages manquants, dont les noms apparaissent dans la liste du NSO.

L'utilisation des codes des villages est donc de l'ordre du « bricolage ». Ce travail, n'est pas envisageable pour l'ensemble du pays sans qu'un travail d'uniformisation, dirigé par un ministère, ne soit organisé.

2.1.2.2.2. Des données non disponibles

- Les données démographiques utilisables ont été jusqu'à présent limitées. Le dernier recensement général de la population date de 2000. Les données agrégées par province, ou éventuellement par district, ont été principalement utilisées pour cette étude. Peu d'information est disponible à l'échelle des sous-districts ou des villages, que ce soit aux bureaux du recensement, le National Statistical Office à Bangkok ou dans leurs bureaux provinciaux. Il est seulement possible d'y acquérir les données brutes, vendues au kilo d'octets, mais difficilement utilisables à petite échelle.

- L'essentiel des données relatives aux problèmes de santé sont des taux de morbidité des maladies infectieuses. Très peu de données ou en tout cas peu de détails sont disponibles concernant les maladies chroniques ou dégénératives.

- Parmi les données agricoles, les statistiques de 2004 relatives aux élevages ont été intégrées à l'échelle des districts, ce qui permet d'observer la variabilité spatiale des productions

animales. Par ailleurs, aucune information concernant les productions végétales n'a pu être obtenue à cette échelle.

2.1.2.2.3. Des problèmes de langue

Les données sont le plus souvent disponibles en une seule langue le Thaï, ayant son propre alphabet. C'est le cas des déclarations du MOPH, où les données, non codées, propres aux patients, sont écrites en Thaï. La première difficulté vient de la prise en compte de cet alphabet par les logiciels qui, condition nécessaire mais pas suffisante, doivent être dans leur version « Thaï Edition ». Les logiciels à petite diffusion, SIG ou logiciels statistiques ne prennent pas en compte la police Thaï, nécessitant la traduction des données en phonétique ou bien la suppression de ces données, si elles ne sont pas nécessaires. Lorsque les polices Thaïs sont lisibles dans les logiciels, elles sont rarement utilisables comme clés d'agrégation, car comportent souvent des fautes d'écriture. L'alphabet Thaï est riche de 26 consonnes et 26 voyelles, avec des noms de lieux, en particulier, pouvant être écrits de plusieurs façons pour une même sonorité. Ainsi les noms attribués à un même village par le NSO et par le MOPH, diffèrent souvent en écriture. Les codes pouvant être eux aussi différents, il est nécessaire, à ce stade, de lire pour pouvoir établir le lien. Concernant les déclarations du MOPH, les champs en Thaï concernent les données confidentielles, donc non intégrables à la base de données. Le nom des unités spatiales ou encore le nom des structures de soins a été traduit en phonétique, car c'est rarement le cas. Les traductions en phonétique sont très subjectives car aucune règle ne les guide. Une phonétique à influence anglophone et une autre à influence francophone peuvent s'opposer dans cette base de données. Enfin, le problème de langue s'est posé lors de la quête des données. Les sites des ministères et agences gouvernementales thaïlandais mettent en ligne des données générales. Ils proposent le plus souvent une version Thaï et une version anglaise mais les contenus se révèlent très différents, la traduction anglaise étant généralement plus succincte. La lecture du Thaï permet donc d'accéder à un plus grand nombre d'informations, et peut être astucieusement contournée par la lecture des liens obligatoirement en anglais et souvent explicites dans les navigateurs de recherche (exemple : data.html, stats.html), ce qui a été fructueux pour beaucoup de données.

Ce travail de gestion et de traitement des données s'est accompagné d'un travail de terrain visant à l'étude des rongeurs et de leurs biotopes, mais aussi à l'étude des populations et de leur comportement de santé.

2.1.3. Travail de terrain, étude des rongeurs

Différentes activités de terrain ont souvent été menées de front (Annexe 3) :

- l'observation des milieux naturels pour l'ajustement des analyses de télédétection,
- l'étude des rongeurs : piégeage, dissection, observation de leur habitat,
- l'étude des structures de soins,
- les interviews dans les villages pour comprendre les comportements de santé, la proximité aux rongeurs, et l'attitude face aux rongeurs.

2.1.3.1. Possibilités et limites du travail de terrain

Le travail de collecte et d'analyse des rongeurs sur le terrain a été réalisé, pour la plupart des missions, seul avec l'aide d'un technicien-chauffeur. Les premières collectes de rongeurs avaient été initialisées de 1998 à 2002 par Gilles Chauvancy, au sein de l'UR034 de l'IRD, dans différentes provinces de la région centrale. Des missions ont pu être jumelées avec Jean-Paul Cornet, acarologue de l'IRD, spécialiste de l'écologie et de la systématique des tiques (photo 17). L'objectif était alors de comprendre les relations entre tiques et rongeurs.



A l'université Mahidol, à Bangkok, des chercheurs français et thaïs dissèquent un rat capturé dans une zone cible.

L I B E R A T I O N 3 5

Photo : P. Aventurier

De gauche à droite : Boonlern Ruengsri, Vincent Herbreteau et Jean-Paul Cornet.

Photo 17 : Dissection des rongeurs au laboratoire IRD de l'université de Mahidol (Libération, le 4 octobre 2003)

La limitation des moyens en temps et main d'œuvre n'ont pas rendu possible la mise en place d'un réel échantillonnage des espèces, pouvant être exploitable statistiquement en vue de l'étude des densités de population des différentes espèces. Dans ce genre de piégeage, il convient de placer les cages en ligne, espacées à intervalles réguliers, et de les relever pendant deux à trois nuits. Pour obtenir un nombre suffisant de spécimens, il faut aussi un très grand nombre de cages, ce qui nécessite la participation de plusieurs personnes au travail de terrain et un retour sur site régulier. Ces conditions ne pouvant être réunies, le choix s'est porté vers l'obtention d'un grand nombre de spécimens dans des milieux différents, en zones endémiques ou non de leptospirose, et dans différents biotopes : champs cultivés, forêts, jardins, etc. Les pièges ont ainsi été placés de manière à être visités par un maximum de rongeurs. Un retour sur site à différentes périodes de l'année a été planifié pour éviter les fluctuations de population qui font, qu'en un même lieu, on peut piéger essentiellement des adultes ou essentiellement des jeunes, selon la période de reproduction.

Sur chaque site, la discussion avec les paysans fut précieuse, de part le partage des connaissances sur l'écologie des animaux, et nécessaire, pour piéger « cordialement » dans les champs, près des maisons et éviter tout risque de disparition des cages. Des relations se sont rapidement établies permettant de garder les cages sur place entre deux missions et d'être opérationnel plus rapidement et plus efficacement. Un tel piégeage implique inévitablement des biais. Il ne permet pas de mesurer l'importance relative des différentes espèces mais permet d'avoir une connaissance d'un maximum d'espèces présentes.

2.1.3.2. Protocole de travail : piégeage et dissection

Chaque lieu de capture a été décrit : localisation au GPS, altitude, adresse administrative (province/district/sous-district/village), description environnementale du point de capture et de l'espace visible, présence humaine (Homme et/ou maisons : nombre et éloignement), et d'éventuelles observations personnelles (Annexe 4 : Fiche de description des points de capture).

Environ 80 pièges ont été utilisés pour chaque mission. Ces pièges sont des cages à rongeurs classiques fabriquées en Thaïlande en utilisant les plaques de métal où ont été découpés les maillons des chaînes de motos. Ce sont les modèles désormais couramment utilisés au détriment des pièges traditionnels en bois dont le savoir-faire se perd. Lors des collectes, les pièges ont été transportés dans de grandes caisses en plastique pour l'hygiène des véhicules et la manutention.

Nous avons préféré utiliser un véhicule de type pick-up pour pouvoir séparer les rongeurs collectés de l'habitacle du véhicule.

Il n'y a pas eu d'appât systématiquement utilisé. L'appât doit être odorant pour attirer les animaux mais doit aussi ne pas se dégrader trop rapidement (à évaluer en fonction du temps de dépôt du piège et des conditions climatiques). Cet appât peut aussi attirer les fourmis, alors les Muridae rentreront difficilement dans la cage. Les poissons séchés ou crabes salés, très forts en odeurs, ont été de très bons appâts mais selon les circonstances, du riz gluant, du maïs ou des fruits ont pu être utilisés.



Photo : P. Aventurier
Photo 18 : Capture de rongeurs à Nakhon Pathom
(Ca m'intéresse, mars 2004)

Les rongeurs ont été traités systématiquement le matin de leur capture. Chaque personne étant intervenue sur les dissections a porté blouse, gants et masque. Ces mesures d'hygiène doivent prévenir des risques d'infection et éviter les contaminations du matériel collecté. Le laboratoire de terrain était opérationnel à tout moment en n'importe quel lieu. Il comprenait une table et des chaises pliantes, une bonbonne d'azote liquide, de l'alcool à 90 ou 95°, du chloroforme, de l'eau de javel, de l'eau ainsi que le matériel de dissection. Des endroits ventilés, à l'abri du soleil ont été choisis de préférence. Les dissections ont souvent eu lieu près des dispensaires, bénéficiant de ces petites collaborations pour légitimer ce travail dans les villages et obtenir de meilleures conditions de travail : une prise électrique pour utiliser une balance de précision ou l'accès à l'eau.

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour anesthésier les animaux. Il est conseillé d'éviter le contact avec l'animal vivant pour prévenir des morsures. Ainsi, on peut placer directement les cages dans une grande boîte hermétique où est placé un anesthésique volatil (halothane, isoflurane ou chloroforme). Après l'anesthésie, on observe la présence d'éventuels ectoparasites, acariens (dont les larves trombiculides dans les oreilles, vecteurs du typhus des broussailles) ou tiques (principalement sur le museau), qui sont le cas échéant collectés dans des tubes vides ou remplis d'alcool (selon la durée de leur future conservation avant analyse) pour leur identification au laboratoire de l'IRD (Jean-Paul Cornet). Il faut éviter la dispersion de ces ectoparasites, pouvant être porteurs de pathogènes. Une méthode efficace consiste à placer le rongeur pendant quelques secondes dans un sachet contenant du coton imbibé de chloroforme. En secouant, ils se décrochent et tombent rapidement au fond du sachet.

Les spécimens sont tout d'abord pesés avant d'être mesurés : longueur tête+corps, longueur de la queue, longueur de la patte arrière, longueur des oreilles (photo 19) et longueur du crâne (photo 20). Toutes les mesures sont consignées sur une fiche de terrain (Annexe 5 : Fiche de description des rongeurs). Il est important d'être rigoureux dans la méthodologie de ces mesures pour pouvoir en comparer les résultats.



Photo : Sudcha P.

Photo 19 : Mesure des oreilles, de l'intérieur de l'oreille à l'extérieur du lobe



Photo : Sudcha P.

Photo 20 : Mesure du crâne, du museau à l'arrière de la boîte crânienne

L'espèce est alors déterminée selon ses caractéristiques morphologiques. La détermination du sexe de l'animal peut être difficile, en particulier pour les jeunes dont les organes génitaux sont peu développés. La dissection est parfois le seul moyen de vérifier. La mesure de la longueur des vésicules séminales des mâles est un bon indicateur de l'âge de l'animal.



1- Entre chaque dissection, le matériel doit être systématiquement rincé dans l'eau de javel, l'eau, puis l'alcool. Du coton hydrophile ou un papier absorbant doit être utilisé pour chaque nettoyage.



2- Dès la mort de l'animal, le sang peut être ponctionné par une piqûre intracardiaque, sans ouvrir l'animal. Avec un peu de pratique, cette méthode se révèle très efficace.



3- L'animal est ensuite fixé sur un plateau à dissection propre. On pratique une ouverture près de la ceinture pelvienne puis on remonte vers le thorax, afin de dégager une large ouverture.



4- Les poumons sont conservés pour la recherche des virus (hantavirus en particulier) et des pneumocystis.



5- Plusieurs morceaux de foie sont prélevés, pour différentes analyses, taxonomique et recherche de pathogènes.



6- La rate, située sous l'estomac lors de la dissection, est prélevée entière. Elle est utilisée pour la recherche de rickettsioses.



7- Les deux reins sont prélevés entiers (si possible) pour l'isolement des leptospires.



8- Le sang, collecté sur papier buvard, est mis à sécher avant conservation

Photo 21 : Principales étapes de la dissection des rongeurs (Photos : Sudcha P.)

Le prélèvement du sang est une étape délicate mais fondamentale au cours de la dissection (photo 21). Le sang est un indicateur de la santé de l'animal. Les études sérologiques, qui suivent normalement le terrain, permettent de révéler rapidement et à moindre coût la séropositivité vis-à-vis des antigènes de différents agents pathogènes. La manière la plus simple de conserver le sang est de déposer quelques gouttes sur un papier buvard, de type « Whattman ». Correctement séché, et conservé avec du silicagel en climat humide, ce papier peut être utilisé plusieurs mois, voire des années, après la collecte. Si les analyses sérologiques sont possibles en laboratoire, rapidement après le prélèvement, le sang est conservé dans des tubes spéciaux, au réfrigérateur. Certains tubes, dits « à séparation » permettent de faciliter l'isolement du sérum. Ceci est la méthode utilisée pour l'analyse de la leptospirose. Chaque soir, les prélèvements sont envoyés à Bangkok dans une glacière par un bus de nuit, et parviennent au laboratoire dès le lendemain matin.

Les organes prélevés sont placés dans des tubes cryogéniques et plongés dans l'azote liquide puis rangés par boîtes de 81 échantillons dans un réfrigérateur à -80°C.

Pour la taxonomie moléculaire, on peut utiliser des morceaux de foie ou de tissus, placés dans de l'alcool à 99%.

L'ensemble des données collectées sur le terrain est systématiquement saisi dans un tableur et relié au SIG.

2.1.3.3. Mise en place d'une base de données « rongeurs »

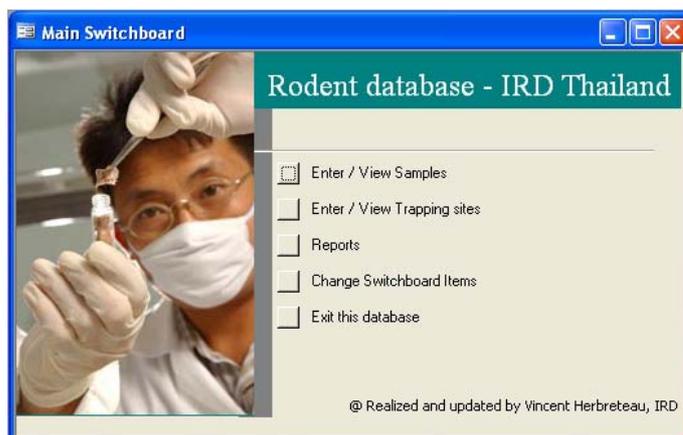


Figure 15 : Page d'entrée de la base de données « rongeurs »

Toutes les informations recueillies sur le terrain, pour chacun des rongeurs, sont rassemblées dans une base de données « Rongeurs » (figure 15). Les champs renseignés correspondent à la fiche de description des rongeurs et à la fiche de description des points de capture, présentes (Annexes 4 et 5). Les coordonnées géographiques de chaque piègeage permettent de les relier aux autres informations géographiques, au sein du SIG « rongeurs et santé ».

Une collection humide de rongeurs (où les animaux sont conservés dans l'alcool) a été constituée au fur et à mesure des travaux de terrain afin de pouvoir réexaminer les corps pour compléter ou vérifier les premières analyses (photo 22).



Photo : Herbreteau V.



Photo : Herbreteau V.

Photo 22 : Une partie de la collection de rongeurs, constituée pour cette thèse, au laboratoire de l'UR178 de l'IRD en Thaïlande

Après dissection, les corps sont placés sur le terrain dans des bocaux de plastique, immergés dans de l'alcool à 90 ou 95°. L'alcool est changé de retour au laboratoire, afin de compenser la perte d'eau des tissus et de retrouver une solution concentrée dans les bocaux. Idéalement, il faudrait placer les cadavres dans des touques remplies de formol à 10 % pendant cinq jours minimum, puis dans des touques remplies d'alcool à 95°. Les peaux peuvent être ainsi préparées si besoin. Les bocaux sont stockés par ordre croissant du numéro de référence dans la base de données. Une étiquette indique pour chaque bocal ce numéro et rappelle l'espèce, le lieu et la date de capture. A terme, quelques spécimens de chaque espèce devraient être restitués à la collection nationale du Musée des Sciences.

Les rongeurs ont été mis à disposition pour d'autres recherches : analyse génétique pour des études de systématique et de phylogénie, recherche de parasites dans les intestins, recherche d'acariens dans les oreilles.

L'essentiel des rongeurs capturés a été disséqué sur le terrain en vue de la recherche de pathogènes. Les organes, prélevés et conditionnés à très basse température, sont référencés dans la base de données par le numéro de la boîte qui le contient.

2.1.4. Analyse des modes de l'occupation de l'espace par télédétection

2.1.4.1. La télédétection, une observation à distance de la Terre

Le terme de « télédétection » (en anglais, remote sensing) a été utilisé pour la première fois aux Etats-Unis au cours des années 1960, pour désigner l'étude à distance des objets, et plus généralement l'observation de la Terre via les avions ou les satellites. Il se définit par « l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci » (Journal Officiel, 11/12/1980). Aujourd'hui, la télédétection utilise essentiellement les radiations électromagnétiques émises ou réfléchies par les objets, chaque objet ayant une signature spectrale caractéristique de sa nature et de son état, qui permet leur identification.



Source : NOAA Central Library

Photo 23 : Lancement du satellite TIROS-I, le 1 avril 1960

Historique de la télédétection

Les premiers essais de télédétection furent sans doute les photographies prises par les avions de reconnaissance durant la première guerre mondiale. Les premières applications ont utilisé les techniques de la photogrammétrie à partir de photographies aériennes, puis le lancement de satellites dédiés à ces applications a permis son essor. En 1960, le premier satellite météorologique américain, TIROS-1 (Television Infrared Observation Satellite), a permis l'observation des nuages dans le visible et l'infrarouge (photo 23). En 1972, le lancement de ERTS (Earth Resource Technology Satellite), plus tard renommé Landsat, marqua le début de l'observation du sol. Les satellites Landsat continuent à être l'une des principales sources d'information pour l'observation de l'environnement terrestre. Depuis, les satellites d'observation, utilisant comme principale source d'information les radiations électromagnétiques émises ou réfléchies par les objets, se sont multipliés, offrant des performances croissantes pour une couverture dans l'espace et le temps de la Terre, quasiment totale.

La télédétection regroupe des données et des outils utilisés largement dans divers domaines d'étude : météorologie, environnement rural ou urbain, physique, et plus récemment, depuis les années 1980, en sciences sociales et santé.

2.1.4.2. Fondements de la télédétection

Le terme de télédétection fait référence à l'ensemble du processus, de la capture des radiations électromagnétiques jusqu'à l'analyse des images, par les utilisateurs.

- **La télédétection, mesure des radiations réfléchies ou émises par les objets**

Tous les objets émettent de l'énergie électromagnétique mais aussi absorbent ou réfléchissent celles venant d'autres sources. La lumière solaire est la principale source d'énergie électromagnétique et fait l'objet des analyses de télédétection, mais d'autres radiations peuvent être utilisées. Le spectre électromagnétique s'échelonne des rayons gamma ($< 0,1$ nm) aux ondes radio (de n mm à n km). Les ondes courtes permettent la perception de petits objets mais sont sensibles aux perturbations atmosphériques, alors que les ondes longues passent à travers les nuages. Le spectre du visible de 400 à 700 nm comprend les ondes correspondant à toutes les couleurs de l'arc-en-ciel (du bleu au rouge).

La réflectance est le rapport du flux réfléchi au flux incident sur une surface. Les indices de réflectance s'échelonnent donc de 0 (absorption totale) à 1 (réflexion totale). L'albédo est la réflectance qui prend en compte la lumière du soleil comme flux incident. On parle aussi de réflectance spectrale lorsque l'on considère des longueurs d'ondes particulières. On considère, en télédétection, le fait que cette réflectance spectrale varie d'un objet à un autre, selon le type de couvert végétal par exemple.

- **Les images numériques, une matrice offerte à tous calculs**

En télédétection, nous différencions image, obtenue à partir de n'importe quelle longueur d'onde du spectre électromagnétique, et photographie, captée sur un film sensible dans le domaine du visible et du proche infrarouge (une photographie étant donc une image). Une image est la représentation en deux dimensions d'un objet réel. Les images numériques sont un quadrillage de pixels (de l'anglais « picture element »), l'élément constitutif dont la taille définit la résolution spatiale de l'image. Cela correspond aux grains des photographies argentiques. Une valeur d'intensité est attribuée à chaque pixel. Ces valeurs s'échelonnent de 0 (noir) à 255 (blanc), définissant des niveaux de gris. Pour obtenir une image couleur, il faut superposer trois images numériques correspondant à trois parties du spectre électromagnétique : le bleu, le rouge et le vert, comme le font les peintres. La résolution d'une image est généralement donnée par son nombre de pixels égal au nombre de lignes multiplié par le nombre de colonnes. Une image numérique est donc traduite par une matrice de valeurs avec laquelle on peut facilement réaliser divers calculs et analyses. Virtuellement codées, ces images sont ainsi transmises par ondes radio des satellites aux stations de réception au sol.

- **Les images de télédétection, différentes résolutions pour différentes utilisations**

Les images de télédétection sont définies par quatre résolutions différentes (Huh, 2001), correspondant aux caractéristiques des capteurs : les résolutions spectrale, radiométrique, spatiale et temporelle.

La résolution spectrale est déterminée par la finesse des longueurs d'onde interceptées par le capteur. Elle dépend de son dispositif optique, qui décompose les rayons. Plus sa résolution est fine et plus il est apte à capter des petites fenêtres de longueur d'onde. Selon les études, nous pouvons avoir besoin de fenêtres plus ou moins larges ou étroites. Les capteurs panchromatiques enregistrent les rayons dans un intervalle unique du spectre électromagnétique, généralement dans le visible ou le proche infrarouge. Les images obtenues ne peuvent être qu'en noir et blanc. Les capteurs multispectraux analysent différentes portions du spectre, appelées bandes spectrales, à différentes résolutions spectrales selon les capteurs. Ils ont généralement de 3 à 8 bandes, et combinent les images pour mettre en valeur l'information. Encore plus fins, les capteurs hyperspectraux peuvent dissocier plusieurs centaines de bandes très étroites (quelques nanomètres) dans les domaines du visible à l'infrarouge moyen. Ils donnent de la précision dans la description

des objets et permettent de les reconnaître spécifiquement, telle l'identification de différentes espèces végétales.

La résolution radiométrique est définie par la sensibilité du capteur à l'intensité de l'énergie électromagnétique. Un capteur pouvant différencier de faibles variations d'intensité de l'énergie reçue a ainsi une résolution radiométrique fine. Elle est définie par le nombre de bits pour enregistrer les données : un capteur 4 bits a $2^4 = 16$ niveaux d'intensité et un capteur 10 bits, plus fin, offre 1024 niveaux.

La résolution spatiale définit ce que représente au sol la taille d'un pixel de l'image. Elle varie de quelques mètres à plusieurs kilomètres selon les capteurs. Ainsi une image prise par le satellite SPOT (Satellite pour l'Observation de la Terre) Panchromatique, avec une résolution spatiale de 10 mètres, signifie qu'un pixel de l'image représente un carré de 10 mètres de côté au sol.

La résolution temporelle correspond à la période de temps entre deux passages d'un satellite sur un point nadir (point à la surface de la Terre, directement situé sous la trajectoire du satellite) ou une même région. Cette période, aussi appelée cycle orbital, varie de quelques heures à quelques jours et est un critère de choix fondamental pour des études dynamiques. L'accumulation d'images satellitaires permet aussi de comprendre l'historique de changements environnementaux. Cependant il s'agit là d'une résolution temporelle absolue, puisque les couloirs parcourus se chevauchent, de plus en plus vers les pôles, et ainsi certaines régions sont couvertes par plusieurs images, au cours d'une même période. Certains satellites ont aussi la possibilité d'orienter leurs capteurs vers une cible précise et ainsi de diminuer fictivement cette période.

- **Hyperfréquences et systèmes radars, une source de données continue quelles que soient les conditions météorologiques**

Les radars (de l'anglais « Radio Detection and Ranging ») sont des capteurs généralement actifs, c'est-à-dire qu'ils émettent des micro-ondes (de 1 mm à 1 m) illuminant le terrain et en mesurent la réponse. Ils ne sont pas sensibles aux nuages et autres perturbations atmosphériques et renseignent sur la structure des objets. L'analyse des images radars est plus complexe (figure 16). Ils peuvent renseigner sur les températures à la surface des mers ou au sol, sur la direction et la surface du vent à la surface des mers, sur les vagues, sur les précipitations ou encore sur les composants de l'atmosphère (eau, CO₂, NO_x, ozone). L'avantage majeur des radars est qu'ils permettent une vision complète de la Terre, jour et nuit, quelle que soit la saison et garantissent un suivi régulier pour des études temporelles. La plupart des satellites embarquent désormais un capteur radar.



Source : Spaceborne Imaging Radar- bandes C et X – Synthetic Aperture Radar NASA

Cette image radar représente une partie de la province de Loei (50 km sur 38) et sépare nettement les zones boisées. Les forêts apparaissent en vert alors que les terres cultivées et le bâti sont entre le bleu et le rouge. Nous pouvons nettement distinguer le relief particulier de ce petit plateau perché, érodé à l'est, qui constitue le Parc national de Phu Kradung, l'un des sites de randonnée privilégiés des thaïlandais.

Figure 16 : Image radar de Phu Kradung dans le nord-est de la Thaïlande (03/10/1994)

Par ailleurs, les images de télédétection présentent plusieurs distorsions géométriques, inhérentes au système de capture (toujours en mouvement, à une vitesse et altitude variables), à la surface observée et au relief changeant. Ces distorsions doivent être prises en compte dans le traitement des données.

2.1.4.3. Sondes et satellites : les données disponibles et pertinentes

Les premiers et principaux programmes d'observation Landsat et NOAA, dès les années 70 aux Etats-Unis, puis SPOT au début des années 90 en Europe se poursuivent avec le lancement régulier de nouveaux satellites aux capteurs de plus en plus performants. Beaucoup de pays développés ou émergents ont depuis mis en orbite leurs propres satellites : le Japon, la Chine, la Russie, Israël, l'Inde et, en 2007, la Thaïlande (Annexe 7). Ainsi, l'offre d'images satellitaires ne cesse d'augmenter et devient plus abordable. Les capteurs embarqués les plus récents offrent logiquement les meilleures résolutions : les satellites Ikonos, Quickbird ou EROS proposent une résolution spatiale de moins d'un mètre. La résolution spectrale gagne aussi en précision avec des mesures dans des portions très fines du spectre électromagnétique pour une signature plus spécifique des objets. Chaque satellite embarque plusieurs capteurs collectant des images dans différentes parties du spectre électromagnétique. Cette diversité de systèmes véhicule-capteurs permet une grande variété d'applications (tableau 22).

Tableau 22 : Spectre électromagnétique, capteurs correspondants et applications à la télédétection :

Spectre	Longueurs d'onde	Satellite - capteur	Applications
Ultraviolets	290-400 nm	Scanneur UV	Mesure de l'ozone
Bleu	400- nm	Landsat TM	Hydrographie et types de végétation
Visible	Vert	Landsat MSS, TM ; SPOT XS	Types et état de végétation
		Landsat MSS, TM ; NOAA AVHRR ; SPOT XS	Absorption de la chlorophylle, différenciation des couverts végétaux
rouge	700 nm	Landsat MSS, TM ; NOAA AVHRR ; SPOT XS	Types et densité de végétation, absorption de l'eau, humidité du sol
Proche infrarouge	800-1500 nm	Landsat MSS, TM ; NOAA AVHRR ; SPOT XS	Analyse de l'humidité de la végétation, du sol
Moyen infrarouge	1,5 – 5 μ m	Landsat TM	Analyse de l'état de la végétation, de l'humidité du sol
Infrarouge thermique	6 – 14 μ m	Radiomètres infrarouge : Landsat TM ; NOAA AVHRR	SST*, température à la surface des nuages, couvert végétal
Hyperfréquences	0,75 – 136 cm	Radars, radiomètres	

* SST = Sea-Surface Temperature (température à la surface des océans)

Avec un tel choix, il conviendrait de sélectionner les images les mieux adaptées à la problématique de recherche. Une étude à petite échelle doit se contenter d'images à faible résolution spatiale mais avec une large couverture au sol : les images NOAA (résolution spatiale de 1,1 km) sont souvent choisies dans ce cas. Si l'on travaille sur une province entière, les images Landsat (30 m), Terra ASTER (15 m ; figure 17), ou SPOT (5-10 m) conviennent bien. Si l'étude est à très grande échelle, par exemple sur quelques parcelles ou un village, il faut alors acquérir les images ayant la meilleure résolution spatiale telles celles transmises par SPOT 5 (5 m) ou Ikonos (1 m).

Par ailleurs, une étude, nécessitant une analyse d'images régulière dans le temps, requiert une haute résolution temporelle pour avoir des images d'une même zone à intervalles courts. Globalement, les résolutions spatiales et temporelles sont inversement corrélées.



Source : TERRA EOS AM-1 ASTER, Herbreteau et al., ANYAS, 2006

Cette image est traitée en fausses couleurs pour faire ressortir le couvert végétal en rouge et faciliter l'analyse.

Figure 17 : Image ASTER de la province de Phrae, le 7 mars 2003

2.1.4.4. Extraction des données spatiales d'intérêt en épidémiologie

Les analyses de télédétection ne sont pas une finalité en soi mais une simple étape dans le processus d'analyse spatiale. Il est important de connaître le potentiel de la télédétection pour y faire appel en tant qu'outil d'aide à l'analyse. La télédétection doit répondre à un besoin et non conditionner ce besoin. Ainsi, le choix d'une image et d'un traitement devrait se faire en fonction de la problématique et non en fonction de leur disponibilité. La définition de la télédétection s'oriente autour du mot « observation ». En effet, elle s'appuie sur l'image figée à une date donnée d'une surface de la Terre. Tout objet, situé entre le satellite et la surface de la Terre, masque cette surface. C'est le cas des nuages pour les satellites optiques. De même, cette image ne donne pas connaissance du sous-sol. L'essentiel des analyses portent donc sur la description (nature, structure, texture) de cette surface : cela peut être l'étude du couvert végétal grâce aux indices de végétation ou une interprétation de l'occupation des sols. D'autres observations sont possibles avec, en particulier, les capteurs radars qui permettent de délimiter les surfaces en eau par exemple ou d'avoir connaissance de facteurs climatiques.

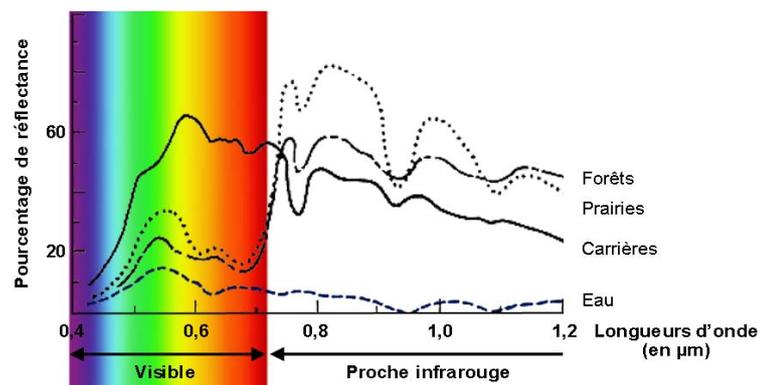
- **Etude de couvert végétal par les indices de végétation**

L'estimation du couvert végétal est l'utilisation la plus courante de la télédétection et intéresse divers domaines scientifiques. Les matrices numériques des données de télédétection s'offrent à un grand nombre de calculs permettant d'analyser les images. Ces calculs appliqués aux valeurs d'un même pixel dans différentes bandes permettent de les comparer entre eux. Il en ressort une nouvelle matrice qui se traduit comme une couche d'information ou image et met en valeur une variabilité spatiale des propriétés de réflectance qui ne serait pas observable dans chacune des bandes. Ces indices permettent d'automatiser des analyses spatio-temporelles. Parmi eux, les indices de végétation décrivent la variabilité spatiale des couverts végétaux et leur évolution s'ils sont calculés à plusieurs dates. Les valeurs de ces indices fluctuent selon l'intensité photosynthétique ou l'intensité de la biomasse et donc selon la densité du couvert.

La formule mathématique de ces indices s'appuie sur les propriétés de réflectance des végétaux. Dans le domaine du visible, leur réflectance est globalement faible : les pigments de chlorophylle absorbent fortement les radiations comprises dans les longueurs d'ondes bleues et rouges (autour de 450 nm et 670 nm), alors qu'ils réfléchissent les longueurs d'ondes vertes, d'où la couleur visible des végétaux. Les variations saisonnières de couleurs sont liées à celles de la teneur en chlorophylle. En climat tempéré, les couleurs rouges de l'automne correspondent à une diminution de l'activité photosynthétique, moins d'absorption des longueurs d'ondes vertes et une relative réflexion plus importante des rouges, qui donne cette teinte jaune, composée du rouge et du vert.

La réflectance des végétaux est très forte dans le proche infrarouge, où elle a généralement des valeurs supérieures à celle des autres objets, en particulier les sols ou l'eau (figure 18). Cette partie du spectre est donc très utile en télédétection pour une étude des couverts végétaux. Dans l'infrarouge moyen, elle est moins élevée et varie selon des paramètres secondaires, en particulier les facteurs physiologiques : plus la teneur en eau est forte et plus la réflectance sera faible.

La réflectance de l'eau pure est assez forte dans la partie bleue du spectre du visible, et diminue avec les longueurs d'onde plus grandes pour devenir faible dans les infrarouges. Ceci lui confère sa couleur bleue pouvant tendre vers le vert. La présence d'éléments, en particulier végétaux, dans



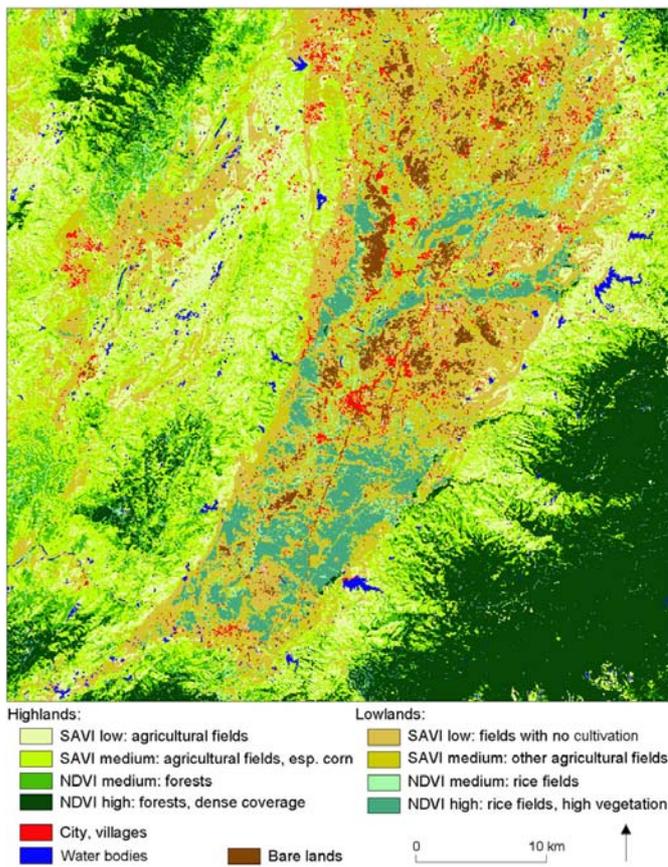
Source : Herbreteau V.

Figure 18 : Réflectance de la végétation, de l'eau et des minéraux dans les domaines du visible et du proche infrarouge

l'eau augmente cette réflectance. Ainsi la végétation et l'eau peuvent avoir des comportements spectraux très proches dans le visible mais seront très bien différenciés dès le proche infrarouge. La réflectance des sols augmente du visible vers le proche infrarouge, où elle est la plus importante, et diminue fortement dans le moyen infrarouge.

Le choix de la zone spectrale à analyser dépend donc d'une bonne connaissance du comportement des objets par rapport à l'énergie électromagnétique et des facteurs biologiques qui influencent leur réponse.

Il existe un grand nombre d'indices de végétation, décrits dans la littérature (Herbreteau et al., 2005). Leurs formules mathématiques leur confèrent des propriétés spécifiques les rendant mieux adaptés à certains types de couvert. L'indice de végétation le plus simple est l'indice de différence, DVI (Difference Vegetation Index) qui calcule la différence entre la valeur de réflectance dans le proche infrarouge et celle dans le rouge (Annexe 8). De manière plus élaborée, l'indice de végétation normalisé, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), fait le rapport de cette différence sur la somme des valeurs dans le proche infrarouge et le rouge. Il est ainsi borné avec des valeurs s'étalant entre -1 et +1. Comme la plupart de ces indices, il est sensible aux perturbations de l'atmosphère. Le NDVI est l'indice le plus couramment employé et pourtant il n'est pas adapté à toutes les utilisations. Ainsi, il est discriminant pour un couvert végétal dense et pas dans le cas d'un couvert épars.



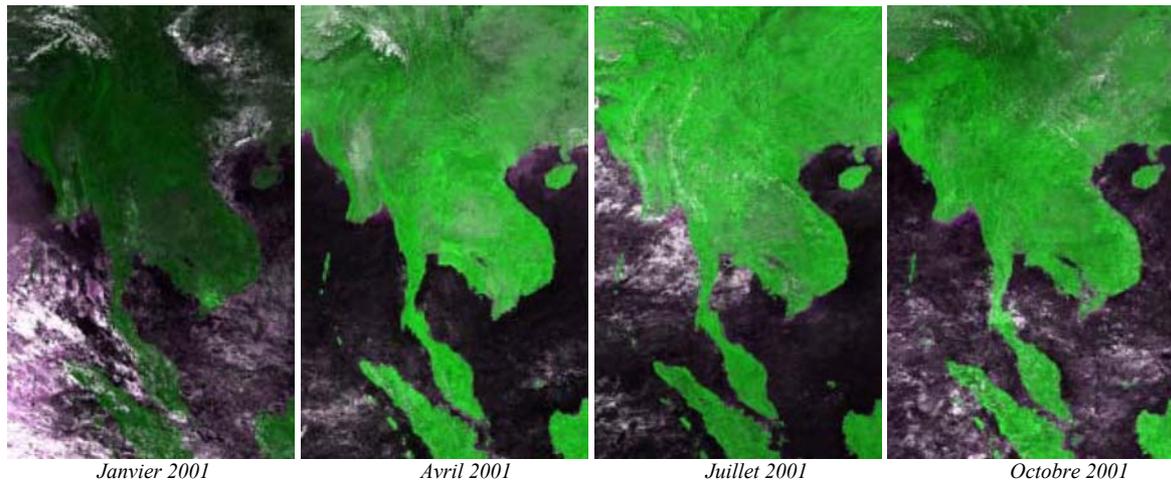
Source : classification et indices de végétation sur une image TERRA EOS AM-1 ASTER, Herbreteau et al., Int. J. Geoinf., 2006

Figure 19 : Classification de l'image ASTER de Phrae en utilisant les indices de végétation NDVI et SAVI

Appliqué sur l'image ASTER de la province de Phrae (figure 19), il permet de distinguer des différences de densités dans les forêts de la partie montagneuse (à gauche et en bas à droite de l'image) et au sein des rizières où le riz est haut, mais échoue sur la possibilité de distinguer les espaces où il y a peu de végétation (la diagonale plus claire de l'image) : par exemple, une rizière sans culture et une rizière, où le riz est juste replanté, donneront des valeurs de NDVI proches. Dans ce cas, nous avons trouvé pertinent l'utilisation de l'indice de végétation ajusté au sol, le SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), qui, en intégrant un facteur de correction dans la formule du NDVI, permet de diminuer l'effet du sol (Herbreteau et al., 2006). Il est possible de jouer sur ce facteur selon les situations. Lorsqu'il prend la valeur nulle, le SAVI est équivalent au NDVI. Ainsi, nous avons pu classer cette image en combinant SAVI et NDVI et faire la différence entre différents stades de culture de riz et différents types de culture sur piémont, ces distinctions étant pertinentes pour la présence de ravageurs, tels *Bandicota indica* et *Bandicota savilei*.

Le calcul de ces indices se fait facilement sur les images satellitaires. Leur automatisation sur des images à basse résolution spatiale et haute résolution temporelle offre des valeurs d'indices régulières dans le temps ce qui permet de suivre des dynamiques de végétation. Ainsi, les images

NOAA AVHRR (résolution de 1,1 km) permettent de réaliser hebdomadairement des cartes globales de végétation, couvrant le monde, depuis 1982 (figure 20).



Source : Asian Institute of Technology, Bangkok

Figure 20 : Indice de végétation normalisé (NDVI), calculé sur 30 jours pour l'Asie du sud-est, à partir d'images NOAA/AVHRR

Cette figure permet de visualiser la saison sèche et fraîche, en janvier, la saison chaude en avril avec un couvert végétal dense et vigoureux puis la saison des pluies entre juillet et octobre avec beaucoup de terres inondées pour la production agricole.

Après calcul de ces indices, l'interprétation de la nature des classes de valeurs se fait par la connaissance du terrain. Différentes occupations du sol sont affectées aux classes de valeurs. Il est important de ne pas croire que la télédétection est un moyen de s'affranchir du travail de terrain. D'autres méthodes d'analyse permettent d'interpréter l'occupation du sol.

- **Etude de l'occupation du sol par des classifications**

Une classification consiste à regrouper ensemble les objets ayant une signature spectrale proche dans les différentes bandes de l'image satellite. Cette classification peut être supervisée ou non-supervisée selon la méthode employée.

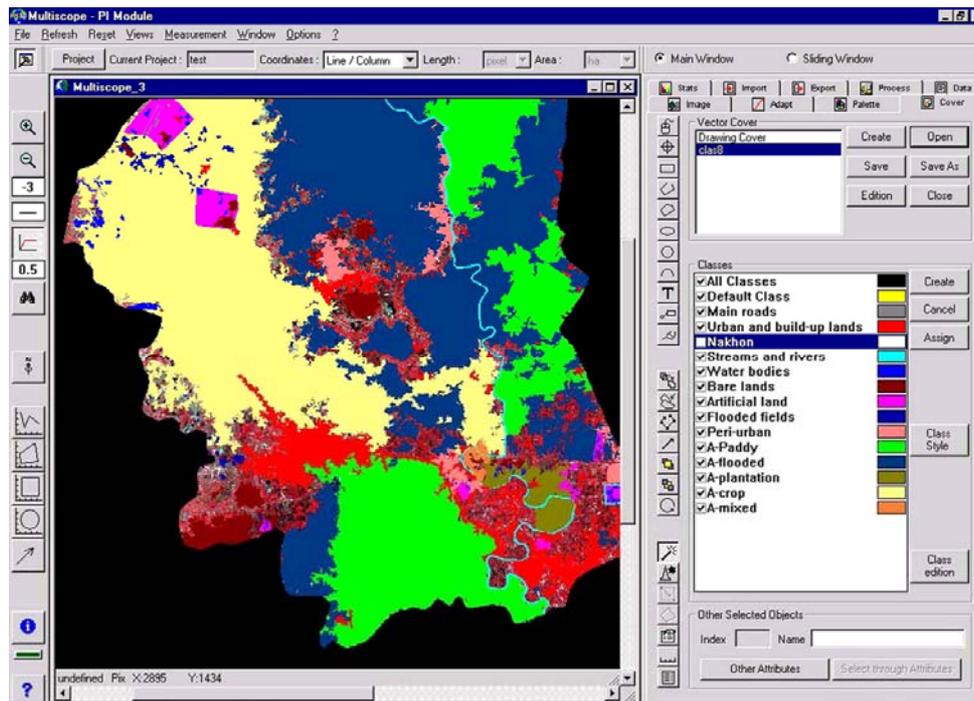
Pour une classification non-supervisée, le logiciel de télédétection analyse, dans chacune des bandes, l'ensemble de l'image et regroupe les pixels par groupes, dont le nombre est souvent proposé par l'utilisateur. Une telle méthode est automatisée et rapide. En revanche, les résultats doivent être affinés car les classes obtenues ne correspondent généralement pas à des classes naturelles de l'occupation des sols. L'utilisateur peut alors jouer sur les paramètres de classification pour obtenir des classes plus représentatives de la réalité du terrain.

Pour une classification supervisée, l'utilisateur définit au préalable des zones caractéristiques de chaque occupation qu'il peut identifier sur l'image. Le logiciel analyse ces zones, dites d'entraînement, et détermine leurs seuils minimum et maximum des valeurs dans chaque bande. Cela permet de caractériser numériquement chaque classe et de classifier automatiquement le reste de l'image. Une telle classification nécessite un processus d'observation et une part de subjectivité. Les classes observables ne sont pas nécessairement celles désirées pour la classification finale. Ainsi, différents stades de culture de riz auront des signatures spectrales très distinctes pourront être au final classés ensemble en rizières.

Il existe d'autres méthodes de classification, basées sur l'analyse mathématique des matrices de valeurs que représente une image.

Lorsque l'image est classifiée, chaque pixel est attribué à une classe mais une zone devant appartenir à une seule classe peut présenter des pixels « parasites » n'ayant pas la bonne attribution. Par exemple, une mare au milieu d'un champ risque de se retrouver dans la classe « rivière » ou « lac ». Il existe des d'autres méthodes basées sur la photo-interprétation pour obtenir

des ensembles homogènes. Elles font moins place aux automatismes des algorithmes et se révèlent fastidieuses (figure 21).



Source : Herbreteau et al., Nat. Hist. J. C.U., 2005

Ici, nous avons défini treize classes observables sur l'image. A partir d'une zone d'entraînement, le logiciel propose des espaces homogènes attribuables à une même classe. La finesse des classes est définie au fur et à mesure de l'analyse.

Figure 21 : Réalisation d'une classification dirigée par photo-interprétation à partir du logiciel de télédétection Multiscope, sur une image Landsat V TM de la province de Nakhon Pathom

Quelle que soit la méthode employée, l'utilisateur peut enfin interpréter les différentes classes de l'image en terme d'occupation des sols, selon les besoins de l'étude. Par exemple, si le stade de végétation d'une rizière n'est pas important, on pourra garder la classe rizière ou bien même regrouper dans espace agricole. En revanche, si l'on souhaite connaître l'humidité des espaces, il sera alors important de distinguer une rizière inondée d'une rizière avant récolte.

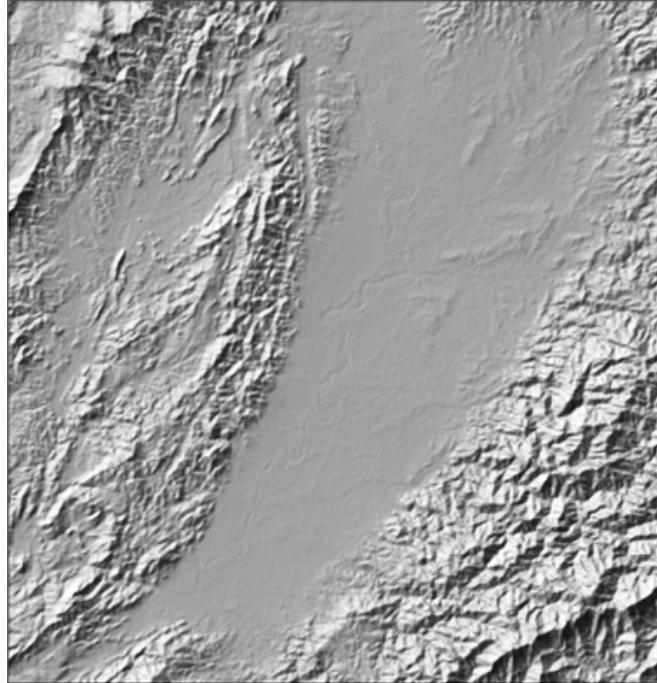
Les classifications réalisées mélangent souvent couvert végétal et occupation des sols et soulèvent un problème général de choix des classes. Le projet européen CORINE est un bon exemple d'utilisation des techniques de télédétection pour la description du couvert végétal au sein de la Communauté européenne (CEC, 1994), mais sa réalisation a dû surmonter une difficile harmonisation des classifications propres à chaque pays.

- **Etude de l'hydrographie et des inondations grâce à l'imagerie radar**

L'imagerie radar a offert de nouvelles possibilités pour les études hydrologiques. Elle permet de cartographier la présence d'eau, de glace ou de neige et d'en suivre la dynamique. Les images étant exploitables le jour, la nuit et quelles que soient les conditions météorologiques, elles sont disponibles pour suivre l'évolution de phénomènes rapides telles que sont les inondations ou tout autre accident lié à l'eau. D'autres applications sont possibles : l'évaluation de l'humidité du sol, la détection des surfaces de neige et de leur épaisseur, la surveillance des glaciers.

Les systèmes radar peuvent mesurer l'altitude au sol pour l'élaboration de modèles numériques de terrain (MNT).

Un excellent modèle est le SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), réalisé en février 2000, par la navette spatiale Endeavour. Ce MNT d'une résolution spatiale de 90 mètres couvre le globe et est surtout disponible gratuitement. A l'échelle d'un pays comme la Thaïlande, il offre une excellente résolution spatiale. En revanche, à l'échelle d'un district, il s'avère limité. Nous avons intégré le SRTM au SIG pour délimiter le bassin versant de la zone d'étude de Phrae (figure 22) mais aussi pour calculer les pentes et délimiter les surfaces inondables. En complément des calculs des indices de végétation sur la province de Phrae, le SRTM a permis de différencier les rizières, sans relief, des forêts de montagne dont les valeurs de NDVI étaient les mêmes (Herbretau et al., 2006). Des valeurs de NDVI élevées sur la partie centrale, à pentes faibles, correspondent aux rizières dont le riz est presque à maturité. Ces mêmes valeurs sur un relief accidenté délimitent les forêts d'altitude.



Source : MNT 90 m, SRTM mission, NASA, Herbretau et al., ANYAS 2006

Pour visualiser l'altitude, à partir d'un MNT, un ensoleillement latéral est simulé pour faire apparaître les ombres du relief.

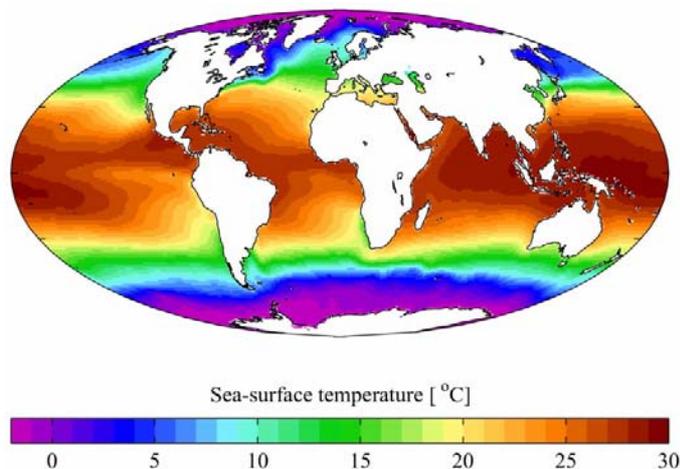
Figure 22 : MNT de la province de Phrae

De telles analyses nécessitent une étude combinée des différentes informations de télédétection.

- **Etude du climat, températures et pluies, grâce aux satellites météorologiques**

La température des objets joue sur leurs émissions électromagnétiques. Ainsi, en captant ces radiations, les satellites permettent de connaître, par la loi du corps noir, les températures de surface de la mer ou de la terre (en anglais SST : Sea Surface Temperature ou LST : Land Surface Temperature).

Les satellites météorologiques enregistrent l'émission infrarouge des premiers millimètres de la surface de la mer (figure 23). Une mesure à 0,5 °C près est aujourd'hui possible à une échelle globale, et à 0,3 °C près, à une échelle régionale. Ces données ont révolutionné la climatologie, en apportant des mesures régulières dans le temps sur l'ensemble du globe, ce qui n'était pas possible avec les techniques antérieures. En effet, la température de la mer est déterminante dans les échanges d'énergie avec l'atmosphère terrestre. Ces mesures sont fondamentales dans la connaissance du phénomène El Niño ou la prévision des ouragans.



Source : World Ocean Atlas 2001, National Oceanographic Data Center

Figure 23 : Température à la surface de la mer, calculée grâce au satellite NOAA

A long terme, elles permettent d'évaluer l'ampleur des changements climatiques et de possibles liens avec les phénomènes biologiques. Ces mesures du climat informent sur la dynamique des populations animales et des populations de vecteurs dans le domaine de la santé.

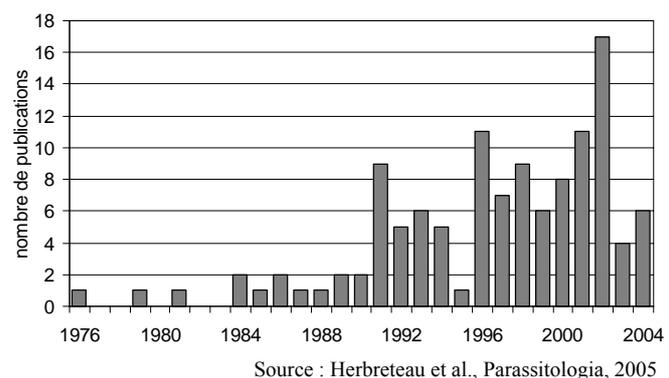
Les résultats d'analyses de télédétection sont généralement intégrés aux bases d'information spatialisée pour être confrontés aux autres données disponibles et permettre des traitements ultérieurs. Les traitements de télédétection se font généralement grâce à des logiciels dédiés ce qui nécessite un export des résultats pour une intégration dans le SIG. Ces données sous forme matricielle (raster) peuvent alors être converties sous forme vectorielle à moins de mener les analyses spatiales sur la base d'une grille. Le plus souvent, on utilise la télédétection pour classifier des images sous la forme d'une grille que l'on vectorise selon les valeurs des classes dans le SIG. Ces passages d'un logiciel à un autre sont sources de difficultés dans l'uniformisation des données, relativement, à la projection, à l'échelle ou au calage géographique. La tendance est désormais à l'intégration des possibilités des logiciels de télédétection au sein même des SIG pour simplifier et accélérer ces étapes. Cela devrait sans doute aider à ne plus considérer la télédétection comme une fin en soi mais une étape dans le processus de l'analyse spatiale.

2.1.4.5. Place de la télédétection en santé, potentiel et limites

Les techniques de la télédétection sont de plus en plus utilisées dans le domaine de la santé, et en particulier dans l'étude des maladies transmissibles. Les possibilités d'application de ces outils sont multiples et fort prometteuses, comme en atteste un grand nombre d'articles descriptifs (Cline, 1970; Jovanovic, 1987; Epstein, 1998; Curran et al., 2000; Beck et al., 2000; Wood et al., 2000; Huh and Malone, 2001; Graham et al., 2004a).

Afin de comprendre quel a été le réel usage de la télédétection en santé, nous avons décrypté la littérature en identifiant les articles parmi les journaux spécialisés de santé ou d'analyse spatiale ainsi que sur les moteurs de recherche pubmed[®].com, google[®].com et yahoo[®].com (Herbreteau et al., 2005). Nous avons recensé un total de 187 articles dont environ un tiers (68) sont des revues des techniques et 119 des résultats de recherche ayant analysé des images de télédétection pour une problématique de santé humaine.

Le détail de ces publications se trouve dans l'annexe 9. Leur nombre suit une croissance annuelle forte depuis la première en 1976 (graphique 35). Nous avons examiné ces 119 papiers pour comprendre quel est le réel usage de ces techniques et quelles en sont les difficultés cachées (tableau 23).



Graphique 35 : Nombre de publications répertoriées traitant de recherches sur des problèmes de santé humaine, utilisant la télédétection

Tableau 23 : Recensement des publications décrivant une étude épidémiologique utilisant la télédétection

Caractéristiques des publications	Effectifs
Nombre de publications (extraites de 48 journaux, 1 livre et 2 proceedings)	119
Nombre de premiers auteurs différents	68 (57% du total)
Nombre de recherches différentes	86
Nombre total d'auteurs	556
Nombre total d'auteurs différents	356 (64% du total)
Nombre moyen d'auteurs par publication	4,7

Source : Herbreteau et al., Parasitologia, 2005

Près d'un quart sont une reformulation d'une recherche déjà publiée sans apport scientifique : 86 sur 119 décrivent des travaux différents. L'utilisation de la télédétection en santé est encore considérée comme une approche originale valorisable par publication. Les équipes de recherche utilisant ces techniques s'identifient facilement dans l'ensemble de ces papiers, avec seulement 64% d'auteurs différents parmi le total des premiers auteurs et co-auteurs. La télédétection demeure un domaine réservé qui semble repousser les utilisateurs potentiels non avertis.

La télédétection est essentiellement appliquée à l'étude des parasitoses (59% des recherches), suivie des bactérioses (12%) et des viroses (12%) (tableau 24).

Tableau 24 : Type de pathocénoses associées aux recherches utilisant la télédétection

Type de pathocénose (nombre total de recherches)	Pathocénose	Nombre de recherches
Bactérioses (10)	Choléra	1
	Maladie de Lyme	6
	Peste	1
	Mycoses : Paracoccidioïdomycose	1
	Rickettsioses : Fièvre Q	1
Viroses (10)	Encéphalite de Saint-Louis	1
	Dengue	1
	Ebola	1
	Fièvre de la vallée du Rift	5
	Hantaviroses	2
Parasitoses (51)	Dracunculose	2
	Echinococcose	1
	Fasciolose	2
	Filariose	4
	Leishmaniose	5
	Malaria	14
	Schistosomiase	14
	Trypanosomiase	9
Etude des vecteurs (12)	Moustiques	6
	Tiques	6
Etude des pathogènes (2)	Nématodes - trématodes	2
Maladies non infectieuses (1)	Exposition aux pesticides et risques	1

L'essentiel de ces recherches concernent les maladies transmissibles et beaucoup se contentent de caractériser les vecteurs de la transmission. Nous n'avons trouvé qu'une seule étude d'un risque environnemental : l'exposition aux pesticides (Ward et al., 2000). Seules deux recherches se limitent aux agents pathogènes, nématodes et trématodes, dont la prévalence est mise en relation à des variables climatiques à basse résolution spatiale (Brooker et al., 2000 et 2003 ; Beasley et al., 2002 ; Brooker et al., 2002). Enfin 12 publications (14%) étudient les vecteurs, moustiques ou tiques.

Parmi l'ensemble des études de maladies transmissibles ou de leurs vecteurs, 84% concernent les arthropodes, avec essentiellement les moustiques, les mouches et les phlébotomes (tableau 25).

Tableau 25 : Embranchement et ordres des vecteurs étudiés (parmi les 58 recherches se basant sur une analyse des vecteurs)

Type de vecteur (nombre total de recherches)	Vecteur	Nombre de recherches
Arthropodes (49)	Insectes/Diptères/Criquets	1
	Mouches	10
	Moustiques	21
	Phlébotomes	4
	Arachnides/Acariens/Tiques	11
	Crustacés	2
Mollusques (7)		7
Mammifères (2)	Rongeurs	2

Seules deux recherches sur 58 (3%) sont appliquées aux mammifères : les rongeurs vecteurs d'hantavirose. Aucune autre recherche n'a été appliquée aux principales zoonoses transmises par les rongeurs que sont la leptospirose et certaines rickettsioses. L'embranchement des arthropodes est de très loin le plus important du règne animal par le nombre d'espèces et, par conséquent, très représenté parmi les vecteurs de maladies. Ces chiffres en sont sans doute le reflet mais montrent aussi que peu de travaux portent sur les mammifères, en tant que vecteurs de zoonoses.

Alors que l'offre d'images de télédétection est grande, ces études reposent sur un nombre restreint de sources. 40% des images (43/107) sont issues du capteur NOAA-AVHRR (résolution spatiale de 1,1 km de résolution spatiale) et un tiers (35/107) du capteur LANDSAT TM et MSS (résolution spatiale supérieure à 30 m). Une étude en Inde a acquis deux images du capteur indien IRS-LISS-II (résolution spatiale de 36 m) pour classifier l'occupation des sols (Sharma et al., 1996 et 1997). Ainsi, les trois quarts des images utilisées sont à basse ou moyenne résolution spatiale. Seules neuf images sont à plus haute résolution spatiale, toutes issues du satellite SPOT, une du capteur Vegetation à 1 km (Elnaïem et al., 2003) et les autres du capteur XS à 20 mètres de résolution spatiale (Rejmankova et al., 1995; Roberts et al., 1996; Thomas and Lindsay, 2000; Tran et al., 2002). La haute résolution a un coût : les images SPOT sont les plus chères de l'ensemble des images acquises par ces recherches. Les prix sont encore plus élevés pour les très hautes résolutions spatiales (inférieures à 10 mètres), ce qui explique sans doute qu'aucune étude n'a acquis de telles images. Le programme LANDSAT étant parmi le plus ancien des programmes d'observation, l'offre couvre les principales régions sur plusieurs années. Les chercheurs peuvent avoir accès, par collaboration, à des images gratuites déjà utilisées par d'autres projets. Une alternative pour une haute résolution à faible coût est possible grâce aux photographies aériennes, disponibles dans beaucoup de pays. Elles ne permettent pas des traitements évolués, limitant l'analyse à la photo-interprétation des paysages, ce qui convient à une majorité d'études. Seules 8 photographies ont été utilisées dans l'ensemble de ces recherches.

La plupart des études mentionnant l'utilisation des images NOAA ont simplement acquis les calculs de l'indice de végétation NDVI qui en sont dérivés. Le NDVI est disponible gratuitement sur Internet pour beaucoup de régions et constitue une source d'information spatialisée sur le couvert végétal facilement accessible. L'utilisation de ces données ne nécessite pas d'analyse d'images, ce qui explique aussi leur succès : la moitié des études (49%) ont utilisé le NDVI. Seules deux recherches ont calculé un indice de végétation différent. En 2002, Zhou *et al.* ont utilisé le NDVI transformé pour déterminer les habitats potentiels de gastéropodes, vecteurs de schistosomiasis. En 1992, Hugh-Jones *et al.* ont calculé un indice de végétation perpendiculaire (PVI) qui a permis de corréliser la densification des populations de tiques (*Amblyomma variegatum*) avec l'augmentation de l'hétérogénéité du couvert végétal (mesuré par les différences de réflectance dans le rouge et le proche infrarouge). 27% des recherches ont réalisé des calculs sur les données climatiques issues de la télédétection (températures à la surface du sol ou de l'océan : LST et SST ; différences de températures (diurnal Temperature Difference, dT)). De même que pour le NDVI, ces données sont mises à la disposition des chercheurs et ainsi de plus en plus utilisées. Au total, 42% des études n'ont pas utilisé de variables environnementales issues de la télédétection.

Les résultats de cette revue bibliographique montrent le grand frein à l'usage de la télédétection qui demeure dans le coût des données. L'usage généralisé d'images gratuites ou peu coûteuses prouve que leur choix, dans les différentes résolutions envisageables, ne se fait pas en fonction de la problématique de recherche mais selon leur disponibilité. L'approche est alors d'analyser ce que peuvent apporter ces images à la recherche, l'usage de la télédétection étant perçue comme une fin et un affichage valorisant pour un projet. Au contraire, le recours à la télédétection ne devrait se faire qu'en fonction des besoins de l'étude, qui conditionnent l'échelle spatiale et temporelle ou encore le type d'analyse.

2.1.4.6. La télédétection, un outil puissant mais dangereux

Les outils de l'analyse spatiale permettent des calculs rapides et puissants, d'où la tentation de multiplier les essais en s'affranchissant de la réalité du terrain.

- **L'utilisation de la télédétection n'est pas un substitut au travail de terrain :**

Le danger vient de l'objet même de la télédétection qui est une observation à distance. Une interprétation hâtive conclut que c'est le moyen de s'affranchir du terrain alors que la télédétection doit venir compléter un travail de fond fait sur le terrain, où sont identifiés les indicateurs qui seront recherchés dans l'analyse d'images.



Source : Townsend Peterson et al., Emerg. Infec. Dis., 2004

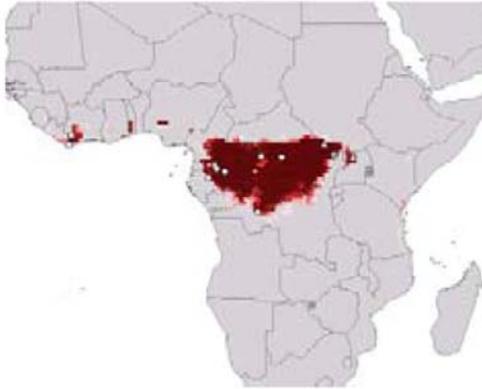
Ce modèle se base sur les caractéristiques écologiques des cas de fièvres hémorragiques dues aux Filovirus en Afrique. Les tonalités les plus foncées représentent une meilleure prédiction de la présence potentielle.

Carte 10 : Projection des modèles de niches écologiques des Filovirus en Asie du sud-est pour évaluer les foyers potentiels

Townsend Peterson *et al.* (2004) ont pu caractériser les niches écologiques des foyers du virus Ebola et du virus Marburg, cités dans la littérature, en utilisant des données gratuites à faible résolution spatiale ainsi que le logiciel gratuit Genetic Algorithm for Rule-set Prediction (GARP), le tout disponible sur Internet. Ils ont localisé les cas humains d'après la littérature, en estimant leurs coordonnées géographiques lorsqu'elles n'étaient pas données. Ils déclarent utiliser onze couches d'information : six caractérisant « la couverture des sols » et cinq le climat. Les six données physiques, l'altitude, la pente, l'exposition, la direction des flux, l'accumulation des flux, la tendance à former des réserves d'eau, sont toutes issues d'une unique couche d'information, communément appelé le modèle numérique de terrain (MNT, ici : USGS Hydro-1K) qui donne les valeurs d'altitude sur une grille dont la résolution est de un kilomètre. Par exemple, la pente est obtenue en calculant la différence d'altitude entre deux pixels séparés de un kilomètre. Les données climatiques sont celles de température et de précipitations et sont à une résolution de 50 kilomètres, qui masque tout éventuel microclimat. Le décompte de la base de données donne donc trois couches d'information : le MNT, les précipitations et les températures.

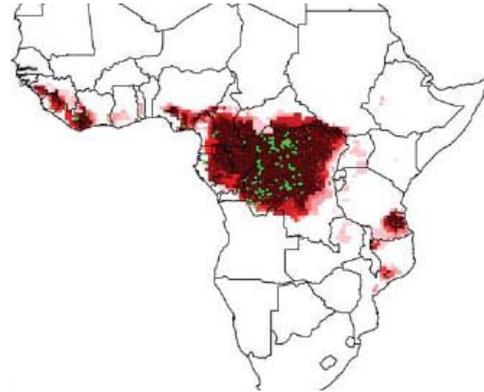
Ils ont pu extrapoler les caractéristiques de trois niches à d'autres régions pour finalement identifier les régions appropriées aux épidémies de ces deux virus. En conclusion, la frontière entre la Thaïlande et la Birmanie est désignée comme une zone à risque d'infection par la fièvre Ebola, sans question sur les différences entre communautés animales où entre les relations de l'Homme à la nature (carte 10). Une telle étude ne nécessite qu'un ordinateur et une connexion internet.

En 2007, Levine, Peterson *et al.* ont reproduit dans PLoS ce modèle à l'étude du virus monkeypox (carte 12). Les données et méthodes sont les mêmes et les résultats tout aussi convaincants avec des cartes de prédiction très proches (cartes 11 et 12).



Source : Levine, Peterson *et al.* PLoS, 2007

Carte 11 : Projection des niches écologiques basée sur la connaissance des cas de virus Ebola



Source : Townsend Peterson *et al.*, Emerg. Infect. Dis., 2004

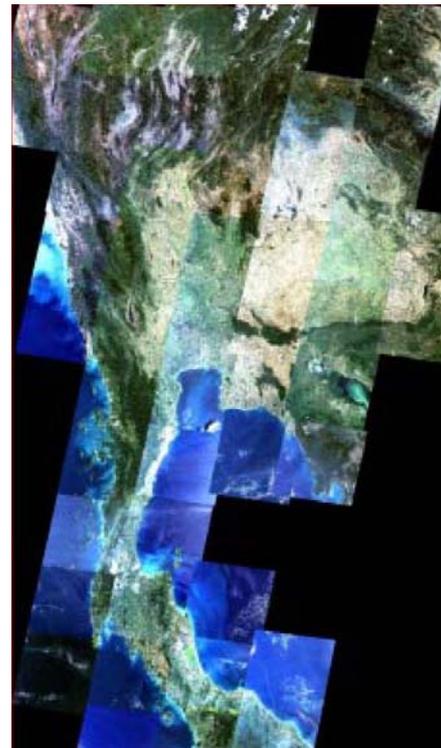
Carte 12 : Prédiction de la distribution des cas de monkeypox basée sur la modélisation des niches écologiques

Ils utilisent la procédure « Jackknife » pour calculer la contribution de chaque paramètre au modèle prédictif et vérifient que les données issues du MNT ont un coefficient semblable. Ces modèles sont reconnus et publiés dans les plus grands journaux.

- **L'interprétation des images de télédétection ne doit pas dépasser ce qu'elles représentent :**

Une image satellitale est un instantané qui devrait être interprété comme un document historique, c'est-à-dire daté. Lorsqu'une étude n'interprète qu'une seule image, il est important d'en remettre la date dans le contexte environnemental : la saison et l'âge de l'image par rapport aux changements environnementaux. Ainsi en Thaïlande, certaines zones du nord ont encore des taux de déforestation élevés qui rendent vite obsolètes les images satellitales. De plus, l'introduction de nouvelles pratiques culturelles, comme ce fut le cas du maïs, peut se faire rapidement et massivement. Les images généralement acquises, datant de quelques années par rapport à la publication, ne montreront pas les changements récents et offrent une vision datée des paysages.

Un autre problème se pose lorsque plusieurs images sont utilisées pour couvrir une zone d'étude (figure 24). Il peut être difficile d'obtenir des images à une même date. A chaque passage, les satellites balayent une aire donnée et, si la zone d'étude en est en dehors, les images doivent être acquises sur plusieurs passages. De plus, les images de télédétection ne sont pas toutes utilisables si la couverture nuageuse est trop importante. Enfin, la pratique montre que beaucoup d'utilisateurs font en fonction des images déjà disponibles dans leur laboratoire ou par collaboration, ce qui amène à juxtaposer des images à des dates éloignées.



Source : Asian Institute of Technology, Bangkok, <http://www.glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml>

Cette mosaïque en couleurs vraies (bandes 3,2,1), utilisée pour décrire le couvert végétal sur le pays, révèle des différences entre images qui peuvent se retrouver sur les résultats de l'analyse par télédétection.

Figure 24 : Mosaïque d'images Landsat 5 et 7 sur l'ensemble de la Thaïlande

2.1.4.7. Description de l'occupation des sols par l'analyse d'images Landsat en 2000

A partir d'une mosaïque d'images Landsat V TM acquises en 2000, le Royal Forest Department a analysé par télédétection l'occupation des sols sur l'ensemble du territoire (carte 13). Nous avons pu obtenir ce travail considérable pour l'usage exclusif de cette recherche sur les rongeurs de Thaïlande.

Cette occupation donne plus de détails pour les différents couverts forestiers que pour les espaces agricoles (tableau 26). Cependant, cette base de données n'a pas d'équivalent en Thaïlande, de part ses qualités de résolution spatiale et d'exhaustivité.

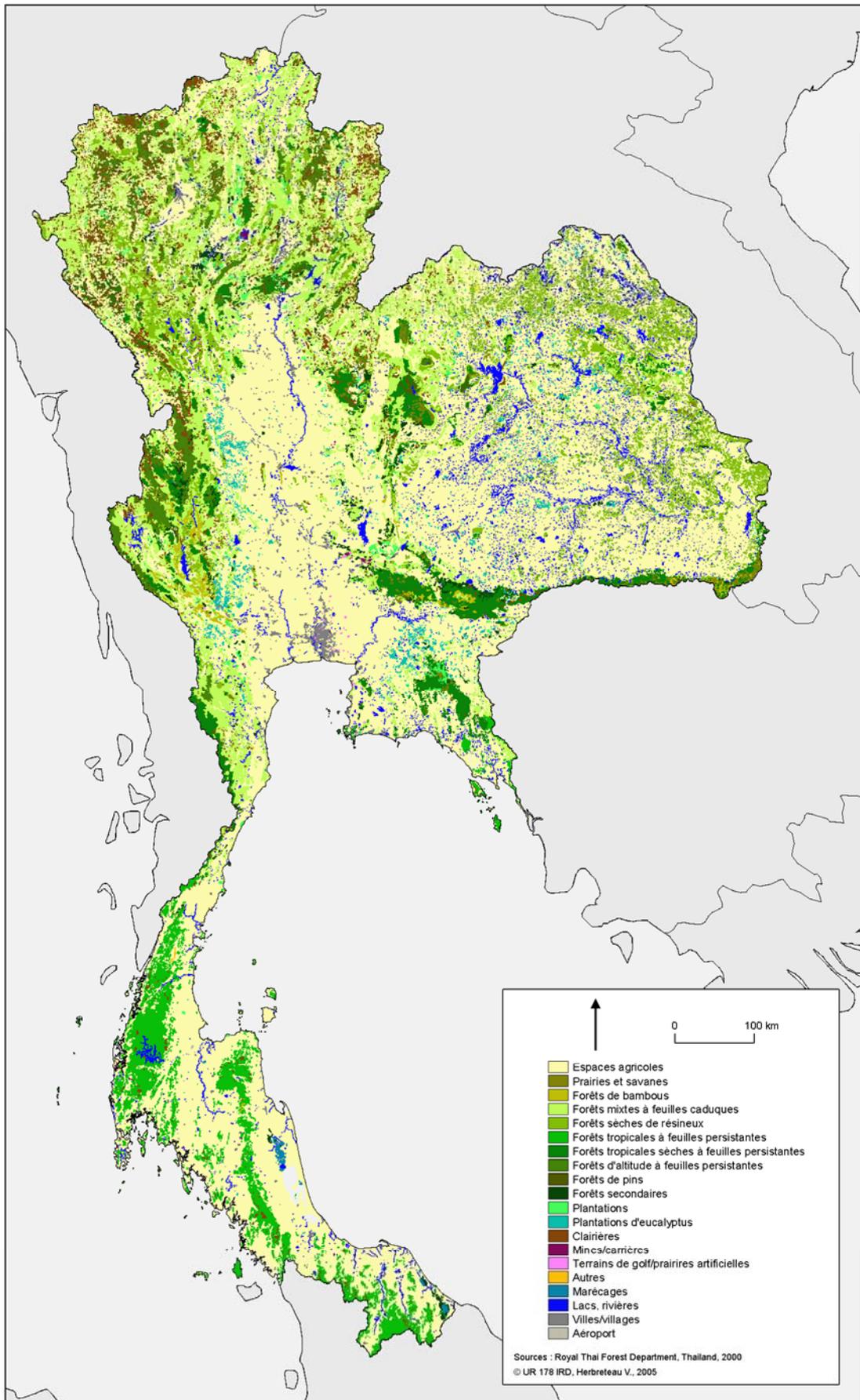
Tableau 26 : Classes d'occupation des sols retenues par le Royal Forest Department thaïlandais pour l'ensemble du pays

Code	Occupation des sols
111	Forêts tropicales, arbres à feuilles persistantes
112	Forêts tropicales sèches, arbres à feuilles persistantes
113	Forêts d'altitude, arbres à feuilles persistantes
114	Forêts de pins
115	Forêts humides
116	Mangroves
117	Forêts inondées
118	Forêts de plage
121	Forêts mixtes, arbres à feuilles caduques
122	Forêts sèches, arbres résineux
123	Forêts de bambous
131	Plantations
133	Plantations d'eucalyptus
140	Forêts secondaires
200	Espaces agricoles
310	Villes / villages
410	Prairies et savanes
500	Lacs, rivières
610	Clairières
700	Autres
710	Terrains de golf / prairies artificielles
720	Aéroports / aérodromes
730	Mines / carrières

Intégrée au SIG « Rongeurs et santé », elle nous a servi de référence à l'étude de la distribution des rongeurs, en affinant les données d'occupation des sols par les autres informations géographiques disponibles. Cette analyse des aires de distribution constitue une première étape de l'estimation des facteurs de risque.

Carte 13 : Occupation des sols en 2000 en Thaïlande

(par télédétection à partir d'une mosaïque d'images Landsat V TM)



2.1.5. Enquête de santé à Phrae

Dans la quête du risque de transmission des zoonoses par les rongeurs, les facteurs d'exposition liés à l'Homme sont les plus difficiles à évaluer. Pourquoi une personne sera infectée par la leptospirose en marchant dans une parcelle inondée alors qu'une autre ne le sera pas ? Pourquoi certains choisissent les structures de soins de proximité alors que d'autres préfèrent des structures plus importantes mais souvent plus éloignées ? Pourquoi ce patient sera diagnostiqué pour une fièvre d'origine inconnue et celui-ci, avec des symptômes similaires, pour une leptospirose ? De nombreuses questions pourraient ainsi être posées montrant à quel point les facteurs d'exposition liés aux hommes sont complexes.

Contexte de l'enquête :

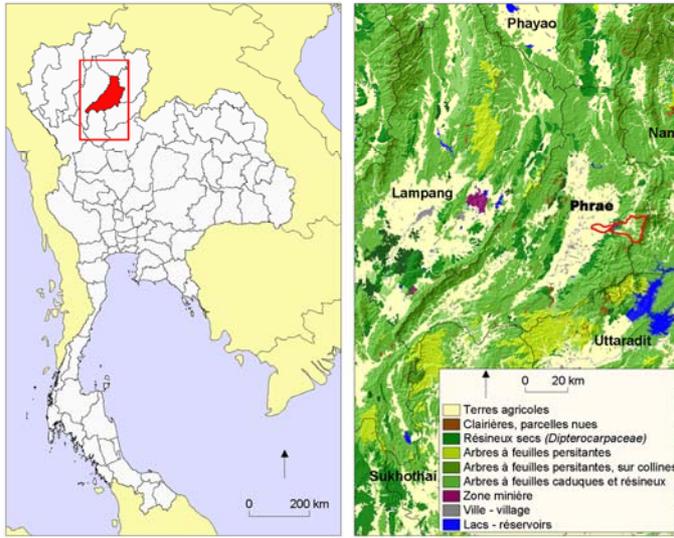
Pour essayer d'apporter des éléments de réponse à ces questions, nous avons pu profiter d'une enquête de santé publique menée dans la province de Phrae, dans le cadre des Actions Thématiques Interdépartementales (ATI) de l'IRD. Le thème de ce projet de recherche était d'étudier les « effets de l'intensification agricole et de la qualité des eaux et des sédiments d'une retenue collinaire sur la santé des populations riveraines dans le nord de la Thaïlande ». Nous avons tout d'abord mis en place un SIG-santé sur la zone d'étude, où l'ensemble des consultations qui ont lieu dans les structures de soins publiques ont été cartographiées par le village du patient. A cette échelle très fine, il était difficile d'expliquer les disparités spatiales observées, ce qui nous a conduit à mettre en place une enquête, visant à comprendre à la fois les comportements de santé et tout risque sanitaire lié à une exposition à l'eau.

Cette enquête fut réalisée en avril 2006, en collaboration avec le département « environnement et santé » de la faculté de santé publique, de l'université de Mahidol à Bangkok. Nous avons obtenu les autorisations du bureau provincial du Ministère de la santé pour pouvoir mener cette enquête. Cinq étudiants de master ont été directement impliqués. Nous avons élaboré ensemble le questionnaire et décidé quelles étaient les questions pertinentes et celles qui pouvaient ou non être posées. Ils ont traduit le formulaire en Thaï et ont géré la saisie des données. Celui-ci s'articule en 12 parties (Annexe 10) : 1- informations générales, 2- comportements de santé, 3- activités, 4- habitat, 5- animaux domestiques et bétail, 6- traitement des déchets, 7- utilisation de l'eau, 8- toilettes, 9- alimentation, 10- hygiène personnelle, 11- exposition aux maladies transmises par les arthropodes, 12- exposition aux maladies transmises par les rongeurs. Chaque questionnaire s'adresse à un foyer, auquel n'importe lequel des membres doit pouvoir répondre. Sur le terrain, nous avons été aidés par six étudiants en licence (bachelor), de l'université de Maejo à Phrae. Les étudiants ont été répartis en cinq binômes avec une personne supplémentaire pour prendre des relais. L'enquête a duré six jours.

Présentation de la zone d'étude (carte 14) :

La zone enquêtée correspond au bassin versant du Mae Thang, au nord-est de la province de Phrae. Cette province, au cœur de la région nord, s'étire du Nord au Sud dans la vallée de la rivière Yom, entre deux alignements montagneux. Située à 550 kilomètres au nord de Bangkok, et à l'est de la capitale régionale Chiang Mai, Phrae ouvre la voie vers la partie est de la région, encore très boisée. Lorsqu'on traverse les villages de la province de Phrae, on peut être surpris de la propreté des accotements et des jardins, par la grandeur des temples et la taille de certaines maisons et en particulier de leurs piliers. Ces piliers sont des troncs de teck dont le diamètre et le nombre traduisent la richesse du propriétaire. Les montagnes, pour beaucoup déboisées, ont contribué au développement économique régional. Depuis le règne du roi Chulalongkorn, des entreprises d'exploitation forestière, parfois étrangères, se sont installées dans la région. Avec 38,6% de forêts, la province de Phrae est encore l'une des plus boisées du pays. Elle comprend 8 districts : Muang, Sung Men, Den Chai, Long, Wang Chin, Song, Rong Kwang et Nong Muang Khai. La zone d'étude se situe dans le district de Rong Kwang, au nord-est de la province.

Situation de l'enquête santé 2006 dans la province de Phrae, en Thaïlande



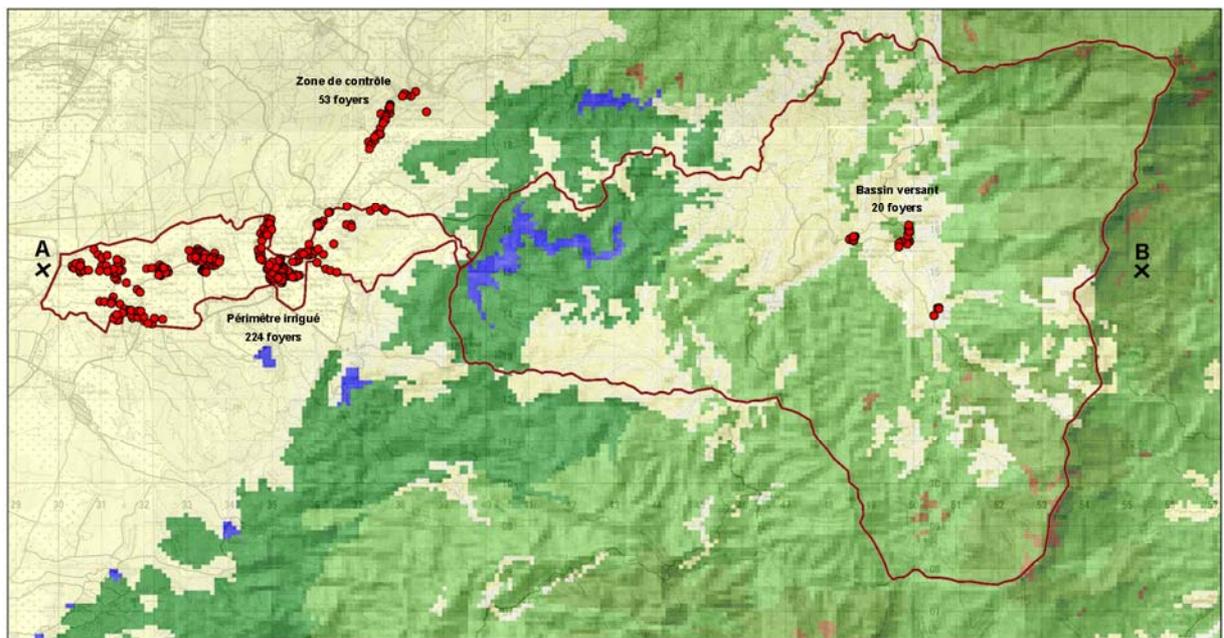
Sources : Landsat V TM, 2000, Royal Thai Forest Department © UR 178 IRD, Herbreteau V., 2005



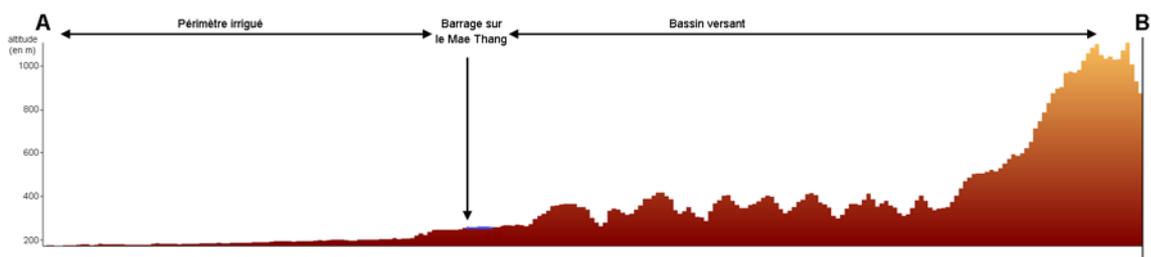
Photo: Herbreteau V.

Situation et occupation des sols de la zone d'étude (contour rouge) et de la province de Phrae, au nord de la Thaïlande

Vue sur les montagnes, depuis les rizières irriguées



Localisation des foyers interrogés lors de l'enquête santé 2006, dans la province de Phrae, en Thaïlande



Profil Ouest-Est (A-B) à travers la zone d'étude

Sources : Enquête santé Phrae, IRD-Mahidol University, 2006 © UR 178 IRD, Herbreteau V., 2007

Le bassin versant du Mae Thang couvre une aire de 12 000 hectares, dont 60% de forêts, et se situe entre les latitudes Nord 18°10' et 18°16' et les longitudes Est 100°22' et 100°28'. Il est délimité à l'Est par le relief du Doi Khun Sathan et à l'Ouest par la plaine alluviale de la Mae Nam Yom. Il présente un relief de collines moyennement élevées, avec une pente moyenne de 37,25 %. Il est situé dans la réserve forestière nationale de Mae Kham Pong. A partir de 1991, les travaux de construction d'un barrage à son exutoire ont débuté, engendrant la disparition d'une importante zone forestière. Le réservoir est devenu opérationnel en 1995 et offre 31 millions de m³ pour l'irrigation de 1 500 hectares de terres agricoles en aval (photo 24).



Photo : Herbreteau V.

Photo 24 : Le barrage sur le Mae Thang, vue du bassin versant sur la vallée irriguée

Cet espace fut aussi choisi pour l'étude des rongeurs.

Avec 13 902 habitants et 3 353 foyers sur la zone d'étude, nous avons défini un objectif d'échantillonnage de 10% des foyers. Nous avons réduit à 9% à cause des contraintes de temps sur le terrain. Ainsi, nous avons questionné 297 foyers, dont 20 dans le bassin versant, 224 dans la zone irriguée et 53 dans les villages de contrôle. Les maisons enquêtées ont été tirées au sort, une sur onze, et repérées au GPS avec l'équipe, avant de commencer les interviews. Si aucun membre du foyer n'était présent au moment de l'interview, les enquêteurs devaient alors revenir sur place jusqu'à temps de pouvoir y interroger quelqu'un.

Cette enquête a constitué la dernière étape du travail de terrain, dans une région parcourue à plusieurs reprises pour l'étude de l'écologie des rongeurs. Après ces considérations méthodologiques générales sur la collecte des données et leur traitement, nous allons développer indépendamment les facteurs de risque que constituent les rongeurs et leurs agents pathogènes dans les deux chapitres suivants.



Photo : Herbreteau V.

Photo 25 : L'équipe des étudiants des universités de Mahidol et de Maejo qui ont réalisé l'enquête dans la province de Phrae

2.2. Les rongeurs, diversité et écologie en Thaïlande

Les rongeurs, Rodentia, forment le plus grand ordre parmi les mammifères. Avec 2277 espèces dénombrées dans le monde en 2005, ils représentent 42% des mammifères (Wilson et Reeder, 2005). Les rongeurs regroupent des animaux de toutes tailles, d'une dizaine de grammes pour les plus petites souris à plus de 70 kilogrammes pour le Capybara. Ils sont présents sur l'ensemble de la Terre, excepté l'Antarctique et n'ont jamais été identifiés en Nouvelle Zélande ainsi que quelques îles océaniques. Ils occupent l'extrême diversité des milieux, désertiques, humides, dans les villes, les maisons, sur le sol, dans le sol ou bien encore dans la canopée des forêts humides. Cette diversité d'espèces observée sur Terre se retrouve d'autant plus en Thaïlande que les milieux naturels sont variés.



Photo 26 : *Rattus losea* (Photo : Herbreteau V.)

2.2.1. Les principaux rongeurs murins de Thaïlande, taxonomie et biogéographie

2.2.1.1. Taxonomie des Murinae

Malgré la diversité des rongeurs, la phylogénie* leur attribue un ancêtre commun, partageant tous une longue paire d'incisives, due à la perte des canines, et l'existence d'un large espace compris entre les incisives et les prémolaires et molaires, appelé diastema. Alors que d'autres caractères morphologiques, en particulier du crâne et de la dentition, supportent l'hypothèse de la monophylie*, des analyses moléculaires ont montré parmi les Caviidae (cochons d'Inde) une origine proche de celles d'autres ordres de mammifères (Hutchins et al., 2003). L'ordre des Rodentia reste flou sur sa structure taxonomique, les études de génétique apportant régulièrement de nouveaux arguments ou hypothèses à la classification. L'un des grands sujets de discussion est sa division en sous-ordres. Les premières classifications se sont basées sur la morphologie de la mâchoire et surtout sur l'origine et l'insertion de sa musculature. D'une classification longtemps admise en trois sous-ordres (Sciuromorpha, les écureuils ; Myomorpha, les rats et souris ; Hystricomorpha, les cochons d'Inde), les propositions ont divergé allant jusqu'à seize sous-ordres. Les analyses moléculaires semblent montrer que les caractères morphologiques les plus consistants permettant de classer les rongeurs sont ceux de la mâchoire inférieure. Ainsi l'ordre Rodentia se diviserait en deux sous-ordres, Sciurognathi et Hystricognathi. La classification proposée ici (figure 25) suit celle de Carleton (1984).



Photos : Herbreteau V.

Cette collection abrite les rongeurs murins collectés depuis plus de trente ans, dont ceux de Joe Marshall, cités dans l'ouvrage de référence *Mammals of Thailand*. Ces spécimens ont constitué une excellente base pour se former à l'identification des espèces thaïlandaises.

Photo 27 : La collection nationale des rongeurs thaïlandais (TISTR, Bangkok)

ORDRE	SOUS-ORDRE	FAMILLE	GENRES/ESPECES	EXEMPLES
Rodentia	Sciurognathi	Anomaluridae	3/7	(Ecureuils volants)
		Aplodontidae	1/1	(Castor des montagnes)
		Castoridae	1/2	(Castors)
		Ctenodactylidae	4/5	(Gondis)
		Dipodidae	11/30	(Rats sauteurs : gerboises)
		Geomyidae	5/34	(Castors à poches)
		Heteromyidae	5/75	(Souris à poches, rats kangaroo)
		Muridae	241/1082	(Rats et souris)
		Myoxidae	8/26	(Muscardins, lérots, loirs)
		Pedetidae	1/1	(Lièvre sauteur)
		Sciuridae	51/261	(Ecureuils, marmottes, tamias)
	Hystricognathi	Abrocomidae	1/2	(Chinchillas)
		Agoutidae	1/2	(Pacas)
		Bathyergidae	5/9	(Rats-taupes)
		Capromyidae	4/13	(Hutias)
		Caviidae	1/1	(Cochons d'Inde, Cobayes, maras)
		Chinchillidae	3/6	(Chinchillas, viscachas)
		Ctenomyidae	1/33	(Tuco-tucos)
		Dasyproctidae	2/13	(Agoutis)
		Dinomyidae	1/1	(Pacarana)
		Echimyidae	15/55	(Rats épineux)
		Erethizontidae	5/11	(Porcs-épics du Nouveau Monde)
		Heptaxodontidae	4/5	(Hutias géants)
		Hydrochaeridae	1/1	(Capybara)
		Hystricidae	4/11	(Porcs-épics de l'Ancien Monde)
		Octodontidae	5/8	(Octodonts, degus)
		Petromuridae	1/1	(Petromus)
Thryonomyidae	1/2	(Aulacode)		
Myocastoridae	1/1	(Nutria ou coypu)		

Source : d'après Carleton, 1984
© Herbreteau V., 2006

Figure 25 : Classification de l'ordre Rodentia, sous-ordres et familles

La famille des Muridae constitue, parmi les mammifères, la famille la plus large et la plus variée. Comme pour l'ordre des Rodentia, la taxonomie des Muridae reste à élucider. Plusieurs classifications ont été proposées. Il semblerait que les Muridae se soient séparés en cinq clades au Miocène inférieur (Musser and Carleton, 2005). Ces cinq sous-familles représentent 150 genres et plus de 730 espèces (figure 26).

FAMILLE	SOUS-FAMILLE	GENRES/ESPECES	EXEMPLES
Muridae	Deomyinae	4/42	(Souris épineuses, forest mice, and relatives)
	Gerbillinae	16/103	(Gerbilles)
	Leimacomyinae	1/1	(Leimacomys)
	Murinae	126/561	(Rats et souris de l'Ancien Monde)
	Otomyinae	3/23	(Otomys, Parotomys)

Source : d'après Wilson et Reeder, 2005 ; Musser et Carleton, 2005
© Herbreteau V., 2006

Figure 26 : Classification de la famille Murinae et sous-familles

La sous-famille des Murinae, rats et souris de l'Ancien Monde, est dans la famille des Muridae la plus large. Elle comprend plus de 561 espèces, ce qui représente un quart des mammifères vivants. Les premiers fossiles remontent au Miocène supérieur, soit 10 à 15 millions d'années (Hutchins et al., 2003). Les Murinae sont endémiques dans l'Ancien Monde, l'Eurasie, l'Afrique et l'Australasie mais l'Homme a contribué à leur dispersion sur tous les continents. Ils sont aujourd'hui dits cosmopolites.

Peu de rongeurs murins sont menacés. Alors que 41% des espèces sont sur la liste rouge de l'IUCN (IUCN, 2004), seuls *Leopoldamys neilli* est classé en danger et *Rattus andamanensis* (cité sous l'ancienne dénomination « *Rattus sikkimensis* ») est désigné « vulnérable » en Thaïlande. Ces deux espèces ont été classées comme telles parce qu'elles n'ont été observées que dans de rares occasions. Ainsi, seuls sept spécimens de *Leopoldamys neilli* ont été décrits (Wilson et Reeder, 2005). Cette espèce, endémique en Thaïlande, est restreinte aux massifs karstiques, où nous avons pu l'observer. Au cœur de son habitat, les paysans la chassent et la désigne comme abondante.

2.2.1.2. Identification et description des principales espèces de Murinae en Thaïlande

La base de données « rongeurs » contenait fin 2005 1 777 rongeurs murins, pour lesquels les informations sont complètes (lieu de capture, identification et morphologie). Nous avons pu identifier dix-neuf espèces différentes de la famille des Murinae (tableau 27).

Tableau 27 : Nombre total de Murinae piégés et identifiés pendant la thèse, par espèce

<u>Espèce</u>	<u>Nombre de spécimens</u>	<u>Espèce</u>	<u>Nombre de spécimens</u>
1 <i>Bandicota indica</i>	17 (2,2%)	12 <i>Mus pahari</i>	1 (0,1%)
2 <i>Bandicota savilei</i>	30 (3,9%)	13 <i>Mus shortridgei</i>	1 (0,1%)
3 <i>Berylmys berdmorei</i>	23 (3,0%)	14 <i>Niviventer sp.</i>	54 (7,1%)
4 <i>Berylmys bowersi</i>	10 (1,3%)	15 <i>Rattus andamanensis</i>	8 (1,1%)
5 <i>Chiropodomys gliroides</i>	2 (0,3%)	16 <i>Rattus exulans</i>	165 (21,7%)
6 <i>Hapalomys longicaudatus</i>	2 (0,3%)	17 <i>Rattus losea</i>	8 (1,1%)
7 <i>Leopoldamys edwardsi</i>	2 (0,3%)	18 <i>Rattus norvegicus</i>	76 (10,0%)
8 <i>Leopoldamys neilli</i>	3 (0,4%)	19 <i>Rattus sp.</i>	9 (1,2%)
9 <i>Leopoldamys sabanus</i>	36 (4,7%)	20 <i>Rattus tanezumi</i>	218 (28,7%)
10 <i>Maxomys surifer</i>	71 (9,3%)	21 <i>Sundamys mullueri</i>	1 (0,1%)
11 <i>Mus cervicolor</i>	23 (3,0%)	Total	760

Quelques déterminations d'espèces n'ont pu être établies morphologiquement, concluant sur le genre et l'abréviation « *sp.* » (pour species ou espèce).

Un ouvrage sur les rongeurs murins est en cours de rédaction et fera suite à cette thèse. Les fiches descriptives par espèce, en anglais, sont données sur le CD d'accompagnement. Cet ouvrage vise à décrire les principaux genres et espèces, morphologie, écologie, et distribution. Il s'appuie sur l'ensemble des relevés morphologiques des captures. Il permettra de mettre à jour la taxonomie publiée des rongeurs murins de Thaïlande. L'annexe 6 synthétise les mensurations des principales espèces à partir des animaux collectés pendant cette thèse. Les cartes de distribution des espèces s'appuient sur la littérature et les nouvelles données de répartition enregistrées lors des captures. Elles affinent la résolution en donnant les habitats potentiels des espèces à partir des données d'occupation des sols dérivées, par télédétection, d'une mosaïque d'images Landsat V TM de 2000.

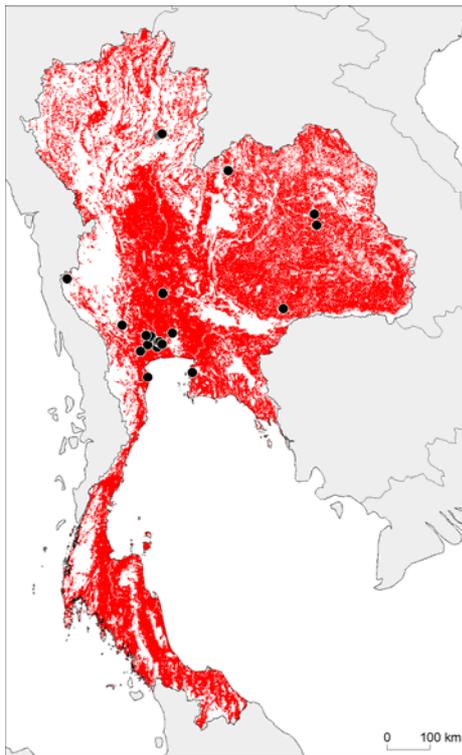
Les fiches (dans le CD d'accompagnement) contiennent les genres et espèces suivantes (7 genres / 19 espèces) :

- Genus *Bandicota* : *Bandicota indica*, *Bandicota savilei*
- Genus *Berylmys* : *Berylmys berdmorei*, *Berylmys bowersi*
- Genus *Leopoldamys* : *Leopoldamys edwardsi* et *Leopoldamys sabanus*
- Genus *Maxomys* : *Maxomys surifer*
- Genus *Mus* : *Mus caroli*, *Mus cervicolor*, *Mus musculus*, *Mus pahari*, *Mus shortridgei*
- Genus *Niviventer*
- Genus *Rattus* : *Rattus andamanensis*, *Rattus argentiventer*, *Rattus exulans*, *Rattus losea*, *Rattus norvegicus*, *Rattus tanezumi* (une lignée de *Rattus rattus*).

2.2.2. Estimation des aires de répartition et de la présence potentielle des rongeurs d'intérêt médical

Le genre *Bandicota* comprend trois espèces qui peuvent se trouver en sympatrie*.

- *B. bengalensis* vit en Asie du sud, du Népal au Myanmar. Quelques populations ont été identifiées sur l'île de Penang au nord de la Malaisie et en Indonésie (Aplin et al., 2003). Il n'a jamais été identifié en Thaïlande où sa présence n'est pas exclue.
- *B. indica*, le plus gros des Murinae, est présent à travers l'Asie du sud et du sud-est : de l'Inde au Viêt-Nam et du sud de la Chine à l'Indonésie.
- *B. savilei*, le plus petit des trois, semble avoir une distribution régionale plus restreinte, identifié du Myanmar au Viêt-Nam.



© Herbreteau V., 2006

Carte 15 : Distribution potentielle de *Bandicota indica* en Thaïlande

Bandicota indica est le principal rongeur des rizières de Thaïlande. Connu sous le nom de « Nu Phuk », *B. indica* est chassé pour protéger les récoltes mais aussi recherché pour sa viande. Il creuse de gros terriers sur les talus des rizières, avec généralement plusieurs entrées sur le haut du talus ou au pied de la rizière (photo 28). On peut facilement observer sa présence et son activité par la terre projetée hors des trous mais aussi par ses empreintes dans les rizières humides ou les marques de son passage dans l'herbe.



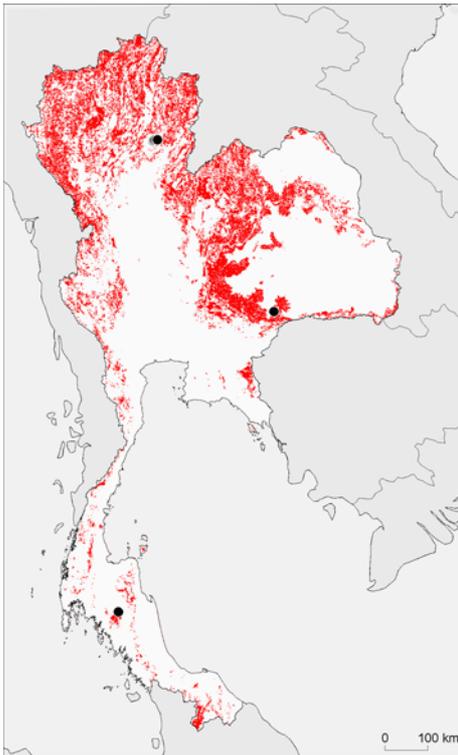
Photo : Herbreteau V.

B. indica nuit à la production de riz en détruisant les récoltes mais aussi en creusant de larges terriers qui endommagent le système d'irrigation

Photo 28 : Terrier de *B. indica* dans une rizière de Kalasin

B. indica est un très bon nageur et semble affectionner les environnements humides. Les chasseurs ont souvent mentionné sa présence durant la saison des pluies et un pic d'activité au moment des récoltes de riz, au début de la saison sèche.

La distribution potentielle de *B. indica* prend en compte l'ensemble des terres agricoles où la culture de riz est pratiquée en monoculture ou en alternance avec d'autres céréales ou des légumineuses (carte 15). Jusqu'ici, *B. indica* n'avait pas été décrit dans la région sud (Marshall, 1988) ou seulement dans la région de Nakhon Si Thammarat (Aplin, 2003). Après confirmation de la présence de « Nu Phuk » par des natifs du nord et de l'extrême sud de la région sud, il semble raisonnable d'étendre sa distribution à l'ensemble du territoire. Des travaux de détection de la leptospirose confirment aussi sa présence dans le sud, dans les régions de Surat Thani et Trang (Imvithaya et al., 2001).

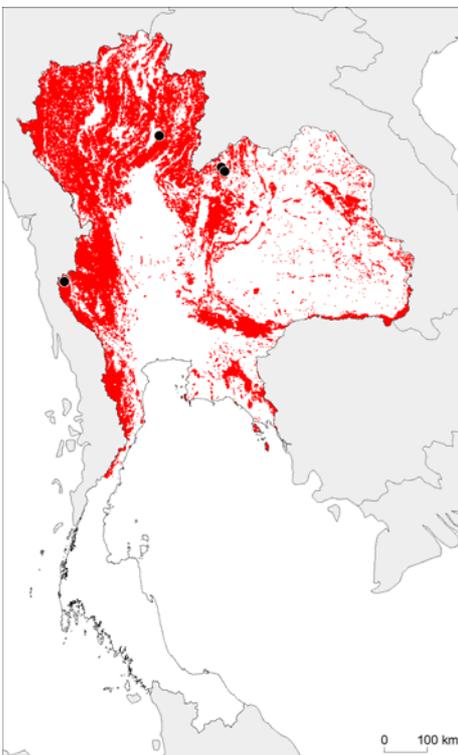


© Herbreteau V., 2006

Carte 16 : Distribution potentielle de *Bandicota savilei* en Thaïlande

Les premières descriptions de *Bandicota savilei* en Thaïlande lui attribuent pour biotope des prairies, des plantations, des vergers et des collines déboisées et mises en culture, dans les régions nord et nord-est (Marshall, 1988). Des piégeages plus récents ont permis de l'identifier à travers le pays (Musser et Brothers, 1994 ; Invithaya et al., 2001). Il est en effet abondant sur les collines de Phrae où la déforestation a récemment permis l'essor de la culture du maïs. Ainsi, il semble que *B savilei* privilégie des milieux secs. Nous ne l'avons jamais capturé au sein des rizières. Les densités élevées que les paysans décrivent en période de récolte du maïs suggèrent une excellente qualité d'adaptation, qui lui permettrait de conquérir des milieux en changement, avant d'éventuels compétiteurs. Ainsi, d'un habitat originel de prairies, la distribution de *B savilei* s'est étendue aux espaces mis en culture après déboisement.

Si l'on considère que *B savilei* est absent des zones agricoles plates et basses qui sont irriguées pour la culture de riz, il convient de prendre en compte les zones agricoles plus élevées pour délimiter son habitat potentiel. Un seuil d'altitude de 200 mètres semble séparer les espaces où on le trouve. Sa cartographie représente l'ensemble des espaces agricoles, des clairières et des prairies à plus de 200 mètres d'altitude (carte 16).

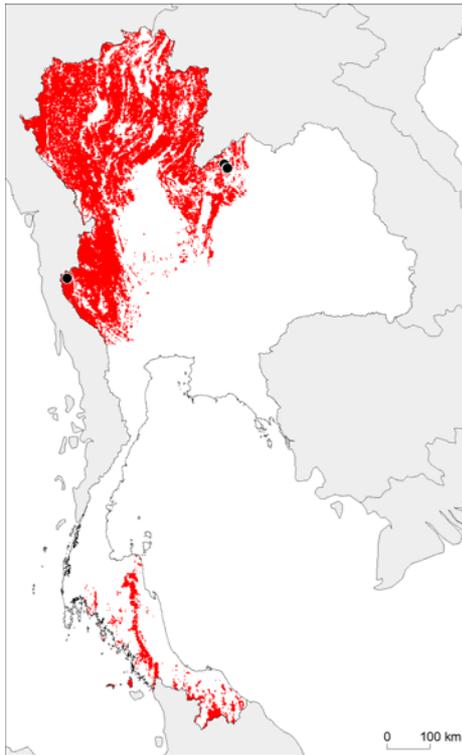


© Herbreteau V., 2006

Carte 17 : Distribution potentielle de *Berylmys berdmorei* en Thaïlande

Le genre *Berylmys* comprend quatre espèces vivant dans des milieux forestiers (Wilson et Reeder, 2005). Deux espèces sont présentes en Thaïlande, *Berylmys berdmorei* et *B. bowersi*, le plus gros des deux. Les connaissances sur ces espèces restent limitées. Elles apparaissent rarement dans les études épidémiologiques, étant probablement moins denses que celles du genre *Bandicota* ou *Rattus*. Pourtant, nous avons pu en piéger plusieurs dizaines dans différentes provinces. Il est possible que ces études épidémiologiques sur les rongeurs aient confondu *Berylmys spp.*, avec *Bandicota spp.* ou certains *Rattus spp.* dont ils sont morphologiquement proches.

La distribution de *Berylmys berdmorei* n'est connue que par un petit nombre d'animaux observés dans le sud du Myanmar, au nord et à l'est de la Thaïlande, au nord du Laos ainsi qu'au Viêt-Nam (Marshall, 1988 ; Aplin, 2003). Au-delà de cette aire, sa présence reste possible mais non documentée. *B. berdmorei* est un rongeur sylvestre vivant sur les reliefs accidentés. Il serait présent en Thaïlande le long de la frontière birmane, de la province de Prachuap Khirikan (qui fait le lien avec la péninsule) jusqu'au nord du pays, ainsi que sur le plateau issan. La cartographie de sa distribution comprend l'ensemble des forêts des régions les plus accidentées sur les régions centre, nord et nord-est du pays où il a été décrit (carte 17).

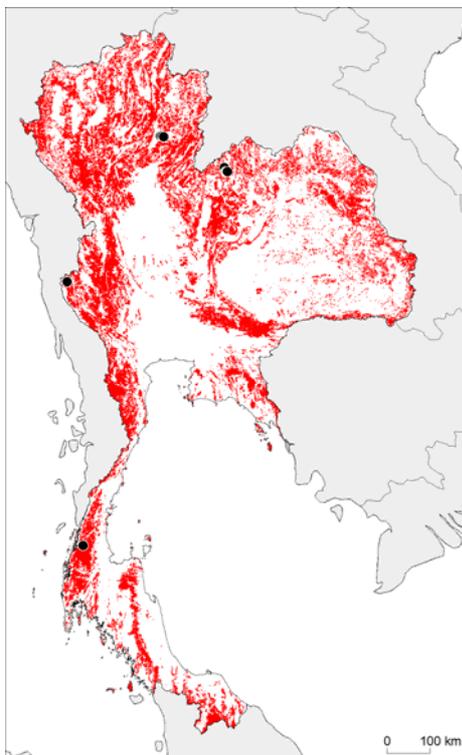


© Herbreteau V., 2006

Carte 18 : Distribution potentielle de *Berylmys bowersi* en Thaïlande

Berylmys bowersi est l'un des plus gros rongeurs murins, proche par sa taille de *Bandicota indica*. Il occupe un biotope de forêts, semblable à celui de *B. berdmorei*. Pourtant, les études précédentes le décrivent dans la région sud et l'extrême nord du pays (Marshall, 1988 ; Aplin, 2003). Comme pour *B. berdmorei*, ces descriptions se basent sur peu d'échantillons, ce qui permet d'envisager une distribution plus large de cette espèce. En effet, nous avons pu piéger *B. bowersi*, à Loei, le long du canal d'irrigation d'une rizière, près de buissons mais loin des espaces boisés décrits comme son habitat d'origine. *B. bowersi* occuperait donc un biotope plus large, sortant des forêts pour se nourrir sur des terres cultivées. Tout comme *Bandicota indica*, *Berylmys bowersi* pourrait être responsable de dégâts aux cultures.

L'aire de distribution potentielle de *B. bowersi* comprend l'ensemble des forêts dans les régions nord, ouest et sud (carte 18).



© Herbreteau V., 2006

Carte 19 : Distribution potentielle de *Leopoldamys edwardsi* et de *Leopoldamys sabanus* en Thaïlande

Le genre *Leopoldamys* comprend trois espèces en Thaïlande : *Leopoldamys edwardsi* (photo 12), *Leopoldamys neilli* et *Leopoldamys sabanus*. La distribution de ces espèces reste méconnue tant que leur génétique n'est pas éclaircie. *Leopoldamys neilli* est inféodée aux reliefs karstiques et ses populations seraient donc extrêmement réduites en Thaïlande.

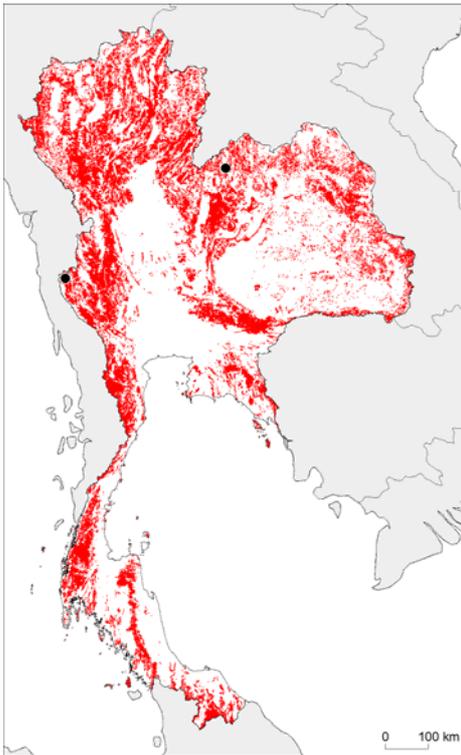


Photo : Herbreteau V.

Photo 29 : *Leopoldamys edwardsi* (province de Loei)

Semi-arboricoles, les espèces *Leopoldamys edwardsi* et *Leopoldamys sabanus* habitent divers types de forêts primaires ou secondaires, de plaine ou de piémont (photo 29). Ils sont présents du sud de la Chine à l'Indonésie et, en Thaïlande, sur l'ensemble du territoire. Leur très longue queue, la plus longue des Murinae de Thaïlande, leur permet de grimper aux arbres avec agilité. De par leur grande taille, ils font partie des rongeurs recherchés pour leur viande.

La cartographie de leur distribution inclut l'ensemble des espaces forestiers, excepté les forêts d'altitude, les forêts de pins, et les plantations (carte 19).



© Herbreteau V., 2006

Carte 20 : Distribution potentielle de *Maxomys surifer* en Thaïlande

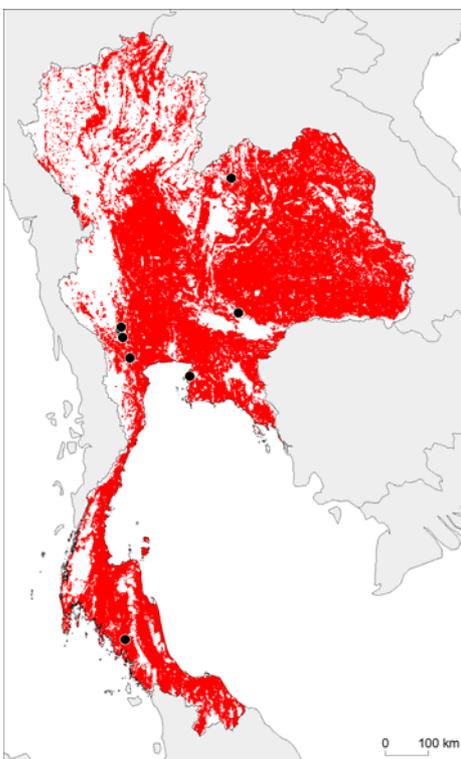


Photo : Herbreteau V.

Photo 30 : *Maxomys surifer* (province de Loei)

Mus cervicolor est une petite souris des rizières, commune en Asie du sud-est (photo 31). En Thaïlande, elle n'était connue que de la partie continentale du pays (Marshall, 1988 ; Aplin, 2003). Nous avons pu l'identifier dans le sud, dans la province de Trang, ce qui permet de compléter raisonnablement sa distribution sur l'ensemble du pays. Elle se trouve en sympatrie avec *Mus caroli* dans les rizières (Marshall, 1988 ; Lunde and Son, 2001).

La carte de la distribution de *Mus cervicolor* reprend donc celle de *Bandicota indica*, qui dessine les contours des espaces agricoles à différentes altitudes (carte 21).



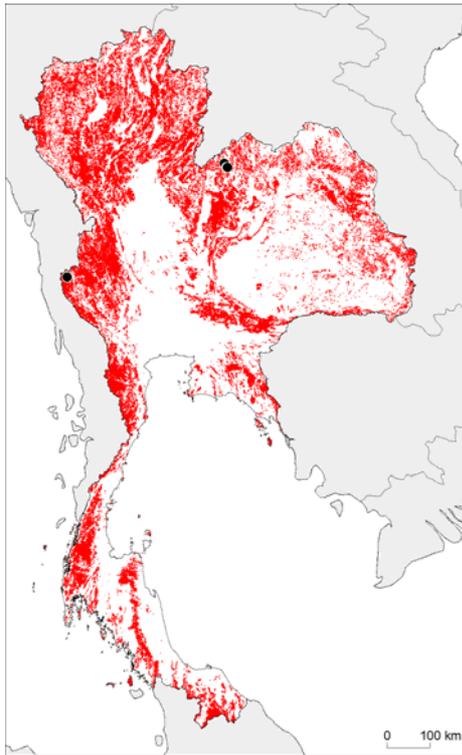
© Herbreteau V., 2006

Carte 21 : Distribution potentielle de *Mus cervicolor* en Thaïlande



Photo : Herbreteau V.

Photo 31 : *Mus cervicolor* (province de Loei)



© Herbreteau V., 2006

Carte 22 : Distribution potentielle de *Niviventer fulvescens* en Thaïlande

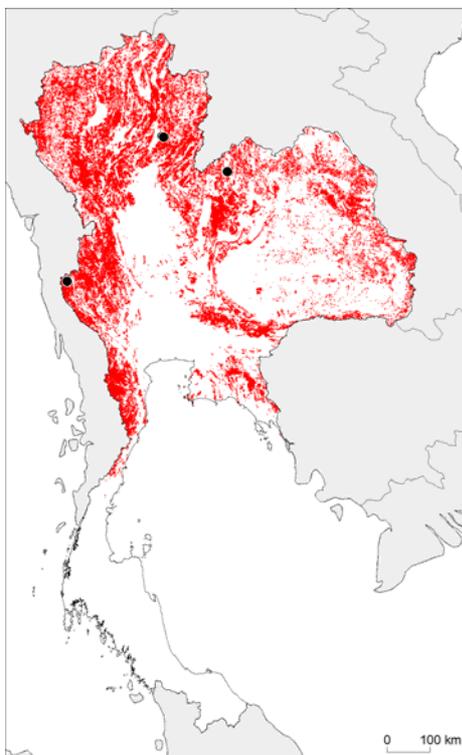
Le genre *Niviventer* regroupe, comme les genres *Leopoldamys* et *Maxomys*, des rongeurs sauvages vivant dans les écosystèmes forestiers. Sa taxonomie est toujours débattue et révisée régulièrement. *Niviventer fulvescens* semble être le principal représentant du genre en Thaïlande (photo 32). Il est présent du sud de la Chine à l'Indonésie.

En Thaïlande, on le trouve à travers le pays dans les forêts d'arbres à feuilles persistantes, les forêts de pins et les forêts d'arbres à feuilles caduques. La cartographie de ces forêts correspond à sa carte de distribution potentielle (carte 22).



Photo : Herbreteau V.

Photo 32 : *Niviventer fulvescens* (province de Loei)



© Herbreteau V., 2006

Carte 23 : Distribution potentielle de *Rattus andamanensis* en Thaïlande

Rattus andamanensis (photo 33) est morphologiquement très proche du *Rattus rattus* du Sud-Est asiatique, *Rattus tanezumi*. Il est présent sur la partie nord de l'Asie du sud-est. En Thaïlande, il occupe les forêts de piémont et d'altitude. Son habitat peut se recouper avec celui de *R. tanezumi*, dont la distribution est plus large. Il n'a jamais été observé dans le sud du pays.

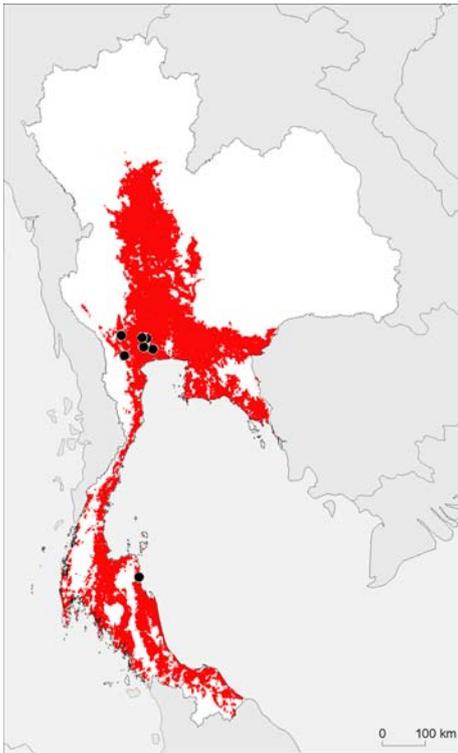
La taxonomie de *R. andamanensis* a beaucoup été discutée. Ses premières descriptions en Thaïlande l'identifient comme *R. koratensis* et *R. remotus* (Marshall 1977) avant que Musser propose le nom de *R. sikkimensis* (Musser and Newcomb, 1983; Musser and Carleton, 1993). Récemment, Musser a confirmé le nom de *R. andamanensis* en montrant que les spécimens des îles Andaman sont semblables à ceux de l'Indochine continentale (Wilson and Reeder, 2005).

La carte de la distribution de *R. andamanensis* rend compte de son habitat forestier, et de sa possible absence dans la partie péninsulaire de la Thaïlande (carte 23).



Photo : Herbreteau V.

Photo 33 : *Rattus andamanensis* (province de Phrae)



© Herbreteau V., 2006

Carte 24 : Distribution potentielle de *Rattus argentiventer* en Thaïlande

Rattus argentiventer est, avec *Bandicota indica*, un autre ravageur des rizières. Il est présent sur la partie sud de l'Asie du sud-est et, en Thaïlande, sur la plaine centrale et le sud du pays. Il n'a jamais été observé dans les régions nord et nord-est. Il serait plus abondant sur les terres régulièrement inondées, étant très tolérant à la présence de l'eau, au contraire de la majorité des autres rongeurs (Aplin et al., 2003).

La carte de distribution de *R. argentiventer* comprend les terres agricoles basses à moins de 110 mètres d'altitude (carte 24). Un tel seuil permet de recouper la distribution décrite par les piégeages dans la littérature (Marshall, 1988 ; Aplin et al., 2003).

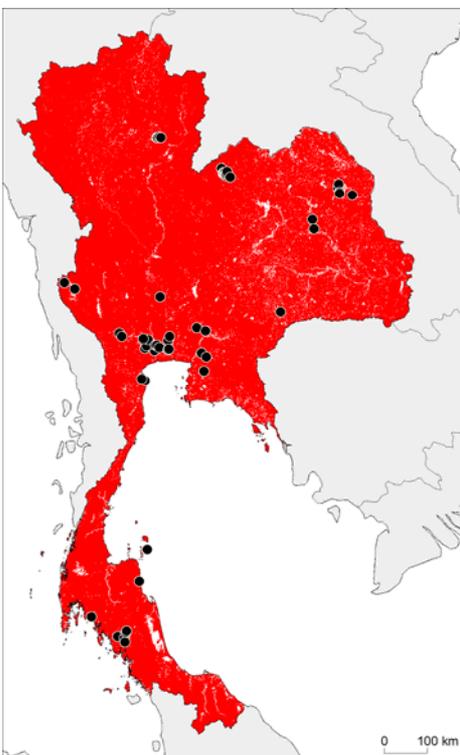


Photo : Herbreteau V.

Photo 34 : *Rattus exulans* (province de Kalasin)

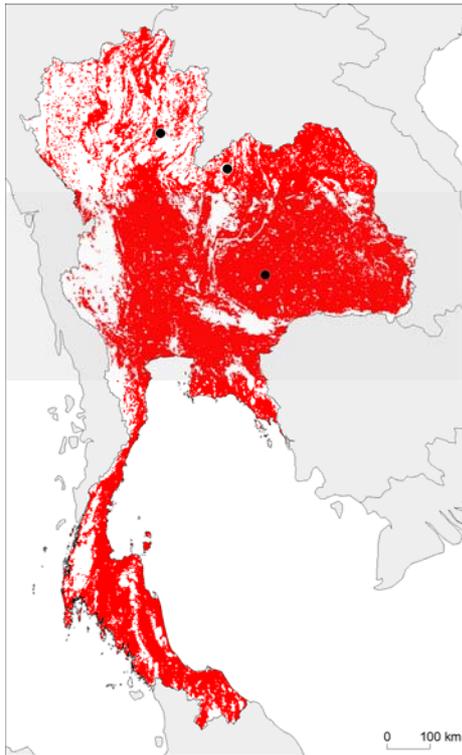
Rattus exulans semble présent, à proximité de l'homme, sur l'ensemble du territoire thaïlandais (carte 25). Nous avons pu le capturer sur chacune des zones d'études, que ce soit en province dans chacune des régions, en périphérie de Bangkok, ou sur l'île de Ko Samui (photo 34). *R. exulans* s'installe dans ou autour des habitations, nichant préférentiellement sous les toits ou dans les greniers à riz. Nous l'avons même trouvé dans des habitations complètement isolées au cœur des montagnes de la province de Phrae, alors qu'il est absent des champs environnants. Exceptionnellement, nous l'avons capturé à quelques dizaines de mètres des habitations sur des terres cultivées. L'Homme, qui l'a transporté de place en place, joue un rôle primordial dans sa dispersion. Vu d'un point de vue adaptatif, *R. exulans* a prouvé une exceptionnelle faculté d'adaptation qui le place aujourd'hui en situation dominante au contact de l'Homme.

L'origine géographique de *R. exulans* n'est pas connue mais on suppose qu'il est originaire de l'Asie du sud-est continentale (Aplin et al., 2003). Aujourd'hui, *R. exulans*, dit le rat polynésien, est présent sur l'ensemble de l'Asie du sud-est, du Bangladesh aux Philippines et du Myanmar à l'Indonésie.



© Herbreteau V., 2006

Carte 25 : Distribution potentielle de *Rattus exulans* en Thaïlande



© Herbreteau V., 2006

Carte 26 : Distribution potentielle de *Rattus losea* en Thaïlande

Rattus losea est un petit rongeur du Sud-Est asiatique, vivant principalement dans les rizières (photo 25). Il se trouve également dans les jardins, les vergers, et forêts de mangroves (Musser et Newcomb, 1985). La place de cette espèce dans la sous-famille des Murinae est aujourd'hui débattue (Ken Aplin, comm. pers.). En effet, *R. losea* est morphologiquement et génétiquement très proche de *R. tanezumi*. *R. losea* est présent entre Taïwan, le Viêt-Nam et la Thaïlande.

En Thaïlande, *R. losea* semble présent à travers le pays, dans les régions agricoles : dans le Nord et le Nord-Est où nous l'avons capturé, mais aussi sur la plaine centrale et dans le Sud à Phattalung (Marshall, 1988).

La cartographie de sa distribution en Thaïlande regroupe l'ensemble des terres agricoles, des clairières, des plantations et des prairies (carte 26).



© Herbreteau V., 2006

Carte 27 : Distribution potentielle de *Rattus norvegicus* en Thaïlande

Rattus norvegicus est considéré comme nuisible à travers le monde. Il a probablement trouvé ses entrées sur les continents à partir des ports de pêche, embarqué sur les bateaux comme le fut le rat noir, *Rattus rattus*. Aujourd'hui cosmopolite, *R. norvegicus* est présent dans la majorité des ports et grandes agglomérations.

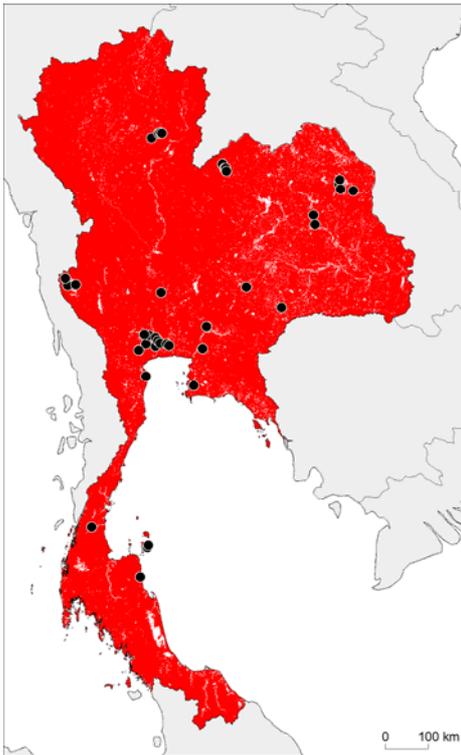
A Bangkok, il sort des égouts la nuit pour fouiller les amas d'ordures. Ils sont nombreux et observables à quelques mètres. Ce sont des rats de grosse taille, proches de *Bandicota indica* par leurs mensurations. Ils occupent les rez-de-chaussée des habitations et ne grimpent pas dans les immeubles.

Nous avons pu en piéger beaucoup dans des élevages intensifs de porcs et volailles, à proximité de l'agglomération de Bangkok, dans la province de Nakhon Pathom. Une transmission de virus ou de bactéries entre ces différents mammifères est alors envisageable de par leur proximité.

R. norvegicus est présent dans les principaux ports de pêche de Thaïlande (carte 27) :

- à l'est : à Pattaya, Rayong et Trat,
- sur la côte du Golfe de Thaïlande : à Chumpon, Surat Thani et Samui (Marshall, 1988), Nakhon Sri Thammarat,
- sur la côte de la Mer d'Andaman : à Phuket, Trang et Krabi,

Enfin, il est présent dans les grandes villes du sud (Marshall, 1988).



© Herbreteau V., 2006

Carte 28 : Distribution potentielle de *Rattus tanezumi* en Thaïlande

Rattus tanezumi correspond, dans le complexe d'espèces du groupe *Rattus rattus*, à la lignée asiatique à $2n=42$ chromosomes, contrairement au *Rattus rattus* cosmopolite à $2n=38/40$ chromosomes (Wilson et Reeder, 2005). Toutes les études sur les rongeurs en Thaïlande l'ont jusqu'ici désigné comme *Rattus rattus*, mais il convient désormais d'employer cette nouvelle taxonomie. *Rattus tanezumi* est le plus vieux nom utilisé pour cette lignée. Il est présent aujourd'hui plus au nord et à l'est de la péninsule indienne, d'où l'on sait que *Rattus rattus* est natif (Wilson et Reeder, 2005).

Rattus tanezumi est une espèce commune, pouvant vivre dans un grand nombre de milieux : sur les terres agricoles mais surtout à proximité de l'homme, dans les jardins ou dans les toits des maisons.

Comme *Rattus exulans*, il est présent à travers le pays, là où est l'Homme. Leurs cartes de distribution sont ainsi semblables (carte 28).

Les rongeurs murins sont potentiellement présents dans tous les milieux, sauvages ou artificialisés. Certaines espèces vivent en sympatrie, d'autres non. En vivant ou entrant dans un écosystème donné, l'Homme croise les habitats des espèces associées et les traces que ces animaux laissent, essentiellement leurs déjections, urine ou fèces. La transmission d'agents pathogènes des rongeurs vers l'Homme a essentiellement lieu par l'intermédiaire de ces traces. La connaissance de l'aléa rongeurs-pathogènes, nécessite donc, au-delà de distinguer les aires de distribution des espèces décrites précédemment, de savoir si ces rongeurs sont porteurs d'agents infectieux. Ceci fait l'objet du chapitre suivant.



Photo : Herbreteau V.

Photo 35 : *Bandicota indica*, pris dans un piège de bambou (province de Kalasin)

2.3. Etude de la présence des germes pathogènes chez les rongeurs : *Leptospira spp.*, *Tsutsugamushi spp.* et *Hantavirus spp.*

L'essentiel des recherches qui ont été menées en Thaïlande sur des agents pathogènes transmis par les rongeurs portent sur la leptospirose et le typhus des broussailles. Cet intérêt s'explique par l'incidence élevée de ces deux pathologies. Par ailleurs, quelques études ont été réalisées sur les fièvres à Hantavirus alors que leur occurrence chez l'Homme a rarement été observée. Très peu de travaux ont été menés sur d'autres agents pathogènes. Nous allons dans cette partie passer en revue et comparer les résultats de l'ensemble de ces recherches publiées.

2.3.1. Une étonnante diversité de leptospires chez l'Homme et les rongeurs

Le Ministère thaïlandais de la santé publique (Ministry of Public Health, MOPH) est l'auteur de la majorité des études réalisées sur la leptospirose en Thaïlande. Ces recherches sont publiées en langue thaïlandaise dans le journal trimestriel qu'il édite, le Journal of Health Science. Ces études sont très informatives, renseignant sur le début de l'épidémie, quand le gouvernement a orienté ses efforts vers la leptospirose pour en identifier les vecteurs et améliorer le dépistage. Ces publications, référencées sur le site Internet en version thaïlandaise uniquement, sont d'accès difficile et ont nécessité un travail de traduction précis pour, *in fine*, en décrire la méthodologie et les résultats et en apprécier la qualité des données. Quelques autres publications viennent compléter cette bibliographie des recherches sur la leptospirose, proposée ici.

L'essentiel de ces publications utilise la taxonomie donnée dans Mammals of Thailand (Marshall, 1988). Pour plus de clarté, nous avons remplacé ici les anciennes dénominations par les nouvelles présentées dans la partie 2 : *Berylmys berdmorei* au lieu de *Rattus berdmorei*, *Berylmys bowersi* au lieu de *Rattus bowersi*, *Niviventer spp.* au lieu de *Rattus bukit*, *R. tanezumi* au lieu de *R. rattus*, *R. andamanensis* au lieu de *R. koratensis* ou *R. sikkimensis* ou *R. remotus*, *Leopoldamys sabanus* au lieu de *R. sabanus* et *Maxomys surifer* au lieu de *R. surifer*.

2.3.1.1. Des enquêtes de séroprévalence au sérotypage des leptospires sur les rongeurs : des résultats riches mais une interprétation délicate

En 1983, la première étude sérologique publiée sur la leptospirose en Thaïlande (Bunnag *et al.*, 1983) compare des séroprévalences sur les rongeurs et l'Homme, sur trois sites (tableau 28) :

- des villages agricoles de la province de Nakhon Ratchasima, sans système d'irrigation,
- des villages de pêcheurs, près du lac de barrage à Ubolratana, dans la province de Khon Khaen,
- et des villages bénéficiant d'un projet d'irrigation, dans la province de Phitsanulok.

Tableau 28 : Séropositivité de rongeurs murins vis à vis des antigènes de leptospires, dans trois sites du nord et du nord-est de la Thaïlande (Bunnag *et al.*, 1983)

Espèces	Nakhon Ratchasima	Khon Khaen	Phitsanulok	Total
<i>Bandicota indica</i>	2/41 (4,9)*	0/15	40/309 (12,9)	42/365 (11,5)
<i>Rattus tanezumi</i>	2/78 (2,6)	8/140 (5,7)	40/458 (8,7)	50/676 (7,4)
<i>Bandicota savilei</i>	-	0/1	1/62 (1,6)	1/63 (1,6)
<i>Rattus losea</i>	-	0/15	-	0/15
<i>Rattus argentiventer</i>	-	0/4	-	0/4
<i>Rattus exulans</i>	-	0/2	-	0/2
<i>Berylmys berdmorei</i>	-	0/6	-	0/6
<i>Tupaia glis</i>	-	-	0/4	0/4
Total	4/119 (3,4)	8/183 (4,4)	81/833 (9,7)	93/1135 (8,2)

* nombre / total (pourcentage)

Bandicota indica et *Rattus tanezumi* sont les espèces ayant les plus fortes séroprévalences (respectivement 11,5% et 7,4%), tout en étant aussi les seules à avoir été piégées sur les trois sites, et en nombre important. Parmi les six autres espèces piégées, toutes en effectifs faibles, un seul *Bandicota savilei* est révélé positif à Phitsanulok. *L. javanica* et *L. autumnalis* sont les sérotypes identifiés le plus fréquemment.

B. indica vit souvent à proximité ou dans les rizières. Il creuse ses terriers sur les talus des rizières, où il est un visiteur nocturne. C'est dans cet environnement que *B. indica* s'infecte et disperse à son tour les leptospires. *R. tanezumi* est quant à lui plus proche des maisons et de l'Homme, accroissant ainsi fortement le risque de transmission. *B. savilei* est un vecteur potentiel mais son habitat en milieu plus sec, le rend acteur secondaire de la transmission, dont l'eau reste un facteur essentiel. Les autres espèces ont été capturées en trop petit nombre pour juger de leur rôle dans la transmission et le maintien des leptospires.

En octobre et novembre 1998, Phulsuksombati *et al.* ont pu isoler des leptospires sur des rongeurs capturés dans la province de Nakhon Ratchasima. L'objet de cette étude était de mesurer la prévalence de la leptospirose sur des rongeurs capturés à proximité de villages ayant eu des cas humains diagnostiqués et de la comparer à celle de rongeurs capturés à proximité de villages sans cas humain reporté (tableau 29). 350 rats ont été piégés, représentant seulement trois espèces, *R. exulans* (81,4%), *B. indica* (10,3%), *R. tanezumi* (7,4%), et 3 spécimens non identifiés (0,9%). Sur un tel nombre de spécimens, le peu de diversité appelle plusieurs hypothèses : un piégeage limité en regard de la diversité des biotopes ou une identification imprécise des espèces en présence. La prédominance de *R. exulans*, qui ne vit que dans ou autour des maisons, montre que ce piégeage fut essentiellement réalisé par l'intermédiaire des villageois et peu dans les champs où est supposée se transmettre la leptospirose.

Tableau 29 : Séropositivité vis à vis des antigènes de leptospire par espèce de rongeurs, dans deux zones, avec ou sans cas humains reportés, de la province de Nakhon Ratchasima, en Thaïlande, en octobre et novembre 1998 (Phulsuksombati *et al.*, 1999)

Espèces	en zone épidémique	en zone non épidémique	Total
<i>B. indica</i>	12/29 (41,4) *	0/7	12/36 (33,3)
<i>R. tanezumi</i>	0/8	0/18	0/26
<i>R. exulans</i>	2/178 (1,1)	0/107	2/285 (0,7)
Non identifiés	0/3	-	0/3
Total	14/218 (6,4)	0/132	14/350 (4,0)

* nombre / total (pourcentage)

Les leptospires n'ont pu être isolées que parmi les rongeurs capturés dans la zone où ont été reportés des cas de leptospirose (soit 62% du total des captures). Dans cette zone, 12 *B. indica* parmi 29 (41,4%) et 2 *R. exulans* parmi 178 (1,1%) se sont révélés positifs, montrant l'importance du premier en tant que vecteur de la leptospirose. Un résultat intéressant est aussi le potentiel pour *R. exulans* à véhiculer la leptospirose. Peu de spécimens ont été identifiés positifs, mais sa proximité à l'Homme en fait un acteur important de la transmission. Le peu de *R. tanezumi* capturés ne permet pas de conclure ici quant à son rôle dans la transmission. Une deuxième étape de cette étude fut d'inoculer les leptospires isolées à des hamsters. Elles furent léthales après 4 à 5 jours, alors que les rats sont porteurs sains. Sur le sang des patients confirmés, les leptospires ont provoqué une agglutination positive, attestant leur nature pathogène.

Entre octobre 1998 et avril 2000, le National Institute of Health du MOPH a mesuré la séropositivité vis à vis des leptospires sur des rongeurs capturés dans dix provinces, à travers le pays (tableau 30). Sur 1164 rongeurs murins, 4,8% étaient positifs (Imvithaya *et al.*, 2001 ; Wangsroongsarb *et al.*, 2002). Les espèces collectées et testées sont les plus courantes et représentent à la fois des espèces sauvages, *B. indica* et *B. savilei*, des espèces péri-domestiques, *R. tanezumi* et *R. norvegicus* (en faible effectif : 38) et une espèce domestique, *R. exulans*.

Tableau 30 : Séropositivité vis à vis des antigènes de leptospire par espèce de rongeurs et par province, de 1998 à 2000, en Thaïlande (Imvithaya *et al.*, 2001 ; Wangsroongsarb *et al.*, 2002)

Provinces	Espèces					Total
	<i>Rattus exulans</i>	<i>Rattus tanezumi</i>	<i>Rattus norvegicus</i>	<i>Bandicota indica</i>	<i>Bandicota savilei</i>	
Buriram (NE**-5)	3/7 (42,9)*	2/24 (8,3)	-	3/33 (9,1)	-	8/64 (12,5)
Petchabun (C-3)	6/26 (23,1)	1/7 (14,3)	-	3/39 (7,7)	0/9	10/81 (12,4)
Udon Thani (NE-1)	3/46 (6,5)	1/14 (7,1)	-	-	-	4/60 (6,7)
Chantaburi (E-8)	0/15	6/87 (6,9)	0/13	-	3/19 (15,8)	9/134 (6,7)
Nakhon Ratchasima(NE-4)	3/35 (8,6)	1/11 (9,1)	-	0/56	-	4/102 (3,9)
Trang (S-10)	4/53 (7,5)	0/51	-	0/4	0/3	4/111 (3,6)
Chonburi (E-7)	1/48 (2,1)	2/46 (4,3)	1/25 (4)	0/7	1/24 (4,2)	5/150 (3,3)
Phra Nakhon Sri Ayuthaya (C-6)	1/48 (2,1)	4/69 (5,8)	-	0/18	0/25	5/160 (3,1)
Phitsanulok (N-2)	1/24 (4,2)	5/116 (4,3)	-	0/12	0/94	6/246 (2,4)
Surat Thani (S-9)	0/15	1/39 (2,6)	-	0/1	0/1	1/56 (1,8)
Total	22/317 (6,9)	23/464 (5,0)	1/38 (2,6)	6/170 (3,5)	4/175 (2,3)	56/1164 (4,8)

* nombre / total (pourcentage)

** N : nord, NE : nord-est, C : centre, E : est, S : sud

Les provinces ont fait l'objet d'un échantillonnage considérable (au minimum 56 rongeurs dans chacune des 10 provinces pour un total de 1164 rongeurs) ce qui permet leur comparaison. Elles sont classées par pourcentage total de séropositivité décroissant. Les provinces de Buriram dans le nord-est et de Petchabun, à la frontière entre le plateau du nord-est et la grande plaine centrale, ont enregistré les prévalences les plus élevées, respectivement 12,5% et 12,4%. Les trois provinces du nord-est ont des prévalences élevées, mais il est difficile d'en conclure pour autant à une prévalence globale plus forte dans cette région. Nakhon Ratchasima, proche de Buriram, et Phitsanulok, proche de Petchabun, ont des incidences beaucoup plus faibles (respectivement 3,9% et 2,4%).

Les *Bandicota spp.* présentent des prévalences relativement faibles (3,5% pour *B. indica* et 2,3% pour *B. savilei*) comparées à celles des *R. exulans* (6,9%) et *R. tanezumi* (5,0%), alors que *B. indica* est souvent considéré comme le vecteur principal de la leptospirose.

Il est intéressant de noter que la province de Buriram, où sont enregistrées les séropositivités les plus fortes sur les rongeurs, a reporté au cours de cette même période des incidences humaines de leptospirose parmi les plus fortes sur l'ensemble du pays. A Buriram, *R. exulans* ressort de cette étude comme un vecteur essentiel. Sa proximité à l'Homme, *R. exulans* vivant à l'intérieur des habitations, semble une explication logique à cette apparente corrélation entre sa forte séropositivité et les épidémies humaines.

Au cours de cette étude, la recherche des antigènes de leptospirose par le test d'agglutination microscopique a pris en compte 17 sérotypes. Parmi eux, six ont été régulièrement identifiés (tableau 31).

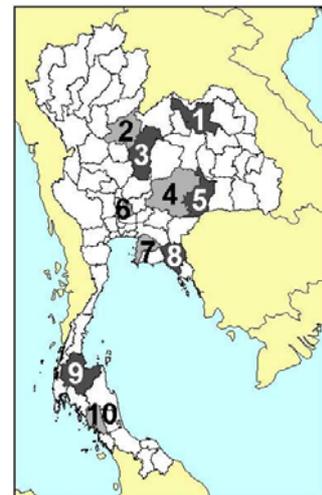
**Carte 29 : Situation des provinces de l'étude Imvithaya *et al.*, 2001**

Tableau 31 : Diversité des sérotypes de Leptospires trouvés par espèce de rongeur, de 1998 à 2000, en Thaïlande (Imvithaya *et al.*, 2001 ; Wangsroongsarb *et al.*, 2002)

Serovars	Espèces					Total
	<i>Rattus exulans</i>	<i>Rattus tanezumi</i>	<i>Rattus norvegicus</i>	<i>Bandicota indica</i>	<i>Bandicota savilei</i>	
<i>pyrogenes</i>	20/22 (90,9) *	8/23 (34,8)	1/1 (100)	1/6 (16,7)	1/4 (25)	31/56 (55,3)
<i>sejroe</i>	1/22 (4,5)	8/23 (34,8)	-	2/6 (33,3)	1/4 (25)	12/56 (21,4)
<i>copenhageni</i>	-	3/23 (13,6)	-	-	-	3/56 (5,4)
<i>akiyami A</i>	-	-	-	3/6 (50)	-	3/56 (5,4)
<i>pomona</i>	-	2/23 (8,7)	-	-	-	2/56 (3,6)
others	1/22 (4,5)	2/23 (8,4)	-	-	2/4 (50)	8/56 (14,3)
Positive/Total	22/317 (6,9)	23/464 (5,0)	1/38 (2,6)	6/170 (3,5)	4/175 (2,3)	56/1164 (4,8)

* nombre / total (pourcentage)

Les sérotypes *pyrogenes* et *sejroe* sont les plus communs, présents sur toutes les espèces (un seul *R. norvegicus* était positif ce qui ne permet pas de savoir s'il peut être vecteur du sérotype *sejroe*). Ils représentent plus des trois quarts des sérotypes des rongeurs positifs.

Entre juin 1999 et septembre 2000, Phulsuksombati *et al.* (2001) ont tenté de comparer les séroprévalences (TAM) vis à vis des leptospires sur des rongeurs capturés dans quatre provinces du nord-est de la Thaïlande, ayant enregistré des épidémies, avec une cinquième province voisine, Nakhon Phanom, sans cas déclarés (tableau 32).

Tableau 32 : Séropositivité vis à vis des antigènes de leptospire par espèce de rongeurs, dans plusieurs provinces de Thaïlande, en 1999 et 2000 (Phulsuksombati *et al.*, 2001)

Espèces	Provinces avec épidémies				Province sans épidémie	Total
	Buriram	Surin	Khon Khaen	Kalasin	Nakhon Phanom	
<i>R. norvegicus</i>	28/69 (40,6)*	19/58 (32,8)	31/77 (40,3)	14/47 (29,8)	35/56 (62,5)	127/307 (41,4)
<i>B. indica</i>	8/46 (17,4)	0/28	9/58 (15,5)	7/51 (13,7)	12/82 (14,6)	36/265 (13,6)
<i>R. losea</i>	4/25 (16)	0/15	0/2	1/23 (4,3)	1/6 (16,7)	6/71 (8,5)
<i>R. argentiventer</i>	0/20	0/39	0/2	6/36 (16,7)	0/1	6/98 (6,1)
<i>B. savilei</i>	1/15 (6,7)	1/21 (4,8)	0/5	1/9 (11,1)	0/1	3/51 (5,9)
<i>R. tanezumi</i>	3/26 (11,5)	1/40 (2,5)	4/20 (20)	1/40 (2,5)	1/58 (1,7)	10/184 (5,4)
<i>R. exulans</i>	0/22	-	1/42 (2,4)	1/66 (1,5)	0/117 (0)	2/316 (0,6)
<i>Mus cervicolor</i>	0/11	-	-	0/1	-	0/12
<i>Mus caroli</i>	0/6	-	-	-	-	0/6
Total	44/240 (18,3)	21/270 (7,8)	45/206 (21,8)	31/273 (11,4)	49/321 (15,3)	190/1310 (14,5)

* nombre / total (pourcentage)

Il ressort de cette étude le rôle potentiel de *R. norvegicus* comme vecteur de la leptospirose, avec une séroprévalence moyenne de 41,4%. Le plus souvent associé à un environnement urbain, la proximité entre *R. norvegicus* et les hommes en fait un aléa majeur dans la transmission de la leptospirose. Les populations à risque sont *de facto* très ciblées, en contact avec un milieu plus ou moins insalubre, tels le personnel des marchés ou les éboueurs.

Tout comme *R. norvegicus*, *R. losea* révèle une séroprévalence élevée, mais il faut mettre une réserve à ce résultat, l'espèce *R. losea* étant taxonomiquement mal définie. Les rongeurs que nous avons attribué à *R. losea*, durant nos captures, y correspondent morphologiquement, selon les critères d'identification à l'usage en Thaïlande, mais nous suspectons que les *R. losea* seraient en fait une sous-espèce de *R. tanezumi*. S'il s'agit effectivement de *R. losea*, appelé littéralement le petit rongeur des rizières en Thai (« Nu Na Lek »), son implication dans la transmission de la leptospirose aux paysans pourrait être importante. *R. losea* est en effet de passage dans les rizières sèches ou en eau, où l'on a pu le capturer à toutes les saisons.

L'identification des différents sérotypes montre leur diversité dans le milieu et au sein d'une même espèce (tableau 33).

Tableau 33 : Diversité des sérotypes de Leptospires trouvés par espèce de rongeur, selon les provinces avec ou sans épidémies, en Thaïlande (Phulsuksombati *et al.*, 2001)

Espèces	Sérotypes	Provinces avec épidémies	Provinces sans épidémie
<i>Bandicota indica</i>	<i>autumnalis</i>	13/16 (81) *	-
	<i>bataviae</i>	-	3/5 (60)
	<i>javanica</i>	-	1/5 (20)
	<i>australis</i>	2/16 (13)	1/5 (20)
	<i>pyrogenes</i>	1/16 (6)	-
<i>Rattus losea</i>	<i>autumnalis</i>	3/5 (60)	-
	<i>australis</i>	-	1/1
	<i>javanica</i>	1/5 (20)	-
	<i>sejroe</i>	1/5 (20)	-
<i>Rattus argentiventer</i>	<i>australis</i>	2/6 (33)	-
	<i>autumnalis</i>	1/6 (17)	-
	<i>pyrogenes</i>	1/6 (17)	-
	<i>javanica</i>	2/6 (33)	-
<i>Rattus tanezumi</i>	<i>bataviae</i>	-	1/1
<i>Rattus norvegicus</i>	<i>pyrogenes</i>	34/72 (47)	30/30
	<i>bataviae</i>	38/72 (53)	-
<i>Rattus exulans</i>	<i>autumnalis</i>	1/2 (50)	-
	<i>pyrogenes</i>	1/2 (50)	-
Total		101	37

* nombre / total (pourcentage)

Six souches ont été identifiées, les plus importantes étant *L. bataviae* et *L. pyrogenes* (tableau 34).

Tableau 34 : Proportion des différents sérotypes selon les provinces avec ou sans épidémies, en Thaïlande (Phulsuksombati *et al.*, 2001)

Sérotypes	Provinces avec épidémies	Provinces sans épidémie
<i>bataviae</i>	38 (37,6) *	4 (10,8)
<i>pyrogenes</i>	37 (36,6)	30 (81,1)
<i>autumnalis</i>	18 (17,8)	-
<i>australis</i>	4 (3,9)	2 (5,4)
<i>javanica</i>	3 (2,9)	1 (2,7)
<i>sejroe</i>	1 (0,9)	-
Total	101 (100)	37 (100)

* nombre (pourcentage)

La séparation entre zones épidémiques et zones sans cas déclarés (une seule province) n'est pas convaincante. Les mêmes sérotypes peuvent se retrouver dans les deux zones. De plus, des moyennes équivalentes de séroprévalence chez les rongeurs ont été trouvées dans les deux zones.

En 2003, Kositanont *et al.* ont collecté 1664 rongeurs à Bangkok et en zones rurales, et ont recherché dans le sérum la présence d'anticorps vis à vis des leptospires par un test d'agglutination microscopique (tableau 35). 5,6% des rongeurs se sont révélés positifs offrant une large variété de sérotypes de *Leptospira interrogans* variété : *pyrogenes* (39,1%), *sejroe* (19,1%), *bataviae* (10,0%), *pomona* (6,4%), *autumnalis* (5,5%), *copenhageni* (3,6%) et *javanica* (3,6%).

Tableau 35 : Taux de séropositivité par espèce de rongeurs, en Thaïlande, en 2003 (Kositanont *et al.*, 2003)

Espèces	Taux de séropositivité
<i>Rattus norvegicus</i>	39/496 (7,9) *
<i>Rattus exulans</i>	22/322 (6,8)
<i>Rattus tanezumi</i>	23/492 (4,7)
<i>Bandicota indica</i>	6/170 (3,5)
<i>Bandicota savilei</i>	4/175 (2,3)
<i>Mus musculus</i>	0/4
<i>Suncus murinus</i>	0/5
Total	94/1664 (5,6)

* nombre / total (pourcentage)

La prévalence la plus forte en anticorps anti-Leptospire est retrouvée chez les rongeurs *R. norvegicus*, le « rat des villes », une espèce facile à capturer et observable la nuit. Il est intéressant d'observer cette séroprévalence importante alors que l'incidence de la leptospirose est très faible à Bangkok. *B. indica*, souvent désigné comme le vecteur principal de la leptospirose, présente ici une faible séroprévalence, malgré le nombre important de spécimens capturés. En revanche, *R. exulans*, l'espèce vivant dans ou près des habitations, a une séropositivité élevée, ce qui le place comme un vecteur important, si l'on considère sa proximité à l'Homme.

Fin 2004, nous avons débuté la recherche de leptospires sur les rongeurs capturés en collaboration avec le département de pathobiologie de l'Université de Mahidol (Dr. Galayanee Doungchawee). Les techniques d'immuno-histologie utilisées permettent d'identifier et de localiser la présence d'antigène sur des coupes tissulaires de rein, par immunofluorescence directe. Cette technique peut différencier 10 sérotypes ainsi que de potentielles coinfections, mais nécessite un long processus d'analyse. Nous avons sélectionné un faible échantillon, 94 spécimens venant des provinces de Phrae, de Loei et de Sakhon Nakhon, pour avoir une première indication des espèces potentiellement vectrices (tableau 36). Un seul *B. indica* ainsi que 30 *B. savilei* piégés dans ces trois provinces, ont été testés. Des espèces plus rares, obtenues lors du piégeage, ont été ajoutées : *R. losea*, *R. sakaeratensis* (rarement décrit en Thaïlande car confondu avec *R. losea*), *R. andamanensis* (souvent confondu en Thaïlande avec *R. tanezumi*), *Berylmys berdmorei* et *Berylmys bowersi* (morphologiquement proches de *Bandicota indica*) et *Leopoldamys sabanus*, qui, avec les *Bandicota spp.* et les *Berylmys spp.*, constitue un rongeur de grande taille (corps long de 20 à 30 cm) dans les campagnes thaïlandaises. A ceux-là s'ajoutent *R. tanezumi* et *R. exulans*, à la fois communs et donc vecteurs connus de la leptospirose.

Tableau 36 : Séropositivité vis à vis des antigènes de leptospire, détectés par immunofluorescence directe sur des sections de reins de rongeurs murins collectés dans trois sites du nord et du nord-est de la Thaïlande (Herbreteau, Doungchawee *et al.*, 2005, non publié)

Espèces	Phrae	Loei	Sakhon Nakhon	Total
<i>Rattus tanezumi</i>	0/1	2/7 (28,6) *	0/4	2/12 (16,7)
<i>Rattus exulans</i>	0/13	2/8 (25,0)	0/5	2/26 (7,7)
<i>Rattus andamanensis</i>	0/3	0/1	-	0/4
<i>Rattus sakaeratensis</i>	-	0/3	-	0/3
<i>Rattus losea</i>	0/2	-	-	0/2
<i>Bandicota indica</i>	0/1	-	-	0/1
<i>Bandicota savilei</i>	0/30	-	-	0/30
<i>Berylmys berdmorei</i>	0/9	0/1	-	0/10
<i>Berylmys bowersi</i>	-	0/3	-	0/3
<i>Leopoldamys sabanus</i>	0/1	0/2	-	0/3
Total	0/60	4/25 (16)	0/9	4/94 (4,2)

* nombre / total (pourcentage)

Ces premiers résultats ne nous permettent pas de conclure, ni sur les prévalences par région, ni sur les prévalences par espèce. Les espèces les plus rares, et jamais testées auparavant, sont toutes négatives. Les 30 spécimens de *B. savilei*, piégés sur les collines du bassin versant de la Mae Thang, dans la province de Phrae, sont tous négatifs. *B. savilei* est sur cette zone une peste agricole, envahissant les parcelles de maïs. Les pentes importantes préviennent la stagnation des eaux ce qui limiterait ainsi la transmission des leptospires. La leptospirose serait donc absente de cet environnement et les agriculteurs y vivant peu ou pas exposés. *R. tanezumi* et *R. exulans* sont donc les deux espèces trouvées positives dont on connaît déjà l'implication dans la transmission et leurs habitudes péri-domestique et domestique.

L'intérêt de cette technique est de prouver l'existence de coinfections, qui sont le cas pour les quatre spécimens positifs, avec la mise en évidence de six sérotypes différents (tableau 37).

Tableau 37 : Sérotypage des rongeurs positifs, collectés dans trois sites du nord et du nord-est de la Thaïlande (Herbreteau, Douchawee *et al.*, 2005, non publié)

Espèces	Sexe	Sérotypes indentifiés
<i>Rattus tanezumi</i>	M	<i>canicola+autumnalis+bataviae+javanica</i>
<i>Rattus tanezumi</i>	F	<i>autumnalis+pomona</i>
<i>Rattus exulans</i>	F	<i>autumnalis+bratislava</i>
<i>Rattus exulans</i>	F	<i>autumnalis+javanica</i>

Il est intéressant de noter que l'un des *R. tanezumi* est infecté par *L. i. canicola*, qui est généralement plus spécifique aux chiens et un autre par *L. i. pomona*, plus spécifique des porcins et des bovins. Ceci est en faveur du rôle de *R. tanezumi* dans une transmission horizontale inter-espèce de la leptospirose. Adapté à différents biotopes, près des habitations, des élevages ou dans un environnement agricole ou plus sauvage, *R. tanezumi* peut s'infecter au contact d'autres animaux et transmettre de nouveaux sérotypes à l'Homme, ou réciproquement infecter le bétail de sérotypes propres aux rongeurs.

Synthèse :

L'ensemble des analyses de séropositivité aux antigènes de la leptospirose a permis de tester treize espèces de petits rongeurs dont onze Murinae (tableau 38). Parmi ces onze espèces, quatre sont en faibles effectifs : *Berylmys berdmorei*, *Mus caroli*, *M. cervicolor* et *M. musculus*. Aucune de ces quatre espèces n'est positive aux antigènes de la leptospirose mais leur faible échantillonnage ne permet pas de conclure pour autant qu'elles n'en soient pas des vecteurs potentiels. Les sept autres espèces, toutes largement échantillonnées (au minimum, 86 spécimens), sont toutes positives. Si la prévalence globale est de 8%, les valeurs des prévalences par espèce sont dispersées, de 2,6% pour *B. savilei* (prévalence faible) à 19,9% pour *R. norvegicus* (prévalence forte). Une question d'analyse se pose ici : la séroprévalence est-elle liée à l'échantillonnage des espèces ?

Tableau 38 : Synthèse de l'ensemble des recherches publiées sur la leptospirose, par espèce de rongeurs, en Thaïlande.

Espèces	Leptospirose
<i>Rattus norvegicus</i>	167/841 (19,9) *
<i>Bandicota indica</i>	102/1006 (10,1)
<i>Rattus losea</i>	6/86 (7,0)
<i>Rattus argentiventer</i>	6/102 (5,9)
<i>Rattus tanezumi</i>	106/1842 (5,8)
<i>Rattus exulans</i>	48/1242 (3,9)
<i>Bandicota savilei</i>	12/464 (2,6)
<i>Mus cervicolor</i>	0/12
<i>Berylmys berdmorei</i>	0/6
<i>Mus caroli</i>	0/6
<i>Suncus murinus</i>	0/5
<i>Mus musculus</i>	0/4
<i>Tupaia glis</i>	0/4
Total	447/5620 (8,0)

* nombre / total (pourcentage)

Pour établir s'il existe un lien entre le nombre de rongeurs piégés et le nombre de positifs par espèce, nous pouvons réaliser le test de χ^2 d'homogénéité sur les distributions d'effectifs (tableau 39). Ce test ne peut s'appliquer qu'aux sept espèces dont les effectifs théoriques sont supérieurs ou égaux à 5.

Les tests de χ^2 (ou test de χ^2 de Pearson) permettent de comparer les distributions des valeurs de tous types de variable, qualitative ou quantitative :

- *Le test de χ^2 de conformité permet de comparer une distribution observée sur un échantillon à une distribution connue ou théorique.*
- *Le test de χ^2 d'homogénéité permet de comparer deux ou plusieurs distributions observées sur des échantillons.*
- *Le test de χ^2 d'indépendance permet d'évaluer la liaison entre deux variables qualitatives.*
- *Le test de χ^2 de tendance permet d'évaluer la liaison entre une variable ordinale et des pourcentages.*

Un tableau de contingence regroupe les différentes valeurs prises par les échantillons : ce sont les effectifs observés.

Le test de χ^2 calcule les effectifs théoriques qui correspondraient à des distributions identiques des échantillons. Il s'applique, à condition que les effectifs théoriques soient chacun supérieurs ou égaux à 5, en vérifiant que l'ensemble des valeurs observées et théoriques suit une loi de χ^2 :

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{observé}_{ij} - \text{théorique}_{ij})^2}{\text{théorique}_{ij}}$$

Si l'ensemble des différences des valeurs observées et théoriques de chacune des variables des échantillons, est faible et inférieure à une valeur seuil de la loi de χ^2 avec un risque généralement fixé à 5% ($p > 0,05$), alors ce test détermine que les distributions observées et théoriques sont équivalentes. Dans le cas contraire, elles sont différentes ($p < 0,05$).

Tableau 39 : Tableau de contingence des effectifs observés et effectifs théoriques pour l'ensemble des études publiées portant sur la leptospirose en Thaïlande

Espèces	Effectifs observés		Effectifs théoriques	
	Total	Positifs	Total	Positifs
<i>Bandicota indica</i>	1006	102	1025,9	82,1
<i>Bandicota savilei</i>	464	12	440,7	35,3
<i>Rattus argentiventer</i>	102	6	100,0	8,0
<i>Rattus exulans</i>	1242	48	1194,4	95,6
<i>Rattus losea</i>	86	6	85,2	6,8
<i>Rattus norvegicus</i>	841	167	933,3	74,7
<i>Rattus tanezumi</i>	1842	106	1803,6	144,4
Total	5583	447	5583,0	447,0

Les distributions par espèce des effectifs piégés et des effectifs de positifs aux antigènes de la leptospirose sont différentes (le χ^2 calculé est très supérieur au χ^2 à 5% ; $p < 0,05$). Seuls *R. argentiventer* et *R. losea* ont des distributions d'effectifs observés et théoriques proches. Le nombre de rongeurs positifs par espèce n'est donc pas dépendant du nombre de rongeurs testés, ou, en d'autres termes, les différences d'effectifs de positifs entre espèces n'est pas fonction de l'échantillonnage. Nous pouvons donc en conclure que *R. norvegicus* est un vecteur important de la leptospirose, en milieu urbain où il a été piégé. Les analyses ont montré que près d'un spécimen sur cinq était positif, cause et conséquence des échanges horizontaux importants entre membres d'une même communauté.

Les trois espèces inféodées aux rizières ont, après *R. norvegicus*, les plus fortes prévalences : *B. indica* (10,1%), *R. losea* (7,0%) et *R. argentiventer* (5,9%). Vivant dans un environnement humide et travaillé par l'Homme, ces trois rongeurs sont sans doute les vecteurs essentiels dans la transmission de la leptospirose à l'Homme dans les campagnes. L'humidité des rizières, naturelle

en saison des pluies et souvent accentuée par l'irrigation des terres, contribue à la survie des bactéries dans le milieu et à leur transmission vers l'Homme mais sans doute aussi à la transmission horizontale intra ou inter-espèces. Enfin, les deux rongeurs vivant le plus près des hommes, *R. tanezumi* et *R. exulans* ont tous deux des séroprévalences non négligeables (respectivement 5,8 et 3,9). Contrairement aux espèces des rizières, elles ne vivent pas dans un environnement humide favorisant la transmission. En revanche, leur proximité à l'Homme en accroît le risque d'infection.

2.3.1.2. Sérotypage vis à vis des antigènes de leptospires sur des patients : une connaissance limitée des infections humaines

Depuis 1943, où a été reporté le premier cas humain de leptospirose, des enquêtes sérologiques ponctuelles ont montré des prévalences non négligeables parmi les populations rurales essentiellement (Sundharagiati *et al.*, 1966). En 1983, Bunnag *et al.* publient des résultats de recherche des antigènes de la leptospirose, sur des cas suspectés des hôpitaux de Bangkok et de province, de 1971 à 1982. Ces données de sérologie n'indiquent en aucun cas une prévalence puisque les patients présentaient des symptômes de fièvre pouvant être attribués à la leptospirose, mais renseignent sur la diversité des sérotypes alors identifiés (tableau 40).

Tableau 40 : Prévalence des antigènes des principaux sérotypes de leptospires sur des cas suspectés hospitalisés à Bangkok et en province, de 1971 à 1982 (Bunnag *et al.*, 1983)

Sérotypes	Hôpitaux de Bangkok	Hôpitaux de province	Total
<i>bataviae</i>	267 (68,3) *	91 (16,6)	358 (38,2)
<i>autumnalis</i>	17(4,3)	217 (39,7)	234 (24,9)
<i>hebdomadis</i>	10 (2,6)	54 (9,9)	64 (6,8)
<i>javanica</i>	23 (5,9)	28 (5,1)	51 (5,4)
<i>canicola</i>	23 (5,9)	27 (4,9)	50 (5,3)
<i>gripphotyphosa</i>	16 (4,1)	26 (4,8)	42 (4,5)
<i>wolffi</i>	8 (2)	33 (6,0)	41 (4,4)
<i>australis</i>	9 (2,3)	28 (5,1)	37 (3,9)
<i>icterohaemorrhagiae</i>	7 (1,8)	27 (4,9)	34 (3,6)
<i>pyrogenes</i>	3 (0,8)	13 (2,4)	16 (1,7)
<i>hyos</i>	4 (1,0)	3 (0,5)	7 (0,7)
Total positifs / examinés (%)	387 / 4 920 (7,8)	547 / 4822 (11,3)	934 / 9 742 (9,6)

* nombre (pourcentage)

Onze sérotypes de *Leptospira interrogans* ont été détectés parmi les patients, à la fois à Bangkok et en province. Un pourcentage plus élevé est observé dans les hôpitaux de province (11,3%), où un plus grand nombre de cas de leptospirose est attendu. Le pourcentage de cas diagnostiqués à Bangkok, 7,8% des cas suspectés, semble élevé si l'on considère que les populations urbaines sont moins exposées. Ceci pourrait s'expliquer par un meilleur diagnostic dans les hôpitaux de Bangkok, dont les infrastructures et la provision en personnel médical ne sont pas comparables aux hôpitaux de province, souvent limités à des soins généraux. Cependant, le pourcentage de chacun des sérotypes diffère significativement entre Bangkok et la province (test de χ^2 d'homogénéité sur tous les sérotypes, excepté *hyos*, $p < 0,05$). A Bangkok, le sérotype *bataviae* constitue plus des deux tiers des sérotypes identifiés, alors que les autres sérotypes identifiés restent rares (moins de 6%). Dans les hôpitaux de province, le sérotype *autumnalis* est le plus fréquent (près de 40%), suivi de *bataviae* (environ 1 sur 6) et de *hebdomadis* (environ 1 sur 10). La prédominance du sérotype *bataviae* avait été enregistrée dès les premières recherches de leptospirose (Sundharagiati *et al.*, 1966).

En 1983, Bunnag *et al.* ont accompagné leur étude des vecteurs de la leptospirose par une importante enquête sérologique sur l'Homme (tableau 41).

Tableau 41 : Séropositivité vis à vis des antigènes de leptospire, dans trois sites du nord et du nord-est de la Thaïlande (Bunnag *et al.*, 1983)

Provinces	Hommes	Femmes	Total
Nakhon Ratchasima	1/636 (0,2) *	0/607	1/1243 (0,1)
Khon Kaen	4/871 (0,4)	1/1004 (0,1)	5/1875 (0,3)
Phitsanulok	5/602 (0,7)	1/756 (0,1)	6/1358 (0,4)
Total	10/2109 (0,5)	2/2367 (0,1)	12/4476 (0,3)

* nombre / total (pourcentage)

Les séropositivités moyennes sont très faibles, de 0,1 à 0,4%, mais révèlent tout de même des différences. L'essentiel des cas surviennent chez des hommes, ce qui traduit une exposition liée aux activités : le contact avec l'eau, que ce soit l'irrigation ou les activités de pêche, ressort aussi comme un facteur d'exposition. *L. canicola* et *L. icterohaemorrhagiae* ont été les deux sérotypes les plus fréquemment identifiés.

Au début de l'épidémie dans la région nord-est, en 1996, Montian-Arsana *et al.* ont testé (TAM) la présence d'anticorps vis à vis de la leptospirose sur des personnes hospitalisées, et présentant des signes cliniques d'infection par les leptospires. Onze souches différentes ont été identifiées, montrant la diversité des leptospires. Néanmoins, les plus abondantes furent *L. interrogans icterohaemorrhagiae* (31,7%) et *L. interrogans ballico* (26,8%).

Tableau 42 : Séropositivité vis à vis des antigènes de leptospire, en 1996, dans différentes provinces du nord-est de la Thaïlande (Montian-Arsana *et al.*, 1997)

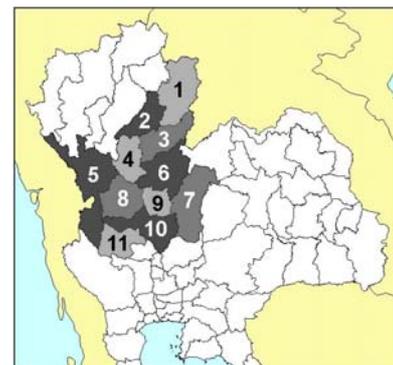
Provinces	Hommes	Femmes	Total
Nakhon Ratchasima	26/208 (12,5) *	0/52	26/260 (10)
Surin	3/30 (10)	1/18 (5,5)	4/48 (8,3)
Buriram	2/38 (5,2)	0/11	2/49 (4)
Chaiyapum	7/28 (25)	0/5	7/33 (21,2)
Total	38/304 (12,5)	1/86(1,2)	39/390 (10)

* nombre / total (pourcentage)

Seules les provinces ayant un total de personnes testées supérieur à 30 ont été conservées dans ce tableau. Il existe une différence observée de séroprévalence entre les hommes et les femmes, 12,5% des hommes étant en moyenne séropositifs contre 1,2% pour les femmes. Les effectifs de patients positifs sont faibles ce qui ne permet pas de tester si cette différence observée est statistiquement significative. En effet les effectifs théoriques de femmes positives à Surin, Buriram et Chaiyapum sont inférieurs à 5 (respectivement 0,9 ; 0,4 et 1,5). Néanmoins, 83% des hommes sont agriculteurs ce qui traduit la forte exposition des hommes travaillant dans les champs. Par ailleurs, si l'on considère le manque de représentativité de ces résultats, il est difficile d'émettre des conclusions quant à d'éventuelles différences spatiales de séroprévalence.

En 1995 a débuté le dépistage de la leptospirose par TAM, au centre médical régional de Phitsanulok, contrôlant les provinces du sud de la région nord. De 1995 à 1999, une montée épidémique et une augmentation de la diversité des sérotypes identifiés ont été observées (Boonyod, 2001 ; tableau 43 ; carte 30).

C'est au cours de cette période que les techniques de dépistage ont été mises au point et progressivement mises en place dans les différentes provinces. Une disparité selon les provinces est donc attendue. De plus, le test des patients n'étant pas obligatoire, il dépend du parcours médical, via les dispensaires ou les hôpitaux, dont l'expertise de la leptospirose peut être très bonne ou au contraire mauvaise.

**Carte 30 : Situation des provinces de l'étude Boonyod, 2001**

Ainsi, il est difficile d'observer d'éventuelles identités spatiales à partir de ces données, fortement biaisées par le système de soins.

Tableau 43 : Taux de séropositivité des patients suspectés de leptospirose, dans les provinces du sud de la région nord, en Thaïlande de 1995 à 1999 (les provinces sont ordonnées du nord au sud) (Boonyod, 2001) :

Provinces	Nombre de cas positifs / total testé (pourcentage)				
	1995	1996	1997	1998	1999
Nan (1)	5/37 (16) *	1/37 (2,7)	1/47 (2.1)	7/65 (10.7)	10/93 (10.7)
Phrae (2)	6/14 (42)	5/32 (15)	0/23	63/246 (25.6)	256/730 (35.1)
Uttaradit (3)	-	-	0/1	2/2 (100)	3/5 (60)
Sukhothai (4)	0/7	1/14 (7)	0/15	0/6	19/69 (27.5)
Tak (5)	0/3	2/5 (40)	1/15 (6.7)	0/6	7/45 (15.6)
Phitsanulok (6)	28/138 (21)	10/183 (5,5)	4/197 (4.1)	17/191 (8.9)	32/242 (13.2)
Phetchabun (7)	4/26 (15.4)	6/40 (15)	1/77 (1.3)	13/43 (30)	46/176 (26.1)
Kampaeng Phet (8)	1/6 (16)	0/4	0/6	-	14/29 (48.3)
Phichit (9)	0/1	0/1	0/2	-	2/2 (100)
Nakhon Sawan (10)	1/6 (16)	3/8 (37,5)	0/8	8/36 (22)	18/49 (36.7)
Uthaitani (11)	3/38 (7,9)	1/21 (4,8)	0/32	1/31 (3.2)	8/25 (20)
Total positifs / total testé (pourcentage)	48/276 (17,4)	29/345 (8,4)	7/423 (1,7)	111/626 (17,7)	412/1465 (28,1)

* nombre / total (pourcentage)

La recherche des sérotypes sur 607 cas a permis d'en différencier 15, révélant la diversité sérologique des épidémies de leptospirose (tableau 44).

Tableau 44 : Sérotypage des cas humains de leptospirose, dans les provinces du sud de la région nord, en Thaïlande de 1995 à 1999 (Boonyod, 2001)

Sérotypes	Nombre de sérotypes identifiés (pourcentage annuel)					
	1995	1996	1997	1998	1999	Total
<i>akiyami A.</i>	3 (6,3) *	2 (6,9)	1 (14,3)	1 (0,9)	31 (7,5)	38 (6,3)
<i>ballico</i>	5 (10,4)	5 (17,2)	2 (28,6)	1 (0,9)	23 (5,6)	36 (5,9)
<i>bataviae</i>	-	1 (3,5)	2 (28,6)	-	-	3 (0,5)
<i>canicola</i>	2 (4,2)	-	-	-	2 (0,5)	4 (0,7)
<i>gripphotyphosa</i>	-	-	-	-	-	-
<i>hebdomadis</i>	5 (10,4)	-	-	-	5 (1,2)	10 (1,6)
<i>hyos</i>	-	1 (3,5)	1 (14,3)	-	1 (0,2)	3 (0,5)
<i>icterohaemorrhagiae</i>	10 (20,8)	9 (31,0)	1 (14,3)	-	10 (2,4)	30 (4,9)
<i>javanica</i>	-	3 (10,3)	-	1 (0,9)	13 (3,2)	17 (2,8)
<i>pomona</i>	7 (14,6)	4 (13,8)	-	7 (6,3)	16 (3,9)	34 (5,6)
<i>pyrogenes</i>	11 (22,9)	3 (10,3)	-	96 (86,5)	87 (21,1)	197 (32,5)
<i>wolffi</i>	1 (2,1)	1 (3,5)	-	3 (2,7)	12 (2,9)	17 (2,8)
<i>bangkoki</i>	-	-	-	-	1 (0,2)	1 (0,2)
<i>bratislava</i>	-	-	-	-	142 (34,5)	142 (23,4)
<i>copenhageni</i>	-	-	-	-	2 (0,5)	2 (0,3)
<i>hebdomadis + javanica</i>	-	-	-	-	1 (0,2)	1 (0,2)
<i>bratislava + ballico</i>	-	-	-	-	17 (4,1)	17 (2,8)
<i>bratislava + pyrogenes</i>	-	-	-	-	18 (4,4)	18 (3,0)
<i>bratislava + autres</i>	-	-	-	-	28 (6,8)	28 (4,6)
<i>ballico + autres</i>	2 (4,2)	-	-	-	2 (0,5)	4 (0,7)
<i>icterohaemorrhagiae + autres</i>	2 (4,2)	-	-	-	-	2 (0,3)
<i>pyrogenes + autres</i>	-	-	-	2 (1,8)	1 (0,2)	3 (0,5)
Total identifiés	48	29	7	111	412	607

* nombre (pourcentage)

Cette étude apporte les premières évidences de co-infections de leptospires chez l'Homme (12,1% des cas). Les sérotypes *L. pyrogenes* et *L. bratislava* sont nettement les plus présents (respectivement 32,5% et 33,8%). Le second n'a pas été détecté avant 1999 où il apparaît avec une prévalence très forte et associé à d'autres sérotypes. Les prévalences des différents sérotypes semblent être très variables dans le temps.

Dans la province de Phrae, le Ministère de la santé provincial a tenté de typer les différents cas humains suspectés de leptospirose, dès 1995, par un TAM. Cette province était alors déjà touchée par la leptospirose mais surtout (et sans doute parce que) pionnière dans le dépistage (tableau 45). Publiés en 2003 par Tanjatham *et al.*, 13 sérotypes de leptospires ont pu être déterminés, ainsi que de nouvelles évidences de co-infections (6% des cas). Cette étude montre aussi l'historique de l'émergence et la considérable diversité des sérotypes.

Tableau 45 : Sérotypage (TAM) de *Leptospira interrogans* sur les patients suspectés, dans la province de Phrae de 1995 à 2003 (Tanjatham *et al.*, 2003)

Sérotypes	Nombre de sérotypes isolés (pourcentage annuel)						Total
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	
<i>akiyami A.</i>	-	-	-	2 (3,6)	4 (7,0)	10 (7,9)	16 (6,4)
<i>ballico</i>	2 (33,3) *	2 (33,3)	-	-	5 (8,8)	-	9 (3,6)
<i>bratislava</i>	-	-	-	-	34 (59,7)	84 (66,7)	118 (47,2)
<i>bangkoki</i>	-	-	-	-	1 (1,8)	-	1 (0,4)
<i>hebdomadis</i>	-	-	-	-	1 (1,8)	1 (0,8)	2 (0,8)
<i>icterohaemorrhagiae</i>	1 (16,7)	3 (50,0)	-	-	-	1 (0,8)	5 (2,0)
<i>copenhageni</i>	-	-	-	-	-	2 (1,6)	2 (0,8)
<i>javanica</i>	-	-	-	-	2 (3,6)	1 (0,8)	3 (1,2)
<i>pomona</i>	1 (16,7)	1 (16,7)	-	1 (1,8)	-	2 (1,6)	5 (2,0)
<i>pyrogenes</i>	1 (16,7)	-	-	50 (91,0)	5 (8,8)	-	56 (22,4)
<i>rachmati</i>	-	-	-	-	-	8 (6,3)	8 (3,2)
<i>saigon</i>	-	-	-	-	-	6 (4,8)	6 (2,4)
<i>wolffi</i>	-	-	-	1 (1,8)	2 (3,6)	1 (0,8)	4 (1,6)
<i>akiyami A.</i> + <i>bratislava</i>	-	-	-	-	2 (3,6)	2 (1,6)	4 (1,6)
<i>akiyami A.</i> + autres	-	-	-	-	1 (1,8)	1 (0,8)	2 (0,8)
<i>bratislava</i> + autres	-	-	-	-	-	3 (2,4)	3 (1,2)
autres coinfections	1 (16,7)	-	-	1 (1,8)	-	4 (3,2)	6 (2,4)
Total identifiés	6 / 15 (40)	6 / 36 (16,7)	0 / 16 (0)	55 / 217 (25,3)	57 / 246 (23,2)	126 / 270 (46,7)	250 / 800 (31,3)

* nombre (pourcentage)

Sur la période étudiée, le sérotype le plus présent est *L. bratislava* (47,2%) pourtant non détecté avant 1999 (tableau 46). Viennent ensuite les sérotypes *L. pyrogenes* et *L. akiyami A.* avec des prévalences fortes. Les autres n'ont été qu'occasionnellement isolés. L'existence de co-infections par différents sérotypes est une nouvelle fois mise en évidence, soutenant l'idée d'un manque de spécificité d'infection par les leptospires. Des isollements furent ensuite réalisés sur bovins et rongeurs des rizières, en zone épidémique, dans le sous-district de HuayMay (district de Song), et en zone non-épidémique, dans le sous-district de Najak (district Muang, c'est-à-dire proche de la ville de Phrae).

Cette étude a soulevé l'importance des autres mammifères dans la transmission et en particulier celle des bovins rendant les agriculteurs très exposés. *L. bratislava* est le sérotype le plus important trouvé sur les patients (76,5%). Dans le même district, il a été retrouvé sur les bovins (38,5%) et pas sur les rongeurs, mais le nombre d'animaux positifs est trop faible (13 bovins et 10 rats) pour interpréter ces prévalences. L'infection des rongeurs par *L. bratislava* est tout aussi possible, comme nous l'avons prouvé en l'identifiant sur un *R. exulans*, dans la province de Loei.

Tableau 46 : Comparaison des sérotypes (TAM) de *L. interrogans* sur les patients suspectés avec ceux de bovins et de rongeurs de la province de Phrae de 1995 à 2003 (Tanjatham *et al.*, 2003)

Sérologie	Lieu	Pos / Tot (%)	Sérotype	Pos / Tot (%)	Titrage
Patients	Song hospital	34/47 (72,3) *	<i>bratislava</i>	26 (76,5)	1:12800
			<i>saigon</i>	2 (5,9)	1:800
			<i>akiyami A.</i>	1 (2,9)	1:400
			<i>copenhageni</i>	1 (2,9)	1:1600
			<i>wolffi</i>	1 (2,9)	1:100
			autres coinfections ¹	3 (8,8)	
Bovins	Huay May	13/99 (13,1)	<i>bratislava</i>	5 (38,5)	1:3000
			<i>pyrogenes</i>	3 (23,1)	1:300
			<i>wolffi</i>	2 (15,4)	1:100
			<i>pomona</i>	1 (7,7)	1:300
	autres coinfections ²	2 (15,4)			
	Najak	2/35 (5,7)	<i>pyrogenes</i>	1 (50,0)	1:1000
			autres coinfections ³	1 (50,0)	
Total		15/134 (11,2)			
Rats sauvages	Huay May	10/64 (15,6)	<i>pomona</i>	3 (30,0)	1:300
			<i>akiyami A.</i>	2 (20,0)	1:300
			<i>sejroe</i>	1 (10,0)	1:300
			autres coinfections ⁴	4 (40,0)	
	Najak	4/19 (21,1)	<i>akiyami A.</i>	3 (30,0)	1:3000
Total		14/83 (16,9)			

* nombre / total (pourcentage)

¹: 1 cas de *L. bratislava* + *L. copenhageni* ; 2 cas de *L. javanica* + *L. pomona*²: 1 cas de *L. bratislava* + *L. bangkoki*; 1 cas de *L. bratislava* + *L. wolffi*³: 1 cas de *L. pomona* + *L. wolffi*; 3 cas de *L. akiyami A.* + *L. pomona* ; 1 *L. akiyami A.* + *L. wolffi* + *L. sejroe*

De juin à août 2000, Pasarj *et al.* ont mesuré la séroprévalence (IgM par ELISA) de la leptospirose chez des patients hospitalisés pour fièvres, avec ou sans douleurs musculaires, avec ou sans maux de tête, dans la province de Sakhon Nakhon. Les patients ont été séparés en deux groupes, ceux ayant eu des activités les exposant aux infections de leptospirose (agriculture, passage occasionnel dans les rizières), au moins six heures par jour durant les deux semaines précédant la fièvre, et ceux n'ayant pas eu ce type d'activités à risque. Parmi les 53 malades du premier groupe, 29 (54,7%) étaient positifs, alors que parmi les 47 malades du groupe de contrôle, 8 (17%) présentaient des IgM contre les leptospires. Cette étude a illustré l'importance des facteurs d'exposition dans l'infection mais s'est surtout attachée à préciser la description clinique des symptômes, en 2000 soit au début de l'épidémie.

Enfin, une seule étude s'est attachée à identifier des facteurs de risque en enquêtant auprès des patients hospitalisés dans les différentes structures de la province de Nakhon Ratchasima, entre août et décembre 1998 (Tangkanakul *et al.*, 1998, 1999). La pertinence statistique de l'étude est difficile à entrevoir mais les résultats montrent l'importance du contact prolongé avec l'eau des rizières.

2.3.2. Le typhus des broussailles : une prévalence élevée

Peu de recherches se sont intéressées au typhus des broussailles en Thaïlande. Imvithaya *et al.*, au cours de l'étude menée entre octobre 1998 et avril 2000 sur la leptospirose, a aussi mesuré la séropositivité vis à vis d'*Orientia tsutsugamushi* (tableau 47).

Tableau 47 : Présence d'anticorps vis à vis d'*Orientia tsutsugamushi* par espèce de rongeurs et par province, lors d'une étude menée en 1998-2000 (Imvithaya *et al.*, 2001)

Provinces	Espèces					Total
	<i>Bandicota indica</i>	<i>Bandicota savilei</i>	<i>Rattus exulans</i>	<i>Rattus tanezumi</i>	<i>Rattus norvegicus</i>	
Phra Nakhon Sri Ayuthaya (C*)	14/18 (77,8)**	19/26 (73,1)	7/41 (17,1)	56/70 (80)	-	96/155 (61,9)
Chonburi (E)	2/6 (33,3)	14/18 (77,8)	3/8 (37,5)	8/16 (50)	8/22 (36,4)	35/70 (50,0)
Chantaburi (E)	-	5/18 (27,8)	0/3	43/70 (61,4)	3/12 (25)	51/103 (49,5)
Nakhon Ratchasima (NE)	14/56 (25)	-	1/50 (2)	4/13 (30,8)	-	19/119 (16,0)
Udon Thani (NE)	-	-	4/43 (9,3)	3/12 (25)	-	7/55 (12,7)
Phitsanulok (N)	10/13 (76,9)	13/95 (13,7)	1/51 (2,0)	1/107 (0,9)	-	25/266 (9,4)
Buriram (NE)	5/37 (13,5)	-	0/16	2/32 (6,25)	0/1	7/86 (8,1)
Petchabun (C)	4/55 (7,3)	-	2/32 (6,2)	1/7 (14,3)	-	7/94 (7,5)
Surat Thani (S)	0/2	-	0/15	4/42 (9,5)	-	4/59 (6,8)
Trang (S)	0/4	0/2	0/60	1/52 (1,9)	-	1/118 (0,9)
Total	49/191 (25,6)	51/159 (32,1)	18/319 (5,6)	123/421 (29,2)	11/35 (31,4)	252/1125 (22,4)

* N : nord, NE : nord-est, C : centre, E : est, S : sud ; ** nombre / total (pourcentage)

Sur 1125 rongeurs murins, 22,4% étaient séropositifs vis à vis d'*Orientia tsutsugamushi*. Les espèces collectées sont les rongeurs murins les plus fréquents en Thaïlande. Le nombre de spécimens par espèce et par région permet effectivement d'interpréter les résultats en terme de localisation géographique et de prévalence par espèce. Les cinq espèces montrent des prévalences moyennes équivalentes, qu'elles soient sauvages (*B. indica* et *B. savilei*), péri-domestiques (*R. tanezumi* et *R. norvegicus*) ou domestiques (*R. exulans*). Ces prévalences moyennes par espèce, de 22 à 32%, sont fortes en regard des résultats de sérologie habituels. Les prévalences les plus fortes ont été mesurées dans la région centre, dans la province d'Ayuthaya (61,9%), et l'est, dans les provinces de Chonburi (50,0%) et Chantaburi (49,5%). Certaines espèces ont des prévalences extrêmement élevées en une province donnée : ainsi, *R. tanezumi* a une prévalence de 80% dans la province d'Ayuthaya et seulement 0,9% plus au nord dans la province de Phitsanulok. Ces disparités pourraient être le reflet de différentes méthodes d'échantillonnage menées sur chaque site.

L'essentiel des recherches sur le typhus des broussailles en Thaïlande a été réalisé au sein de l'AFRIMS (Armed Forces Research Institute of Medical Sciences). Ce groupe a développé une expertise dans la difficile identification des larves de trombiculides, vectrices d'*Orientia tsutsugamushi*, qui se fixent préférentiellement dans les oreilles des rongeurs. De 1992 à 2001, ils ont piégé 3498 petits mammifères dont 97% de rongeurs murins pour y rechercher la séroprévalence vis à vis d'*Orientia tsutsugamushi*, essentiellement dans la province de Chiang Rai, dans le nord du pays, où les prévalences humaines du typhus des broussailles étaient parmi les plus fortes (tableau 48).

Ces résultats ont tout d'abord révélé des problèmes d'identification des espèces de rongeurs avec l'utilisation exclusive d'une taxonomie datant de près de vingt ans (celle de Marshall *et al.*, 1988). Il faut aussi noter que les effectifs de certaines espèces sont trop faibles pour pouvoir en discuter l'implication. Les prévalences enregistrées lors de cette étude sont légèrement plus faibles que celles des travaux précédents avec une moyenne de 16,3%.

Tableau 48 : Présence d'anticorps contre *Orientia tsutsugamushi* par espèce de rongeurs collectés dans le nord de la Thaïlande, de 1992 à 2001 (Coleman *et al.*, 2003)

Espèces	Nombre de cas positifs / total testé (%)
<i>Bandicota indica</i>	52/564 (9,2)
<i>Bandicota savilei</i>	1/30 (3,3)
<i>Berylmys berdmorei</i>	2/9 (22,2)
<i>Berylmys bowersi</i>	0/9
<i>Leopoldamys sabanus</i>	0/1
<i>Maxomys surifer</i>	0/19
<i>Menetes berdmorei</i>	0/24
<i>Mus caroli</i>	0/69
<i>Mus cervicolor</i>	0/17
<i>Niviventer spp.</i>	1/4 (25,0)
<i>Rattus andamanensis</i>	1/12 (8,3)
<i>Rattus argentiventer</i>	5/23 (21,7)
<i>Rattus exulans</i>	2/146 (0,7)
<i>Rattus losea</i>	82/638 (12,9)
<i>Rattus nitidus</i>	0/1
<i>Rattus norvegicus</i>	0/2
<i>Rattus tanezumi</i>	419/1863 (22,5)
<i>Tupaia glis</i>	1/49 (2,0)
Total	566/3480 (16,3)

Quatre espèces dépassent les 20% de prévalence : deux espèces forestières, *Niviventer spp.* et *Berylmys berdmorei*, et deux agricoles, *R. argentiventer* et *R. tanezumi*. Contrairement à la première étude, *R. exulans* a une prévalence très faible, ce qui paraît logique quant au cycle d'*Orientia tsutsugamushi*, dépendant des acariens dans un environnement plus sauvage. Enfin, pour la première fois, ces résultats révèlent la possible infection d'un insectivore, le *Tupaia*. D'après ces travaux, il ne semble pas y avoir de rongeurs plus spécifiquement impliqués dans la transmission du typhus des broussailles.

Synthèse :

Seuls deux principaux programmes de recherche se sont penchés sur le typhus des broussailles chez les rongeurs en Thaïlande. Néanmoins, ces travaux ont permis l'analyse d'un très grand nombre de spécimens et d'espèces (18). Parmi elles, dix n'ont pas été piégées en nombre suffisant pour permettre leur analyse. Néanmoins un spécimen de *Niviventer sp.* parmi deux et un *Rattus sikkimensis* parmi 12 sont positifs, ce qui prouve leur implication dans le cycle de transmission du typhus des broussailles. Les huit autres espèces piégées en grand nombre sont toutes positives sauf une, *Mus caroli*. La prévalence totale moyenne est élevée (17,7%), comparée à la leptospirose. Pour les espèces de Murinae, la séroprévalence est très variable, s'étalant de 4,3% pour *R. exulans* à 30,6% pour *R. norvegicus*.

Tableau 49 : Synthèse de l'ensemble des recherches effectuées en Thaïlande sur le typhus des broussailles, par espèce de rongeurs

Espèces	Typhus des broussailles
<i>Rattus norvegicus</i>	11/36 (30,6) *
<i>Rattus tanezumi</i>	542/2284 (29,2)
<i>Bandicota savilei</i>	52/189 (27,5)
<i>Niviventer sp.</i>	1/4 (25,0)
<i>Berylmys berdmorei</i>	2/9 (22,2)
<i>Rattus argentiventer</i>	5/23 (21,7)
<i>Bandicota indica</i>	101/755 (13,4)
<i>Rattus losea</i>	82/638 (12,9)
<i>Rattus andamanensis</i>	1/12 (8,3)
<i>Rattus exulans</i>	20/465 (4,3)
<i>Tupaia glis</i>	1/49 (2,0)
<i>Mus caroli</i>	0/97
<i>Menetes berdmorei</i>	0/24
<i>Maxomys surifer</i>	0/19
<i>Mus cervicolor</i>	0/17
<i>Berylmys bowersi</i>	0/9
<i>Rattus nitidus</i>	0/1
<i>Leopoldamys sabanus</i>	0/1
Total	818/4632 (17,7)

* nombre / total (pourcentage)

De même que pour la leptospirose, il convient de montrer que les effectifs de rongeurs positifs par espèce ne dépendent pas de l'échantillonnage. Le test ne peut prendre en compte que les sept espèces échantillonnées en nombre suffisant (tableau 50).

Tableau 50 : Tableau de contingence des effectifs observés et effectifs théoriques (nombre total de rongeurs analysés et rongeurs positifs) pour l'ensemble des études portant sur le typhus des broussailles en Thaïlande

Espèces	Effectifs observés		Effectifs théoriques	
	Total	Positifs	Total	Positifs
<i>Bandicota indica</i>	755	101	725,9	130,1
<i>Bandicota savilei</i>	189	52	204,4	36,6
<i>Mus caroli</i>	97	0	82,3	14,7
<i>Rattus exulans</i>	465	20	411,3	73,7
<i>Rattus losea</i>	638	82	610,6	109,4
<i>Rattus norvegicus</i>	36	11	39,9	7,1
<i>Rattus tanezumi</i>	2284	542	2396,4	429,6
<i>Tupaia glis</i>	49	1	42,4	7,6
Total	4513	809	4513,0	809,0

Le test de χ^2 d'homogénéité montre que les distributions par espèce des effectifs piégés et des effectifs de positifs aux antigènes du typhus des broussailles sont différentes (le χ^2 calculé est très supérieur au χ^2 à 5% ; $p < 0,05$). Le nombre de rongeurs positifs par espèce n'est donc pas dépendant du nombre de rongeurs échantillonnés.

Six espèces ont des prévalences de typhus des broussailles très élevées (plus de 20%). *R. norvegicus* est, comme pour la leptospirose, le rongeur présentant la plus forte séroprévalence au typhus des broussailles (32,4% soit près de un rongeur sur 3). Piégé en milieu urbain, il pourrait y être vecteur. Pourtant il ne semble pas que la transmission se produise en milieu urbain jusqu'à l'Homme. *R. tanezumi* est le second rongeur par ordre de prévalence décroissante, avec un taux restant très élevé (29,2%). Ses grandes possibilités d'adaptation aux différents milieux, près des maisons, dans les terres agricoles ou même des espaces plus sauvages en font sans aucun doute un vecteur important du typhus des broussailles, permettant le passage des larves de *Trombiculidae* par différents milieux et leur transport jusqu'à l'Homme. Dans un biotope différent, *B. savilei* a une prévalence tout aussi élevée (27,5%). Ce dernier construit ses terriers dans des terres agricoles sèches, souvent pentues. Friches, buissons ou forêts peuvent être à proximité et expliquer l'infection par les larves de *Trombiculidae*. Nous avons pu l'observer de plus en plus près de l'Homme au fil du travail de terrain dans la région de Phrae où les changements agricoles récents ont accru ses densités de population. Le risque de transmission du typhus des broussailles à l'Homme y serait de même grandissant. Viennent ensuite deux genres de Murinae sylvestres, *Niviventer* et *Berylmys*, dont les prévalences sont tout aussi élevées (respectivement 25,0% et 22,2%). Leur implication dans le transport des larves paraît plus directe mais les possibilités de transmission à l'Homme semblent plus limitées, ces rongeurs vivant dans un environnement sauvage. Par ailleurs, il est étonnant de voir que *Maxomys surifer*, vivant dans un même environnement forestier, n'ait pas été retrouvé positif, sans doute à cause d'un échantillonnage trop faible.

Comme pour la leptospirose, ces résultats laissent entrevoir que le typhus des broussailles n'a pas d'hôtes rongeurs spécifiques, mais infecte opportunément plusieurs espèces.

2.3.3. Les hantaviroses : pas de cas déclarés malgré une prévalence non négligeable chez les rongeurs.

Lors d'une enquête de séroprévalence (immunofluorescence) des rongeurs vis à vis de l'antigène des Hantavirus, menée à l'échelle mondiale entre 1981 et 1983, LeDuc *et al.* ont constaté une présence globale de rongeurs positifs et reporté, en Thaïlande, une séropositivité de 7% sur 311 rongeurs capturés (LeDuc *et al.*, 1986). Parmi 65 *Bandicota indica*, 10 étaient positifs, traduisant ainsi pour la première fois son implication dans la transmission. Leur travail a permis de détecter des anticorps spécifiques du virus Hantaan chez *Rattus tanezumi* mais les anticorps présents chez *B. indica* n'ont pu être spécifiés, émettant les premières interrogations sur la présence de nouvelles souches en Asie du sud-est et le risque caché pour les populations rurales.

En 1985, Elwell *et al.* ont confirmé la forte séropositivité de *B. indica*, en enregistrant un taux de 28,6% dans la province de Kanchanaburi et de 20,7% dans la zone portuaire de Bangkok, par immunofluorescence indirecte (tableau 51).

Tableau 51 : Présence d'anticorps dirigés contre les Hantavirus, sur des rongeurs capturés entre 1981 et 1983 autour des zones portuaires de Bangkok, Sriracha et Bangpakong, ainsi que dans la province de Kanchanaburi (Elwell *et al.*, 1985)

Espèces	Bangkok	Sriracha	Bangpakong	Kanchanaburi	Total
<i>Bandicota indica</i>	6/29 (20,7) *	-	-	6/21 (28,6)	12/50 (24)
<i>Rattus tanezumi</i>	0/55	0/24	6/86 (7,0)	0/3	6/168 (3,6)
<i>Rattus norvegicus</i>	0/54	4/16 (25)	-	-	4/70 (5,7)
Total	6/138 (4,7)	4/40 (10)	6/86 (7,0)	6/24 (25)	22/288 (7,6)

*nombre / total (pourcentage)

Cette même étude a révélé la présence d'Hantavirus chez *R. tanezumi* et *R. norvegicus*, piégés entre 1981 et 1983 autour des trois principaux ports de commerce, Klong Toei à Bangkok, Sriracha et Bangpakong, au sud-est de Bangkok. Les prévalences observées pour les deux *Rattus* sont plus faibles que pour *B. indica* mais la proximité des *Rattus* à l'Homme en ferait des vecteurs tout aussi considérables.

En 1988, Tantivanich *et al.* ont mené une autre enquête dans les quartiers pauvres de Bangkok par IFA et révélé des prévalences importantes en milieu urbain. Parmi les deux espèces capturées (probablement les seules présentes en environnement urbain), *Rattus norvegicus*, le rat des villes, de grande taille particulièrement abondant autour des débris de Bangkok et *Rattus exulans*, le rat domestique, de petite taille, 9% étaient positifs.

En 1989, Sawadikosol *et al.* ont aussi enregistré dans le nord de la Thaïlande des prévalences importantes sur *R. norvegicus* et *R. tanezumi*, avec respectivement 4% et 13% de positifs.

En 1990, Tantivanich, Ayuthaya *et al.* ont poursuivi l'étude sur les quartiers pauvres de Bangkok, en collectant 61 rongeurs à Klong Toey, près de la zone portuaire (tableau 52). Là encore, seuls les *R. norvegicus* et *R. exulans* ont pu être capturés.

Tableau 52 : Présence d'anticorps contre les Hantavirus sur des rongeurs capturés à Klong Toey (Ayuthaya, 1991 ; Tantivanich *et al.*, 1992)

Localités	Wat Phai Ton	Klong Toey	Total
<i>Rattus norvegicus</i>	16/33 (48,5) *	3/28 (10,7)	19/61 (31,1)
<i>Rattus exulans</i>	1/5 (20)	0/12	1/17 (5,9)
Total	17/38 (44,7)	3/40 (7,5)	20/78 (25,7)

* nombre / total (pourcentage)

De fortes prévalences ont été trouvées sur *R. norvegicus*, avec près d'un tiers des spécimens positifs, le plaçant comme le vecteur potentiel majeur en milieu urbain.

En 1995, Leitmeyer a mené une enquête plus poussée, cherchant à identifier quatre différentes souches hantavirales, Hantaan, Seoul, Puumala et Sin Nombre (Leitmeyer, 1996). Dans la province de Chiang Rai, le piégeage, exclusivement organisé à proximité des rizières, a permis de collecter 110 rongeurs, appartenant à quatre espèces, et de tester et titrer le sérum par immunofluorescence (tableau 53).

Tableau 53 : Présence d'anticorps dirigés contre quatre souches d'Hantavirus, sur des rongeurs capturés à Chiang Rai (Leitmeyer, 1996)

Espèces	Hantaan	Seoul	Puumala	Sin Nombre	Total
<i>Bandicota indica</i>	7/34 (20,6) *	6/34 (17,6)	3/34 (8,8)	3/34 (8,8)	8/34 (23,5)
<i>Rattus losea</i>	6/25 (24,0)	2/25 (8,0)	0/25	0/25	6/25 (24,0)
<i>Rattus tanezumi</i>	2/50 (4,0)	0/50	0/50	1/50 (2)	3/50 (6,0)
<i>Mus cervicolor</i>	1/1 (100)	0/1	0/1	0/1	1/1 (100)
Total	16/110 (14,5)	8/110 (7,3)	3/110 (2,7)	4/110 (3,6)	18/110 (16,4)

*nombre / total (pourcentage)

La restriction environnementale dans la localisation des pièges expliquerait le peu d'espèces obtenues. Il s'agit des espèces dominantes dans les rizières avec *B. indica*, le plus gros, mais aussi *Mus cervicolor*, une souris dont la présence est rare. *B. indica* et *R. losea* présentent des prévalences élevées avec près d'un quart de spécimens positifs. *R. tanezumi* est ici significativement en retrait. Fait intéressant, l'unique *M. cervicolor* est aussi positive (titrage 1/128) la plaçant elle aussi parmi les vecteurs potentiels. L'étude ne montre aucune différence significative de séropositivité entre les mâles et les femelles ($p > 0,05$). 9% des spécimens étaient positifs pour un antigène unique (16 positifs pour l'antigène Hantaan et 2 pour l'antigène Sin Nombre), 4,5% positifs pour deux antigènes (généralement Hantaan et Seoul), 1% positifs pour 3 et 2% pour 4. Deux spécimens se sont montrés spécifiquement positifs pour Sin Nombre avec un titrage de 1/128, un *B. indica* et un *R. tanezumi*. Cette étude insiste enfin sur la complexité entre la diversité des souches d'Hantavirus en circulation et leurs hôtes potentiels.

Imvithaya *et al.*, au cours de l'étude menée entre octobre 1998 et avril 2000 sur la leptospirose à travers le pays, ont aussi exploré la séropositivité vis à vis des Hantavirus (tableau 54), par un test d'agglutination de particules (titrage 1:80).

Tableau 54 : Présence d'anticorps contre les Hantavirus par espèce de rongeurs et par province, de 1998 à 2000 en Thaïlande (Imvithaya *et al.*, 2001)

Provinces	Espèces					Total
	<i>Rattus exulans</i>	<i>Rattus tanezumi</i>	<i>Rattus norvegicus</i>	<i>Bandicota indica</i>	<i>Bandicota savilei</i>	
Petchabun (C) *	0/3	1/6 (16,7) **	-	3/49 (6,1)	0/4	4/62 (6,5)
Surat Thani (S)	0/7	2/40 (5,0)	-	1/2 (50,0)	-	3/49 (6,1)
Buriram (NE)	0/8	0/21	-	2/19 (10,5)	-	2/48 (4,2)
Phra Nakhon Sri Ayuthaya (C)	0/6	1/67 (1,5)	-	1/18 (5,6)	2/25 (8,0)	4/116 (3,5)
Chonburi (E)	0/8	3/30 (10,0)	0/25	0/5	0/22	3/90 (3,3)
Phitsanulok (N)	0/2	3/88 (3,4)	-	2/52 (3,8)	0/36	5/178 (2,8)
Nakhon Ratchasima (NE)	0/16	0/12	-	2/53 (3,8)	-	2/81 (2,5)
Chantaburi (E)	0/3	0/83	1/16 (6,2)	-	0/19	1/121 (0,8)
Trang (S)	1/26 (3,8)	1/51 (2,0)	-	0/4	0/2	2/83 (2,4)
Udon Thani (NE)	0/25	0/9	-	-	-	0/34
Total	1/104 (1,0)	11/407 (2,7)	1/41 (2,4)	11/202 (5,4)	2/108 (1,9)	26/862 (3,0)

* N : nord, NE : nord-est, C : centre, E : est, S : sud

** nombre / total (pourcentage)

Sur 862 rongeurs testés, 26 (3,0%) étaient positifs, ce qui est faible, relativement aux autres études. *B. indica* enregistre les plus forts taux. Avec des rongeurs positifs dans chacune des régions, les Hantavirus semblent être distribués à travers le pays.

En 1998, l'Unité de recherche IRD 034 a piégé 692 rongeurs dans les provinces de Nakhon Pathom et Nakhon Ratchasima, dans divers environnements, agricoles et péri-domestiques. Cette première étude a testé les sérums par ELISA pour la présence d'anticorps contre le virus Hantaan (tableau 55). Quelques spécimens, piégés en faibles effectifs, ont fait partie des analyses.

Tableau 55 : Présence d'anticorps contre les Hantavirus par espèce de rongeurs et par province, en Thaïlande (Gonzalez *et al.* 2001, non publié ; partiellement publié dans Nitatpattana *et al.*, 2000)

Espèces	Nakhon Pathom	Nakhon Ratchasima	Total
<i>Rattus exulans</i>	3/49 (6,1) *	13/276 (4,7)	16/325 (4,9)
<i>Bandicota indica</i>	4/151 (2,6)	4/24 (16,7)	8/175 (4,6)
<i>Rattus norvegicus</i>	2/49 (4,1)	-	2/49 (4,1)
<i>Rattus tanezumi</i>	1/67 (1,5)	0/36	1/103 (1,0)
<i>Bandicota savilei</i>	0/13	0/10	0/23
<i>Rattus argentiventer</i>	0/6	-	0/6
<i>Rattus losea</i>	0/2	0/2	0/2
<i>Mus caroli</i>	0/3	0/2	0/5
<i>Mus castaneus</i>	0/2	-	0/2
Total	10/342 (2,9)	17/350 (4,9)	27/692 (3,9)

* nombre / total (pourcentage)

Les taux sont là aussi relativement faibles avec essentiellement *R. exulans*, *R. norvegicus* et *B. indica*. *R. tanezumi* présente un taux de spécimens positifs très faible. Il faut noter que les tests ELISA, plus sensibles et plus spécifiques, donnent généralement des prévalences plus faibles que par immunofluorescence indirecte. La séropositivité de *B. indica* (16,7%) est particulièrement forte dans la province de Nakhon Ratchasima, ce qui implique une forte exposition des agriculteurs dans les rizières.

Suite à l'étude sur la leptospirose, menée par le Thai Department of Communicable Diseases (Phulsuksombati *et al.*, 2001), qui a capturé 632 rongeurs dans des provinces du nord-est durant l'année 2001, l'Unité de recherche IRD 034 a complété par des tests sérologiques (ELISA 1:1000) pour les Hantavirus (tableau 56).

Tableau 56 : Présence d'anticorps contre les Hantavirus par espèce de rongeurs et par province, en Thaïlande (Nitattpattana *et al.*, 2002)

Espèces	Nakhon Phanom	Khon Kaen	Kalasin	Surin	Buriram	Total
<i>Bandicota indica</i>	0/59	6/49 (12,2)*	0/38	1/25 (4,0)	2/37 (5,4)	9/208 (4,3)
<i>Bandicota savilei</i>	-	0/6	0/7	0/10	0/14	0/37
<i>Rattus tanezumi</i>	1/37 (2,7)	0/10	0/23	0/23	0/21	1/114 (0,9)
<i>Rattus exulans</i>	1/31 (3,2)	0/6	0/5	1/49 (2,0)	0/4	2/95 (2,1)
<i>Rattus argentiventer</i>	0/1	-	0/25	0/27	0/18	0/71
<i>Rattus losea</i>	0/6	-	0/19	1/13 (7,8)	0/26	1/64 (1,6)
<i>Rattus norvegicus</i>	-	0/35	-	-	0/1	0/36
<i>Mus cervicolor</i>	-	-	-	-	0/6	0/6
<i>Mus caroli</i>	-	-	-	-	0/1	0/1
Total	2/134 (1,5)	6/106 (5,7)	0/117	3/147 (2,0)	2/128 (1,6)	13/632 (2,1)

* nombre / total (pourcentage)

B. indica a révélé les prévalences les plus élevées (4,3%), alors que les autres *Rattus* spp. ont montré des prévalences faibles. Ces analyses n'ont trouvé aucun *R. norvegicus* positif, ce qui pourrait s'expliquer par des différences régionales et temporelles dans les prévalences par espèce. Enfin, mâles et femelles n'ont pas montré de différence de séropositivité significative ($p > 0,05$).

En 2003, nous avons poursuivi la recherche des Hantavirus par PCR (Réaction en Chaîne par Polymérase) sur les rongeurs collectés en 2002 et 2003 dans la province de Kanchanaburi, à la frontière ouest, mais aussi dans deux provinces du nord-est (tableau 57). Nous avons limité une première PCR à 1050 paires de bases et une seconde à 600.

Tableau 57 : Présence d'anticorps contre les Hantavirus (par PCR, 600 paires de bases), par espèce de rongeurs et par province en Thaïlande (Herbreteau, Gonzalez *et al.*, 2003, non publié)

Espèces	Kanchanaburi	Loei	Sakhon Nakhon	Total
<i>Rattus tanezumi</i>	1/43 (2.3) *	0/8	0/19	1/70 (1.4)
<i>Rattus exulans</i>	0/102	0/1	-	0/103
<i>Bandicota indica</i>	0/16	-	-	0/16
<i>Bandicota savilei</i>	0/2	-	-	0/2
<i>Berylmys berdmorei</i>	0/11	0/2	-	0/13
Total	1/174 (0.6)	0/11	0/19	1/204 (0.5)

* nombre / total (pourcentage)

Seul un *R. tanezumi* s'est révélé positif dans la province de Kanchanaburi, où la séropositivité est de 2,3%. Aucun *R. exulans* n'était positif, alors qu'il peut l'être dans d'autres régions. Ces résultats ne sont pas suffisants en terme d'effectifs pour les trois autres espèces pour conclure quant à leur éventuelle implication dans la transmission.

Enfin, une étude récente portant sur les marchés de produits frais de Bangkok a révélé 1,53% (7/458) des *R. norvegicus* ayant des anticorps contre le virus Hantaan par immunofluorescence directe (Kantakamalakul *et al.*, 2003).

Synthèse :

Les enquêtes de séroprévalence des anticorps anti-Hantavirus représentent un travail considérable, posant de réelles questions de santé, qui ne sont pas encore considérées par le système de santé publique. Avec une prévalence moyenne de 5%, la présence non négligeable des Hantavirus chez les rongeurs amène à s'interroger sur l'absence de diagnostic des hantaviroses chez l'Homme, dont les symptômes sont aisément confondus avec ceux d'autres fièvres. Quelques cas ont été suspectés mais un seul a, jusqu'à présent, été confirmé (Supputhamongkol *et al.*, 2005). Ces enquêtes sérologiques ont ciblé peu d'espèces mais les ont révélées pour la plupart positives (7 positives sur un total de 10) (tableau 58).

Tableau 58 : Synthèse de l'ensemble des recherches publiées sur les hantaviroses, par espèce de rongeurs, en Thaïlande

Espèces	Hantaviroses
<i>Mus cervicolor</i>	1/7 (14,3) *
<i>Rattus norvegicus</i>	26/257 (10,1)
<i>Bandicota indica</i>	58/734 (7,9)
<i>Rattus losea</i>	7/93 (7,5)
<i>Rattus exulans</i>	20/541 (3,7)
<i>Rattus tanezumi</i>	22/842 (2,6)
<i>Bandicota savilei</i>	2/168 (1,2)
<i>Rattus argentiventer</i>	0/77
<i>Mus caroli</i>	0/6
<i>Mus musculus</i>	0/2
Total	136/2727 (5,0)

* nombre / total (pourcentage)

De même que nous l'avons fait précédemment, nous pouvons vérifier que les effectifs de rongeurs positifs par espèce ne dépendent pas de l'échantillonnage. Le test ne peut s'appliquer ici qu'aux cinq espèces en effectifs suffisants (tableau 59).

Tableau 59 : Tableau de contingence des effectifs observés et effectifs théoriques (nombre total de rongeurs analysés et rongeurs positifs) pour l'ensemble des études publiées portant sur les hantaviroses en Thaïlande

Espèces	Effectifs observés		Effectifs théoriques	
	Total	Positifs	Total	Positifs
<i>Bandicota indica</i>	734	58	754	38
<i>Bandicota savilei</i>	168	2	162	8
<i>Rattus exulans</i>	541	20	534	27
<i>Rattus norvegicus</i>	257	26	269	14
<i>Rattus tanezumi</i>	842	22	823	41
Total	2542	128	2542	128

Le test de χ^2 d'homogénéité montre que les distributions par espèce des effectifs piégés et des effectifs de positifs aux anticorps contre les Hantavirus sont différents (le χ^2 calculé est très supérieur au χ^2 à 5% ; $p < 0,05$), et en particulier pour les espèces les plus positives dont la différence « observée – théorique » est élevée : *R. norvegicus* et *B. indica*. Le nombre de rongeurs positifs par espèce ne dépend donc pas du nombre de rongeurs échantillonnés. La plus forte prévalence est observée pour *Mus cervicolor* mais nous ne retiendrons pas ce chiffre, car l'échantillonnage est trop faible. *R. norvegicus* est à nouveau le rongeur le plus positif aux Hantavirus (10,1%), ce qui traduit pour cette espèce une grande permissivité aux agents pathogènes. *B. indica* et *R. losea*, établis dans les terres agricoles et en particulier les rizières, ont tous deux des prévalences équivalentes moyennes, 7,9% et 7,5%. *R. exulans*, *R. tanezumi* et *B. savilei* ont des prévalences faibles. La transmission des Hantavirus se faisant par voie aérienne, ce sont les espèces les plus proches de l'Homme qui semblent les plus dangereuses, c'est à dire les trois *Rattus*. En milieu urbain, l'hypothèse d'une transmission venant de *R. norvegicus* est appuyée par sa forte prévalence. En milieu rural, *R. exulans* et *R. tanezumi* ont en revanche des prévalences faibles, ce qui laisse présager des transmissions rares. Les espèces, *Mus caroli*, *Mus musculus*, testées négatives, ne sont pas en effectifs suffisants pour une représentativité statistique. Face à ces résultats, seul *R. argentiventer* ne serait pas vecteur d'Hantavirus. Des rongeurs positifs ont été identifiés dans chacune des régions, en zone urbaine ou agricole ce qui suggère une large distribution des Hantavirus. Ces résultats montrent aussi les difficultés de terrain qu'ont pu avoir chacune des équipes, travaillant avec des clés d'identification et une taxonomie peu précises. Les espèces testées sont celles qui s'attrapent le plus facilement et sont les plus abondantes. Ceci peut se justifier en santé publique, ces espèces étant plus nombreuses et plus proches de l'Homme. En revanche, la connaissance de la réelle distribution des Hantavirus dans des populations d'hôtes potentiels, et leurs rôles respectifs comme amplificateur (transmission verticale) et vecteur potentiel (transmission horizontale) d'Hantavirus reste encore à découvrir.

2.3.4. Peu de travaux ont porté sur d'autres agents pathogènes liés aux rongeurs.

Une seule étude publiée a recherché la présence du virus de la rage chez les rongeurs (Kantakamalakul *et al.*, 2003). Piégés sur les marchés du frais autour de Bangkok, tous les spécimens, 458 *R. norvegicus*, 28 *R. tanezumi* et 5 *R. exulans*, ont été testés négativement pour la présence d'anticorps contre la rage. Néanmoins, la rage, présente chez les chiens errants, cause toujours chaque année plusieurs décès (9^{ème} pathologie mortelle en 2004 en Thaïlande). Il demeure donc un risque de passage à l'Homme via les rongeurs, dans le cas de pullulations.

Les rongeurs pourraient jouer un rôle majeur dans la transmission du virus de l'hépatite E, dont les épidémies ont essentiellement lieu dans les pays en voie de développement et sous des climats chauds (Favorov *et al.*, 2000 ; He *et al.*, 2006). Outre les rongeurs, les animaux d'élevage peuvent être réservoirs du virus. Les rongeurs pourraient être impliqués dans la transmission, en se contaminant ou véhiculant le virus, via les matières fécales, par souillure de l'eau ou des aliments.

Entre 1995 et 2005, Schmidt-Chanasit *et al.* ont recherché sur des rongeurs la présence d'anticorps IgG vis-à-vis du virus de l'hépatite E par ELISA (présenté en partie lors de la conférence MEEGID VIII : Schmidt-Chanasit *et al.*, 2006, unpublished). Ils ont pu tester 453 rongeurs, appartenant à 9 espèces et piégés dans 19 provinces couvrant chaque région (tableau 60).

Tableau 60 : Séropositivité de rongeurs murins vis à vis des antigènes du virus de l'hépatite E, en Thaïlande (Schmidt-Chanasit *et al.*, 2006)

Espèces	Virus de l'hépatite E
<i>Rattus argentiventer</i>	15/31 (48) *
<i>Rattus norvegicus</i>	22/48 (46)
<i>Rattus tiomanicus</i>	26/105 (25)
<i>Bandicota savilei</i>	2/12 (17)
<i>Rattus tanezumi</i>	5/74 (7)
<i>Bandicota indica</i>	3/164 (2)
<i>Rattus losea</i>	0/10
<i>Rattus exulans</i>	0/3
<i>Mus caroli</i>	0/6
Total	73/453 (16)

* nombre / total (pourcentage)

Trois espèces, testées négativement, ne sont pas en effectifs suffisants pour juger de leur séroprévalence. Deux espèces, *R. argentiventer* et *R. norvegicus* ont des prévalences très fortes, se rapprochant d'un cas sur deux. *R. norvegicus* confirme sa forte implication en tant que réservoir de pathogènes en milieu urbain. Présent dans les élevages intensifs, autour de la métropole de Bangkok, il pourrait être impliqué dans le maintien et la dispersion du virus. Les fortes positivités de *R. argentiventer* et de *R. tiomanicus*, tous deux présents au sud de la plaine centrale ainsi que dans la région sud du pays, peuvent suggérer une prévalence plus forte dans le Sud où le climat est plus chaud et humide. *Bandicota indica*, malgré son importance dans les écosystèmes agricoles, a une prévalence très faible comparée à celle des autres espèces.

Conclusion des études sérologiques sur les rongeurs

Au total, ces analyses ont porté sur 20 espèces de petits rongeurs dont 17 Murinae (tableau 61). Dix espèces ont des effectifs de piégeage faibles qui ne permettent pas d'en discuter la séroprévalence. Les neuf espèces de Murinae piégées en effectifs importants (*B. indica*, *B. savilei*, *M. caroli*, *M. cervicolor*, *R. argentiventer*, *R. exulans*, *R. losea*, *R. norvegicus* et *R. tanezumi*) sont logiquement les plus communes et celles dont l'intérêt est effectivement le plus grand en santé, de par leur densité, pouvant être liée à une augmentation des transmissions horizontale et verticale de pathogènes, et de par leur proximité à l'Homme, augmentant le risque de transmission.

Tableau 61 : Synthèse de l'ensemble des recherches effectuées en Thaïlande sur la leptospirose, le typhus des broussailles et les hantaviroses, par espèce de rongeurs.

Espèces	Leptospirose	Typhus des broussailles	Hantaviroses
<i>Bandicota indica</i>	102/1006 (10,1) *	101/755 (13,4)	58/734 (7,9)
<i>Bandicota savilei</i>	12/464 (2,6)	52/189 (27,5)	2/168 (1,2)
<i>Berylmys berdmorei</i>	0/6	2/9 (22,2)	-
<i>Berylmys bowersi</i>	-	0/9	-
<i>Leopoldamys sabanus</i>	-	0/1	-
<i>Maxomys surifer</i>	-	0/19	-
<i>Menetes berdmorei</i>	-	0/24	-
<i>Mus caroli</i>	0/6	0/97	0/6
<i>Mus cervicolor</i>	0/12	0/17	1/7 (14,3)
<i>Mus musculus</i>	0/4	-	0/2
<i>Niviventer sp.</i>	-	1/4 (25,0)	-
<i>Rattus argentiventer</i>	6/102 (5,9)	5/23 (21,7)	0/77
<i>Rattus exulans</i>	48/1242 (3,9)	20/465 (4,3)	20/541 (3,7)
<i>Rattus losea</i>	6/86 (7,0)	82/638 (12,9)	7/93 (7,5)
<i>Rattus nitidus</i>	-	0/1	-
<i>Rattus norvegicus</i>	167/841 (19,9)	11/36 (30,6)	26/257 (10,1)
<i>Rattus tanezumi</i>	106/1842 (5,8)	542/2284 (23,7)	22/842 (2,6)
<i>Rattus andamanensis</i>	-	1/12 (8,3)	-
<i>Suncus murinus</i>	0/5	-	-
<i>Tupaia glis</i>	0/4	1/49 (2,0)	-
Total	447/5620 (8,0)	818/4632 (17,7)	136/2727 (5,0)

* nombre / total (pourcentage)

Les études sur la leptospirose et le typhus des broussailles ont pris en compte un plus grand nombre de rongeurs, environ le double des études sur les hantaviroses.

Pour comparer ces trois pathologies, en prenant les espèces de rongeurs comme individus (soit 13 pour la leptospirose, 15 pour le typhus des broussailles et 10 pour les hantaviroses), nous pouvons réaliser l'analyse de la variance des moyennes (nombre de positifs / effectif total pour chaque rongeur). Ce test permet de comparer ces trois séries de moins de 30 échantillons et dont les moyennes prises par les individus sont faibles. Ceci nécessite une distribution normale des moyennes. Il faut alors appliquer la transformation $x \rightarrow \text{Arcsin}(\sqrt{x})$ pour normaliser ces valeurs, avant d'évaluer F :

$$F_0 = \frac{0,10}{0,03} = 2,82$$

L'analyse de variance, ANOVA, ou test F (Fisher-Snedecor) pour comparer plusieurs moyennes, permet de confronter les moyennes observées sur plusieurs échantillons quelle que soit leur taille. Ce test s'applique à des populations ayant des distributions normales et de même variance. Il compare la variance entre les séries à la variance entre les individus (dite variance résiduelle) par un rapport qui suit une loi F de Fisher-Snedecor si les individus proviennent de la même population :

$$F_0 = \frac{\text{variance entre séries}}{\text{variance résiduelle}}$$

$F_0 < F_{0,05}$ donc les moyennes ne diffèrent pas significativement entre pathologies à $p > 0,05$. Les moyennes observées par rongeur ne diffèrent pas significativement, selon les pathologies, ce qui montre une permissivité différente des espèces selon les pathologies.

Dans un second temps, nous pouvons comparer ces moyennes entre pathologies, prises deux à deux, en appliquant un test T de Student, qui s'applique à des échantillons de petite taille. De même que l'ANOVA, ce test se réalise sur une distribution normale des moyennes. Nous avons pour cela appliqué la même transformation que pour l'ANOVA. Nous devons ensuite calculer la variance commune aux deux pathologies comparées, afin d'estimer l'écart-type de la différence σ et le rapport t .

La comparaison des moyennes de leptospirose et de typhus des broussailles montre une légère différence, significative à $p < 0,05$ (tableau 62). Selon les espèces, la prévalence de chacun des pathogènes diffère, ce qui révèle une exposition ou sensibilité variable.

Le test T de Student permet de comparer les moyennes de deux petits échantillons ou séries. Pour plus de 30 individus, la loi T se rapproche de la loi normale centrée réduite Z. Il s'applique à des variables dont la distribution est supposée normale. Il calcule le rapport t entre la différence des moyennes sur l'écart-type σ de la différence :

$$\sigma_{\text{différence}} = \sqrt{\frac{\text{var}}{n_1} + \frac{\text{var}}{n_2}}$$

avec var = la variance commune estimée pour les deux échantillons.

$$t = \frac{|m_1 - m_2|}{\sigma_{\text{différence}}}$$

Si ce rapport t suit la loi T, les moyennes ne diffèrent pas significativement.

En revanche, les comparaisons deux à deux de la leptospirose et des hantaviroses ainsi que du typhus des broussailles et des hantaviroses ne montrent pas de différences significatives (tableau 62).

Tableau 62 : Comparaison des moyennes observées des pathologies, deux à deux par un test T de Student

Comparaison	variance commune	$\sigma_{\text{différence}}$	t	ddl	degré de signification
Leptospirose / typhus des broussailles	0,039	0,075	2,091	26	$p < 0,05$
Leptospirose / hantaviroses	0,023	0,064	0,436	21	$p > 0,5$
Typhus des broussailles / hantaviroses	0,039	0,081	1,589	23	$p > 0,1$

Ces études désignent certaines espèces comme les vecteurs principaux de ces trois zoonoses : *R. norvegicus* qui a les plus fortes prévalences pour ces trois agents pathogènes (si on excepte la prévalence forte de *Mus cervicolor* pour les Hantavirus sur un échantillonnage trop faible), les deux *Bandicota* et *R. losea*. Les autres espèces semblent avoir des prévalences très différentes selon les agents pathogènes. Les prévalences moyennes de leptospirose et de typhus des broussailles diffèrent selon l'écologie des rongeurs. Les espèces des rizières, *B. indica*, *R. losea* et *R. argentiventer* ont des prévalences fortes pour la leptospirose alors que les espèces vivant sur des milieux boisés ou dégradés, *B. savilei*, *Berylmys berdmorei* ou *Niviventer sp.* se distinguent par des prévalences fortes pour le typhus des broussailles.

Cette synthèse montre les connaissances limitées que l'on a de l'implication de chacune des espèces et l'intérêt de ne pas restreindre les études aux espèces les plus communes. Les difficultés d'identification des Murinae sont clairement visibles, avec l'usage généralisé d'une taxonomie dépassée. Des rongeurs plus sauvages, comme ceux du genre *Berylmys*, *Leopoldamys* ou *Niviventer*, en révélant des prévalences fortes, montrent leur rôle possible en tant que réservoirs de pathogènes. Une transmission horizontale entre rongeurs ou autres mammifères d'un milieu sauvage vers des habitats domestiques pourrait être envisagée pour expliquer le passage des pathogènes d'un réservoir sauvage à l'Homme. D'autres espèces, malgré des prévalences parfois faibles, semblent être les vecteurs principaux en étant plus proches de l'Homme. Ce sont *R. norvegicus*, en milieu urbain, et *Bandicota indica*, *R. tanezumi* et *R. exulans* dans les campagnes.

La connaissance de l'écologie des rongeurs ainsi que de leur charge en agents infectieux, décrite dans ce chapitre, constitue la première étape de l'étude du risque. Les pathogènes, libres ou portés par les rongeurs, définissent l'aléa de ce risque. La seconde étape est maintenant de voir où se situe l'Homme dans cet environnement et comment ou en quoi il est exposé à cet aléa. Ceci est l'objet de la troisième partie.



Photo : Aventurier P., Corriere della Sera 2004

Merci à Patrick Aventurier de l'Agence Gamma pour cette unique couverture italienne !

**Photo 36 : « Traque au virus », la une de Sette,
le supplément week-end No 3 – 2004 du Corriere della Sera**

3. Troisième partie :

Risque de transmission des zoonoses par les rongeurs, accès aux soins et impact du risque

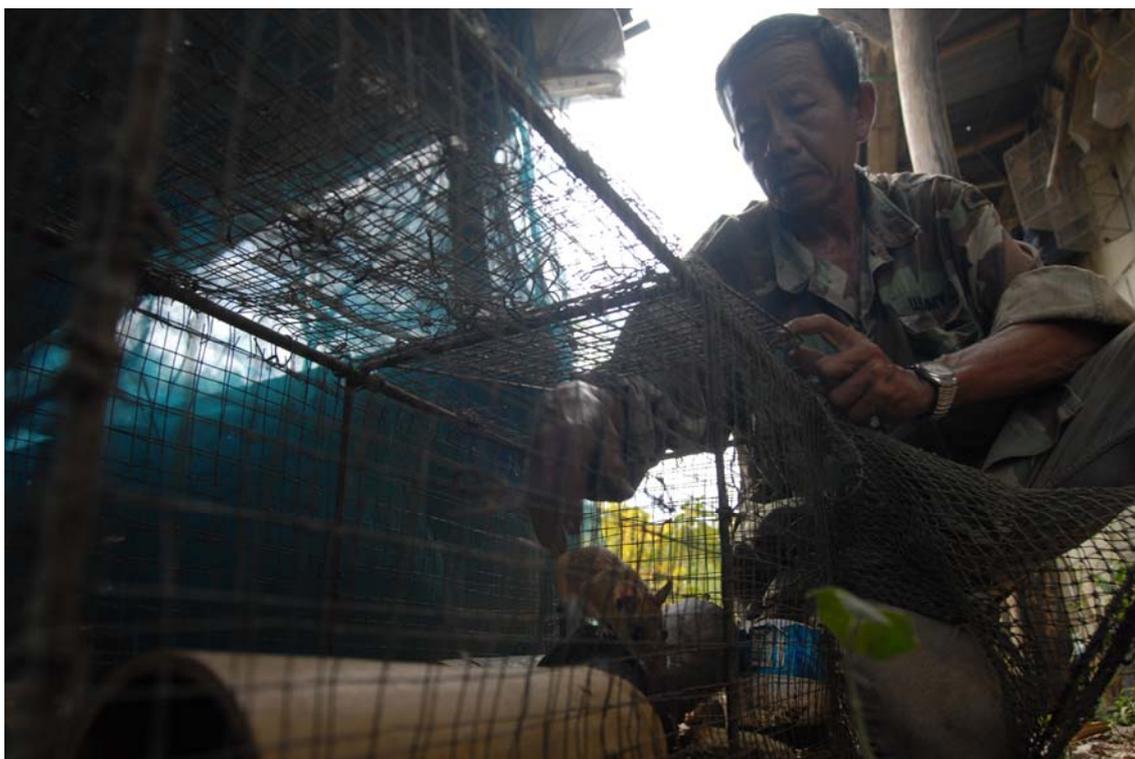


Photo 37 : Les chasseurs de rats gardent leurs proies vivantes dans de grandes cages (Photo : Herbreteau V.)

La présence de rongeurs porteurs d'agents infectieux dans un environnement donné n'implique pas obligatoirement l'infection des personnes pénétrant ce milieu. En effet, l'exposition varie d'un individu à un autre, même si les facteurs de risque sont réunis. Ainsi, le port de vêtements protecteurs réduit considérablement le risque d'infection par un agent pathogène libre dans l'environnement, telles les bactéries responsables de la leptospirose ou de la mélioirose. De nombreux facteurs de transmission s'ajoutent et font qu'en zone d'épidémie, un individu peut tomber malade et pas son voisin. Pour avoir connaissance d'un cas de maladie, il faut que le malade ait consulté dans une structure de soins où la pathologie a été correctement diagnostiquée et enregistrée dans les archives du Ministère de la santé. Tous les obstacles à ce processus font que nous n'avons qu'une connaissance partielle de la morbidité des pathologies à travers le système de soins.

Afin de comprendre l'exposition relative des populations aux zoonoses transmises par les rongeurs, nous allons tout d'abord analyser les inégalités face aux soins, à travers l'offre, l'accès et le recours aux soins. Nous essaierons ensuite d'évaluer la représentativité des données de morbidité fournies par le système de soins. Enfin, nous tenterons d'identifier les populations les plus exposées à ces zoonoses en Thaïlande.

3.1. La distribution, en apparence uniforme, des structures de soins cache des inégalités dans l'offre, l'accès et le recours aux soins

3.1.1. La variabilité spatiale de l'offre de soins révèle une fracture médicale

3.1.1.1. La qualité de la desserte médicale varie selon les régions

La couverture médicale est en théorie relativement homogène par unité administrative. Pourtant, l'offre de soins varie considérablement d'une région à une autre, en fonction du niveau d'urbanisation. Le système de soins thaïlandais rencontre de grandes difficultés quant à la desserte médicale, c'est-à-dire la répartition du corps médical à population équivalente. Les provinces isolées sont peu attractives pour les jeunes diplômés. De plus, la concentration des structures privées dans les centres urbains déstabilise l'offre. Comparée aux autres régions, la région nord-est est la moins bien desservie pour les ressources de santé (tableau 63, en rouge).

Tableau 63 : Distribution des ressources de santé (rapport 1/population) en 2000 par région, en Thaïlande

	Centre*	Nord	Nord-Est	Sud	Bangkok**
Lits	1/369	1/493	1/766	1/494	1/202
Dispensaires	1/3 631	1/4 132	1/4 930	1/3 896	1/39 660
Médecins	1/3 576	1/4 501	1/8 311	1/5 194	1/793
Dentistes	1/16 813	1/17 037	1/35 476	1/22 549	1/3 529
Pharmaciens	1/11 058	1/11 012	1/21 740	1/10 575	1/2 551
Infirmières	1/539	1/632	1/1 109	1/571	1/271
Personnel des dispensaires	1/1 059	1/1 292	1/1 666	1/1 141	-
Pharmacies modernes	1/8 365	1/19 136	1/39 356	1/11 309	1/1 872
Pharmacies traditionnelles	1/26 528	1/37 735	1/43 244	1/28 352	1/13 944
Pharmacies (médicaments préparés)	1/9 975	1/11 783	1/19 376	1/10 160	1/9 199

Source : Bureau of Health Policy and Plan / FDA / Rural Health Division, MOPH

* excepté Bangkok

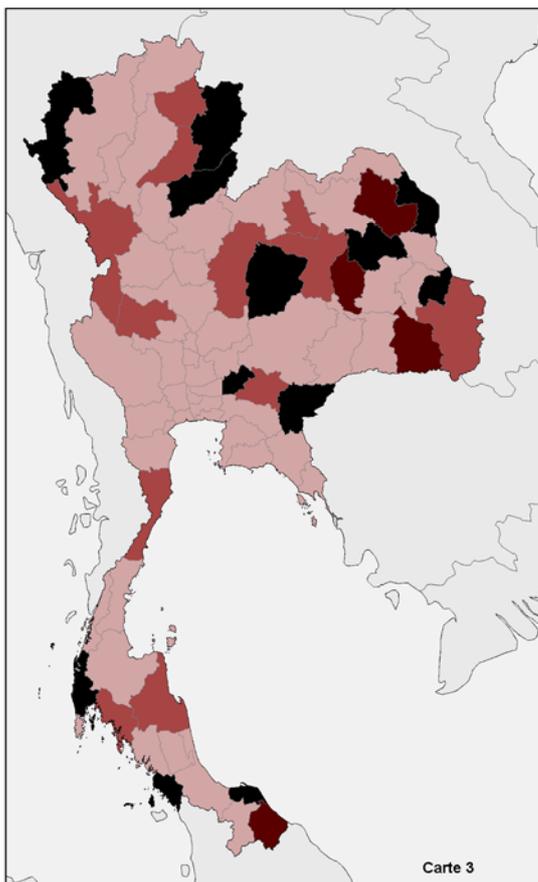
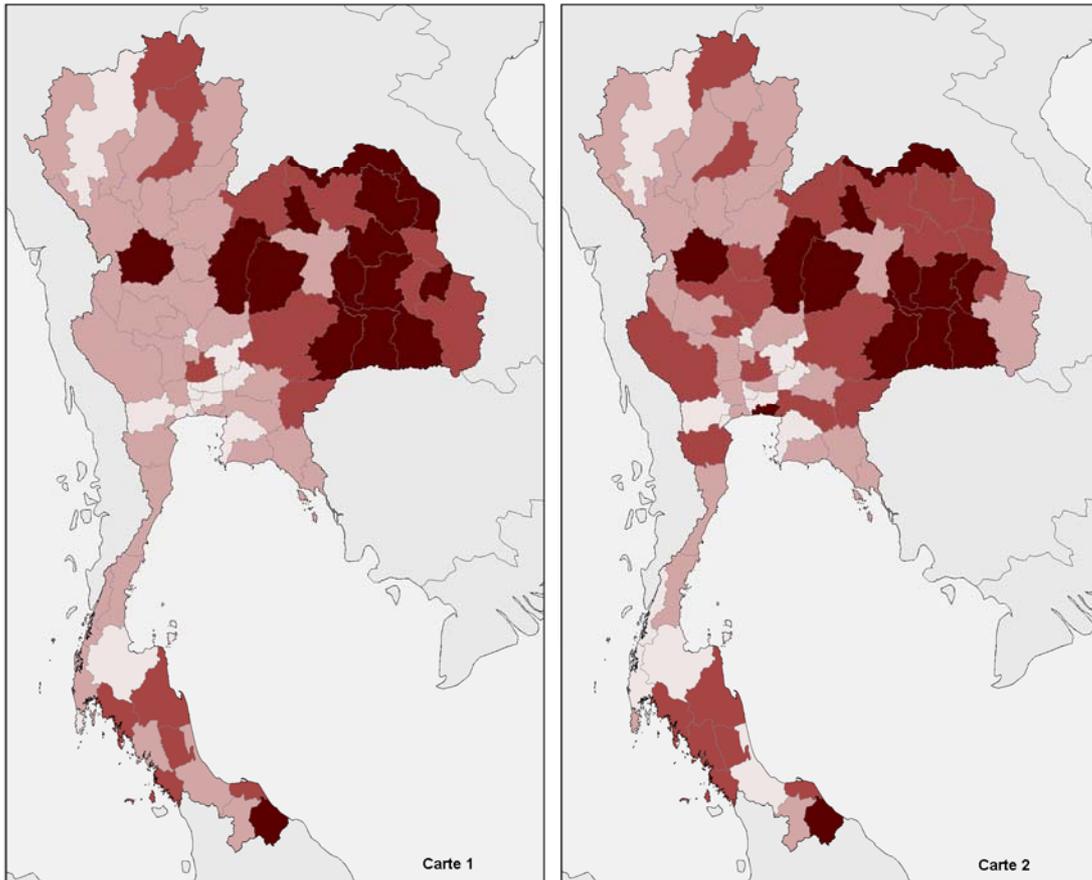
** Les valeurs de Bangkok sont données pour indication

N.B. : la meilleure offre régionale apparaît en bleu, la pire en rouge

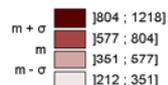
Les disparités sont les plus faibles pour le nombre de dispensaires. Leur implantation répond à couvrir uniformément le territoire, d'un point de vue administratif (un dispensaire par sous-district) sans considération de leur desserte. Ainsi un dispensaire accueille près de 5 000 habitants dans le Nord-Est contre près de 4 000 dans le Nord ou dans le Sud. La région centre est mieux desservie, bénéficiant de meilleurs services à proximité de la capitale. Enfin, à Bangkok, il y a très peu de dispensaires alors que la population privilégie les soins en hôpitaux. Toutefois, il semble que le Ministère de la santé agrandit les dispensaires les plus fréquentés selon les besoins.

Les différences sont plus importantes pour les hôpitaux et le nombre de lits, en comptabilisant la totalité de l'offre, publique ou privée. Le calcul de la desserte médicale des hôpitaux, c'est-à-dire le volume de population par lit d'hôpital dans chacune des provinces, fait ressurgir les disparités (carte 31). Publics et privés confondus, les hôpitaux de la région nord-est, l'Issan, desservent une plus grande population. Dans cette région, seules les provinces de Loei et de Mukdahan sont en dessous de la moyenne nationale. Les provinces du sud et de l'ouest de l'Issan sont au-delà d'un écart-type de la moyenne, traduisant une offre faible par rapport à la population. Seule une province en dehors de l'Issan est dans cette situation : il s'agit de Chiang Rai, isolée à l'extrême nord du pays. La carte de la population par hôpital public est plus homogène avec les provinces le long du Mékong en dessous de la moyenne nationale.

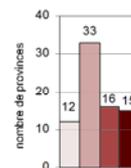
Carte 31 - Desserte médicale : population par lit d'hôpital, par lit d'hôpital public et par lit d'hôpital privé en 2002, par province en Thaïlande



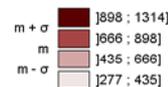
Carte 1 : Population pour un lit d'hôpital en 2002, par province en Thaïlande



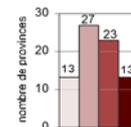
(Discrétisation par la méthode de la moyenne (m) et de l'écart-type (σ))



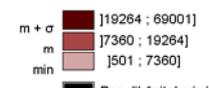
Carte 2 : Population pour un lit d'hôpital public en 2002, par province en Thaïlande



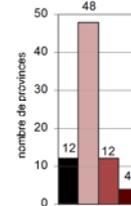
(Discrétisation par la méthode de la moyenne (m) et de l'écart-type (σ))



Carte 3 : Population pour un lit d'hôpital privé en 2002, par province en Thaïlande



(Discrétisation par la méthode de la moyenne (m) et de l'écart-type (σ))



Sources : Bureau of Epidemiology, Ministry of Public Health, Thailand, 2005
National Statistic Office, Thailand, 2000

© UR 178 IRD, Herbreteau V., 2005

Cette carte traduit un manque d'infrastructures publiques dans les provinces urbaines de la métropole de Bangkok, où les services sont assurés par beaucoup de structures privées. Ces disparités se retrouvent sur la desserte en lits avec une surcharge dans la région nord-est ayant 50% de population de plus que dans la région nord ou dans la région sud (tableau 63). Seule la province de Khon Khaen est dans le Nord-Est en dessous de cette moyenne, en raison de la présence de plus grosses structures dans la capitale régionale. La carte du nombre moyen de lits par hôpital et par province en 1999 montre clairement les disparités de taille des hôpitaux et la concentration des grosses structures dans quelques provinces (Atlas - carte 3.1.1.a.). Seules 30 provinces ont un nombre moyen de lits par hôpital supérieur à la moyenne de 86,6. Ces provinces se distinguent nettement, se superposant aux grands axes de communication, en partant de Bangkok vers Chiang Mai, vers Khon Khaen, vers Chantaburi et vers Kanchanaburi. Les plus grosses structures se trouvent dans la métropole de Bangkok et à Chiang Mai. La province de Yala se démarque aussi avec seulement neuf hôpitaux d'une plus grande capacité. Cette carte montre par ailleurs une certaine homogénéité due à la distribution des hôpitaux communautaires (environ 30 lits) dans tous les districts. Ils y assurent les soins courants.

En revanche, l'offre de soins privée, limitée en effectif par rapport au service public, est spatialement très hétérogène. La carte de la population par hôpital privé et par province en 1999 montre les provinces isolées, sans structures privées, pour la plupart le long des frontières.

3.1.1.2. L'offre de soins privée déséquilibre la desserte en médecins

L'offre de soins privée est liée aux densités de population et à l'activité économique. Les hôpitaux privés sont essentiellement situés à Bangkok (29%) et dans les capitales régionales. Peu de structures privées sont situées dans l'Issan, d'où un volume de population plus important par hôpital privé. Ces variations spatiales se retrouvent sur les cartes de population par lit d'hôpital en 2002, avec un isolement très net de l'Issan. Pour les hôpitaux privés en 2002, la desserte en lits est plus homogène, que ne l'est la desserte en nombre de structures en 1999, en raison d'une légère augmentation de l'offre privée.

L'exercice d'une activité privée n'est pas interdit pour les médecins du public en Thaïlande. Outre l'augmentation considérable de leurs revenus, le prestige du service privé et la préférence forte qu'il dégage encourage pour autant les médecins du public à se tourner vers une activité privée complémentaire. Craignant une dégradation du service, le Ministère de la Santé a enquêté en 2001 sur les motivations des médecins en interrogeant 1 808 médecins dans cinq provinces représentant chaque grande région (Prakongsai, 2003). Parmi eux, seulement 36% (659) ont répondu, ce que le Ministère a traduit par une gêne et une crainte face au gouvernement. 69% des répondants ont admis exercer une double activité, mentionnant des salaires insuffisants dans le service public. En moyenne le salaire est multiplié par 2,2 par rapport à une activité publique à temps complet. Phisit Prakongsai de l'International Health Policy Programme conclut que le gouvernement doit prendre des mesures pour organiser cette double activité, qui permet de compenser les salaires bas des docteurs et d'augmenter l'accès aux soins, afin d'en limiter les effets négatifs pour le système public.

Ainsi, en relation directe avec la distribution de l'offre privée, la desserte en médecins varie selon l'influence économique, administrative et sanitaire des provinces (Atlas - carte 3.1.1.b.). La moyenne nationale est de un médecin pour 6 200 habitants avec un écart-type élevé (un médecin pour 3 015 habitants). La desserte en médecins traduit une fracture entre la région nord-est et le reste du pays. Dans cette région, la clientèle théorique est quasiment le double de celle des autres régions. Ceci est lié au déficit des hôpitaux ou des cliniques privées dans certaines régions alors que les hôpitaux publics sont fournis quasi-uniformément en médecins. Les capitales de région, qui sont aussi de grands pôles universitaires et bénéficient d'hôpitaux universitaires, concentrent les compétences pour des soins spécialisés. Ainsi, au cœur de la région Issan, Khon Khaen et Nakhon Ratchasima ont un nombre élevé de médecins comparé à la population, ce qui les positionne dans

la moyenne des autres capitales de région, Chiang Mai dans le Nord, Songkla dans le Sud ou les provinces de la métropole de Bangkok.

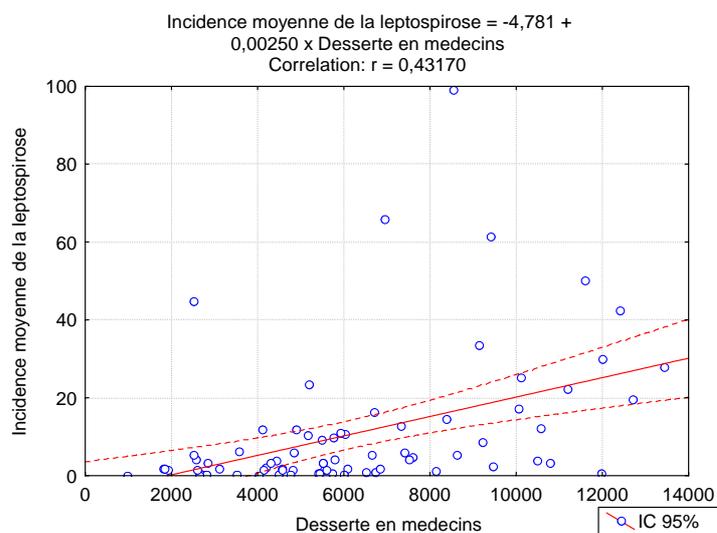
Durant les années 80 et 90, le gouvernement a tenté de résorber les déficits en médecins, infirmières et dentistes. Il est intervenu sur la formation et a contraint les jeunes diplômés à servir le secteur public pendant quelques années pour les mobiliser dans les campagnes. En 2000, alors qu'il y avait environ 18 000 médecins, le besoin était estimé à 25 000 (Sirikanokwilai, 1998). Le nombre de médecins spécialistes, certifiés par le Medical Council, croît régulièrement, atteignant 58% en 2001. Il y a en réalité 69% de médecins qui pratiquent en temps que spécialistes sans être obligatoirement certifiés. Les disparités régionales sont plus fortes pour les médecins spécialistes. Le Nord-Est a environ deux fois moins de dentistes et de pharmacies modernes ou vendant des médicaments préparés, que les autres régions à population égale (tableau). Depuis 2000, le Ministère de la santé tente de rétablir le déficit de dentistes dans les campagnes en nommant un dentiste dans chaque hôpital de district. 90% des dentistes étaient dans le secteur public en 2000.

Ces différents niveaux de médicalisation reflètent les disparités du niveau de vie. La desserte des structures privées est fonction de la demande et, avec des revenus et un budget santé plus bas, le Nord-Est se démarque par sa mauvaise offre de soins. Les régions nord et sud, tant culturellement qu'économiquement fort différentes, ont un niveau de médicalisation proche. Les chiffres donnés pour la région centre sont difficiles à interpréter car ils masquent les différences entre provinces, certaines étant très isolées, d'autres étant situées dans le périmètre d'influence de Bangkok. Dans cette région, le niveau de médicalisation semble refléter le développement économique et social d'une population plus jeune.

3.1.1.3. La desserte médicale reflète-t-elle les problèmes de santé ?

Après avoir cartographié la desserte médicale, un rapprochement frappant se fait avec les cartes d'incidence de la leptospirose. Y a-t-il une relation entre la fracture des soins et la régionalisation de la leptospirose ?

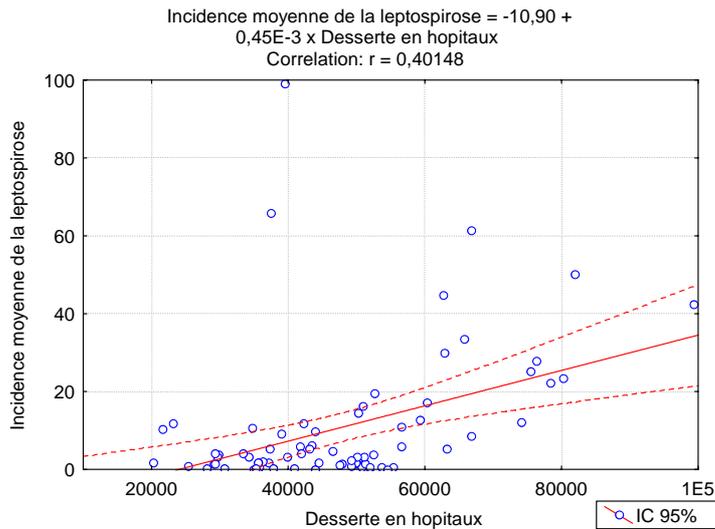
En effet, les provinces qui ont enregistré les fortes épidémies de leptospirose, la région Issan et en particulier ses parties ouest et sud, ainsi que le sud de la Thaïlande, se retrouvent sur les cartes de l'offre de soins, désignées en couleurs sombres, comme les provinces les plus mal desservies. Dans cette même région nord-est, les provinces le long du Mékong, où les incidences de leptospirose sont plus faibles, ont une meilleure desserte en médecins et en hôpitaux, liée à une population moins dense.



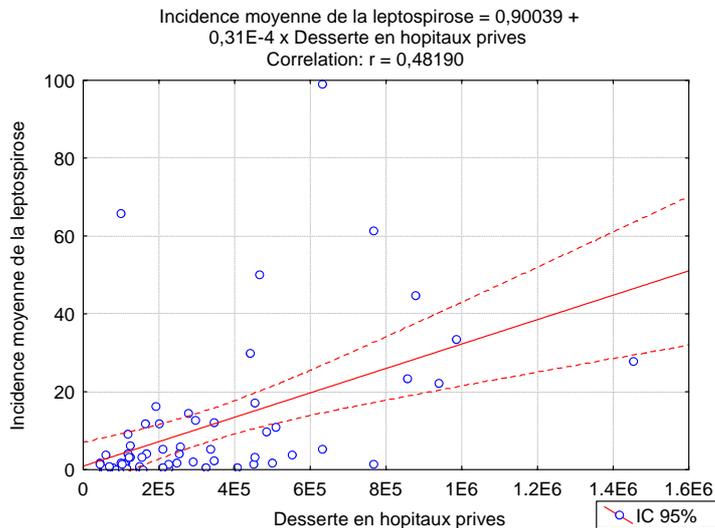
Graphique 36 : Nuage de points entre l'incidence moyenne de la leptospirose entre 2000 et 2005 et la desserte en médecins en 2002

L'analyse des relations entre l'incidence moyenne de la leptospirose de 2000 à 2005 et les dessertes en médecins, hôpitaux, et hôpitaux privés, pour les 76 provinces révèle des corrélations positives et significatives (graphique 36). A l'échelle provinciale, l'incidence de la leptospirose est fortement corrélée à la desserte en médecins (population par médecin), la corrélation est de 0,43 ($p < 0,05$) entre les deux distributions.

Plus la population par médecin est importante et plus l'incidence de la leptospirose est grande.



Graphique 37 : Nuage de points entre l'incidence moyenne de la leptospirose entre 2000 et 2005 et la desserte en hôpitaux en 1999



Graphique 38 : Nuage de points entre l'incidence moyenne de la leptospirose entre 2000 et 2005 et la desserte en hôpitaux privés en 1999

En d'autres termes, pour une population donnée, moins il y a de médecins et plus il y a de cas de leptospirose.

D'autre part, l'incidence de la leptospirose est corrélée à la desserte en hôpitaux par un coefficient 0,40 ($p < 0,05$) (graphique 37). La corrélation avec la desserte en hôpitaux privés est légèrement plus élevée, 0,48 ($p < 0,05$) (graphique 38). Cependant cette corrélation ne porte que sur 64 provinces au lieu de 76, 12 provinces n'ayant aucune structure privée. En revanche, l'incidence de la leptospirose n'est pas corrélée à la desserte en hôpitaux publics, puisque leur distribution par province est relativement homogène.

L'interprétation de ces corrélations est toutefois délicate : un plus grand nombre d'hôpitaux et de médecins pourrait impliquer un meilleur service, plus de disponibilité des médecins dans les hôpitaux, des consultations non relayées par les infirmières en cas de surcharge. En aucun cas, la relation avec l'offre de soins ne peut être liée au taux de transmission de zoonoses des rongeurs à l'Homme.

En théorie, un meilleur niveau de médicalisation doit au contraire impliquer une amélioration du diagnostic et du report des cas (d'où une incidence plus élevée), et non un meilleur état de santé apparent, du moins dans les statistiques épidémiologiques. Ainsi, les distributions « incidence de la leptospirose » et « dessertes médicales » ne seraient pas liées mais s'expliqueraient par des facteurs communs.

Les corrélations spatiales entre ces distributions pourraient résulter des différences de structure de la population. En effet, les caractéristiques démographiques et le niveau économique et social peuvent conditionner l'exposition à la leptospirose, comme nous l'avons exposé précédemment, mais aussi l'offre de soins.

Le niveau de recours aux soins conditionne l'offre de soins. Les effectifs du personnel de santé sont gérés en fonction des besoins de santé : un hôpital en surcharge obtiendra un médecin ou des infirmières supplémentaires. Ainsi dans le Nord-Est, le niveau de desserte médicale en deçà des moyennes des autres régions pourrait être dû à un recours aux soins plus limité. La restriction du recours aux soins peut elle-même s'expliquer par plusieurs facteurs : des populations plus pauvres et un accès plus difficile.

3.1.2. La situation géographique et sociale conditionne l'accès et le recours aux soins

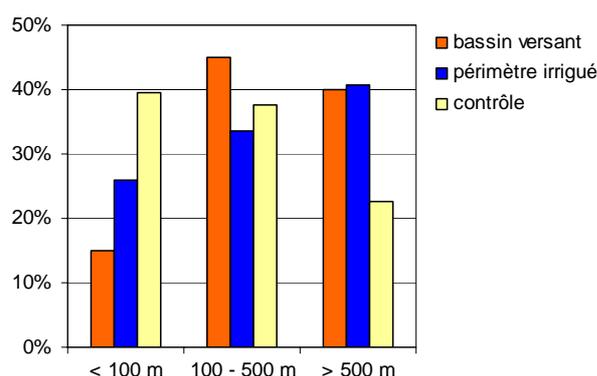
Le comportement guidant le choix des structures de soins a évolué avec le développement économique rapide et l'offre changeante. Selon une enquête du Ministère de la santé et de l'Université de Mahidol, l'ensemble de la population a recours au moins une fois par an au système de soins et majoritairement aux hôpitaux publics depuis les années 80 (Community health survey et Institute for Population and Social Research, The morbidity and mortality differential Asean population programme, Mahidol University et MOPH). L'automédication concernait la moitié de la population en 1970 et plus d'un quart en 1985. Ces évolutions du recours aux soins ont nécessité un budget santé croissant pour les foyers.

3.1.2.1. Les populations sont inégales devant l'accès et le recours aux soins

Le recours aux soins est tout d'abord conditionné par leur coût. Les personnes ayant une prise en charge des soins doivent s'orienter vers les structures publiques, hôpitaux ou dispensaires. Les autres, en fonction de leur niveau social, privilégieront des soins peu coûteux (automédication, pharmacies, recours au forfait fixe à 30 bahts dans les structures publiques) ou plus onéreux (cliniques ou hôpitaux privés). Ces comportements de santé semblent caractéristiques des familles plus que des individus.

Le choix des structures est d'autre part influencé par la situation géographique des foyers. La distance séparant le lieu de résidence des différentes structures de soins (pharmacie, dispensaire, clinique, hôpital) guide le choix, en considération des moyens de déplacement disponibles aux malades (à pied, vélo, motocyclette, tricycle à moteur, voiture, motoculteur attelé, ou bien disponibilité d'un voisin, d'un ami ou de la famille pour transporter). La présence d'une structure à proximité du lieu de résidence peut influencer ce choix. Une personne qui réside près d'un dispensaire le privilégiera par rapport à un hôpital plus éloigné. En milieu urbain, les populations consultent préférentiellement les médecins dans les hôpitaux.

Lors de l'enquête de Phrae, nous avons essayé de comprendre les différentes situations pour accéder aux soins et les éventuelles difficultés rencontrées.



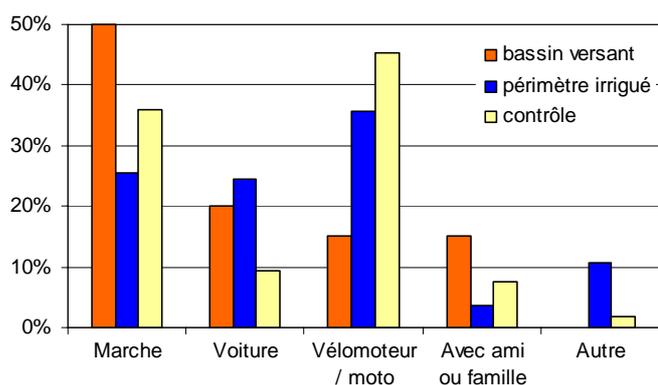
Sources : Enquête santé Phrae, IRD-Mahidol University

© Herbreteau V., Tantrakarnapa K., 2006

Graphique 39 : Distance séparant du centre de soins le plus proche

Nous avons tout d'abord évalué la distance de la résidence au centre de soins le plus proche (dispensaire, clinique ou hôpital) à l'aide du SIG (graphique 39). Nous avons classé cette distance en trois catégories : de 0 à 100 mètres (ce qui permet éventuellement aux personnes valides et peu souffrantes de s'y rendre à pied), de 100 à 500 mètres et à plus de 500 mètres. 28% des personnes interrogées sont à moins de 100 mètres d'un centre de soins. Il s'agit essentiellement, en zone rurale, des populations des villages qui disposent d'un dispensaire. 35% résident entre 100 et 500 mètres d'un centre de soins ce qui nécessite pour la plupart un moyen de locomotion.

Enfin, 37% des personnes enquêtées ont l'accès le plus difficile, étant situées à plus de 500 mètres. Dans la zone d'étude, l'accès en terme de distance est donc bon avec près des deux tiers de la population située à moins de 500 mètres d'un centre de soins. Sur le bassin versant, où quelques habitations sont isolées, les distances à parcourir sont en moyenne plus grandes.

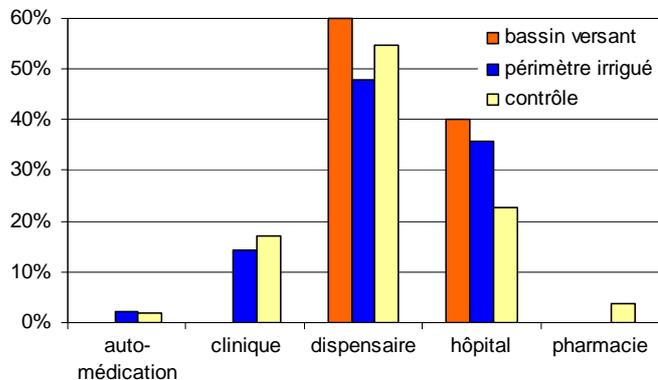


Sources : Enquête santé Phrae, IRD-Mahidol University
© Herbreteau V., Tantrakarnapa K., 2006

Graphique 40 : Moyen de locomotion pour se rendre au centre de soins le plus proche

Sur le périmètre irrigué, un quart des personnes se rend au centre de soins le plus proche à pied, ce qui correspond aux personnes situées à proximité du centre (graphique 40). L'essentiel de la population est motorisé avec un tiers qui se déplace à vélomoteur et un quart en voiture. Seuls 3,6% ont besoin de l'aide de la famille ou d'un ami pour se rendre dans un centre de soins. Ces personnes trouvent aisément une aide. Un test de χ^2 montre des distributions différentes ($p < 5\%$) entre le périmètre irrigué et le bassin versant. Sur ce dernier, 50% des personnes se rendent à pied au centre de soins le plus proche alors que les distances peuvent être plus importantes et les routes plus accidentées.

L'accès est logiquement plus difficile dans les espaces où le peuplement est moins dense et moins dispersé car il y a en conséquence moins de centres de soins de proximité. La situation physique des foyers conditionne la qualité de l'accès aux soins. Les zones montagneuses sont ainsi les plus défavorisées.



Sources : Enquête santé Phrae, IRD-Mahidol University
© Herbreteau V., Tantrakarnapa K., 2006

Graphique 41 : Choix privilégié pour les soins

Dans ces villages de campagne, la moitié des habitants (49,8%) choisissent les dispensaires et un tiers (33,7%) les hôpitaux comme première structure de soins (graphique 41). Seuls 14,5% des personnes interrogées ont répondu privilégier les structures privées, cliniques ou pharmacies. Enfin un pourcentage très faible, 2,0%, se soigne seul. Dans la zone d'étude, les populations ont recours en majorité à une réelle offre de soins et en priorité à l'offre publique de proximité. Ce constat positif dans la province de Phrae est cohérent avec la volonté du MOPH d'offrir une structure publique pour tous.

Par ailleurs, il semble qu'il subsiste quelques inégalités entre les différentes régions du pays.

Afin d'appréhender les différences socio-économiques entre les provinces, nous avons à notre disposition une série d'indices développés par le National Economic and Social Development Board (NESDB). Le NESDB s'est basé sur le calcul de l'Indice du Développement Humain (IDH) du Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) pour élaborer son indice de la performance humaine (HAI : Human Achievement Index). Le HAI est la moyenne de huit indices décrivant : la santé, l'éducation, l'emploi, les revenus, le logement, la vie familiale, les moyens de transport et de communication, la vie participative. Ces indices intègrent les données les plus

informatives en provenance des différents ministères thaïlandais. Ils sont calculés par province en comparaison aux valeurs minimales et maximales théoriques à ne pas dépasser, selon l'équation :

$$\text{Indice} = \frac{\text{valeur de la province} - \text{minimum}}{\text{maximum} - \text{minimum}}$$

Les indices prennent donc des valeurs comprises entre 0 et 1. Une valeur élevée correspond à un niveau satisfaisant. Pour cartographier ces indices et pouvoir les comparer spatialement, nous avons choisi une discrétisation selon la moyenne et l'écart-type. Les couleurs sombres sont attribuées aux valeurs faibles pour mettre en valeur les provinces où le niveau d'un indice est insuffisant.

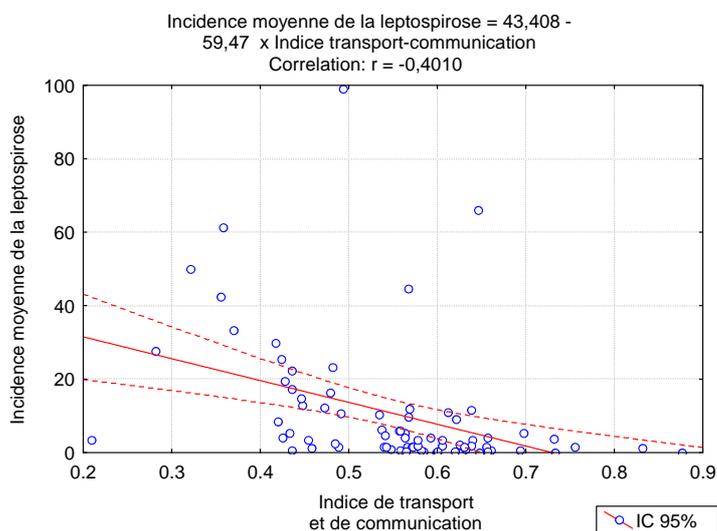
L'indice de transport et de communication, l'une des huit composantes du HAI, décrit l'isolement des populations. Il prend en compte cinq paramètres liés aux infrastructures de transport et de communication à l'échelle provinciale :

- le pourcentage de villages ayant un accès convenable au chef-lieu de district le plus proche pendant la saison des pluies (Source : NRD2C, 2001). Cet indice est calculé en fonction de la disponibilité ou non d'un moyen de transport individuel ou collectif, la présence de motocyclettes pour plus de 60% de la population et un temps de déplacement inférieur à 15 minutes pour se rendre au chef-lieu de district le plus proche ;
- le nombre de véhicules (de plus ou moins sept places ainsi que les motocyclettes) immatriculés pour 1 000 habitants (Source : Technical and Planning Division, Department of Land Transportation, 2001) ;
- le pourcentage de foyers ayant la télévision (Source : NSO, Enquête socio-économique, 2000) ;
- le nombre de personnes par téléphone (Source : les différents opérateurs téléphoniques, en 2002) ;
- le pourcentage de la population ayant l'accès à Internet depuis le foyer, le lieu de travail, l'école ou un « café-Internet » (Source : NSO, Enquête sur les travailleurs, 2000).

En matière d'accès aux soins, ces données traduisent les facilités ou les difficultés que peuvent avoir les populations pour se rendre vers une structure de soins en cas de maladie ou de soins réguliers : la disponibilité d'un moyen de locomotion, le temps du trajet ou encore la possibilité d'appeler une aide. Cet indice est parmi ceux qui montrent les plus grandes inégalités, en prenant des valeurs très dispersées de 0,209 à 0,877. Les provinces urbaines ont logiquement les valeurs les plus élevées. La région nord-est est nettement celle où les transports et les communications sont les plus difficiles (Atlas - carte 3.1.2.). A l'exception de la province de Khon Khaen, plus urbaine, toutes les provinces du nord-est ont des valeurs en dessous de la moyenne. Les provinces du sud de cette région ont parmi les plus faibles valeurs du pays.

3.1.2.2. Les difficultés d'accès reflètent-elles les problèmes de santé ?

La carte de l'indice des moyens de transport et de communication en 2003 par province (Atlas - carte 3.1.2.) distingue à nouveau la région nord-est comme une entité en retrait des autres régions. La distribution des valeurs se rapproche de celles des incidences de la leptospirose.



Graphique 42 : Nuage de points entre l'incidence moyenne de la leptospirose entre 2000 et 2005 et l'Indice de transport et de communication

En effet, l'indice de transport et de communication est corrélé négativement à l'incidence moyenne de la leptospirose entre 2000 et 2005 (-0,40 avec $\rho < 0,05$) (graphique 42). Plus la province est défavorisée en moyens de transport et de communication et plus l'incidence de la leptospirose est élevée. Le lien entre les deux variables n'est pas direct (les difficultés de transport n'accroissent pas la vulnérabilité à la leptospirose) Au contraire, des communications plus difficiles devraient conduire à un recours aux soins limité et à une sous-estimation du nombre de malades.

En revanche, les déplacements à pied et le travail à la main sont plus probables dans cette région nord-est ce qui se traduit par des populations plus vulnérables aux pathogènes de l'eau ou du sol, comme les leptospires. Comme nous l'avons observé pour la desserte médicale, la région nord-est est défavorisée au niveau de l'accès aux soins et donc du recours aux soins.

Malgré un système de soins qui se doit uniforme et à proximité de tous, des inégalités subsistent face aux soins, à la fois dans l'offre de soins mais aussi dans l'accès et le recours aux soins. La région nord-est se positionne en retrait des autres régions pour les soins. Cette situation trouve son origine dans une conjoncture économique et sociale plus difficile, où la leptospirose et le typhus des broussailles ont profité de conditions favorables pour émerger. Afin de valider ces corrélations entre les données de leptospirose et quelques variables descriptives du système de soins, nous allons maintenant évaluer si les variations de morbidité ne sont pas biaisées par le système de soins, qui en est la source.

3.2. Représentativité des données épidémiologiques de la leptospirose : standardisation et comparaison avec les autres pathologies diagnostiquées.

L'interprétation et la comparaison des données de morbidité, issues d'un système de soins, sont délicates. Elles nécessitent tout d'abord la connaissance de la structure démographique et sociale des populations auxquelles elles se rapportent pour en comprendre tous les biais. D'autre part, ces données ne renseignent pas directement sur la réalité des épidémies mais sur leur observation par le système de soins. Toute disparité spatiale dans la qualité de l'offre et de l'accès aux soins ainsi que dans le recours aux soins se retrouve de manière inéluctable dans les variations spatiales de morbidité. En comparant la leptospirose à d'autres pathologies, nous devrions pouvoir estimer si la distribution des cas répond à la réalité des épidémies ou bien traduit les inégalités du système de soins.

3.2.1. La géographie de la leptospirose n'est pas liée à la structure démographique des populations mais à leur activité.

3.2.1.1. Standardisation des incidences selon l'âge

Les profils démographiques, très marqués selon les régions (voir chapitre 2.1.1.), vont se retrouver inévitablement dans une cartographie des incidences brutes pour une maladie comme la leptospirose, touchant inégalement les classes d'âge. Il convient de savoir si, dans les régions où les incidences sont les plus importantes, les catégories les plus exposées, généralement les 25-50 ans sont proportionnellement plus importantes que la moyenne nationale, ce qui expliquerait une incidence plus élevée. Si les incidences sont au même niveau ou inférieures, cela traduirait des facteurs de risque indépendants de la structure par âge de la population.

*En épidémiologie, les **taux bruts** sont des indicateurs de l'ampleur réelle de l'incidence d'une pathologie sur une population mais la comparaison de taux entre différentes populations peut être inappropriée si ces populations ont des structures démographiques, culturelles, sociales ou économiques, différentes. Ces facteurs influençant les taux bruts sont dits **facteurs de confusion**. La **standardisation** (ou l'**ajustement**) des taux est une méthode permettant d'enlever l'effet de confusion des variables qui diffèrent dans les populations comparées.*

Afin de pouvoir comparer les incidences brutes dans les entités spatiales cartographiées sur l'ensemble du pays, ici les districts, il faut standardiser ces incidences, c'est-à-dire les ajuster sur le facteur de confusion, l'âge. La population de référence pour chacune des classes d'âge est la moyenne nationale.

Il existe deux méthodes de standardisation, directe et indirecte, généralement utilisées pour le calcul des taux de mortalité standardisés (Bouyer et al., 1993 et 1996 ; Ancelle, 2002, Organisation panaméricaine de la santé, 2002). Appliquée à la standardisation des incidences, la méthode directe calcule sur chaque entité géographique l'incidence qu'on observerait si l'entité avait la même structure démographique que la référence. Quant à la méthode indirecte, elle donne le nombre de cas attendus, c'est-à-dire le nombre de cas théorique si l'entité avait la même incidence que la référence nationale. La méthode directe nécessite de connaître l'âge des patients dans chaque entité pour pouvoir les identifier dans une classe d'âge. La méthode indirecte est intéressante si les effectifs dans chaque classe sont trop faibles.

A partir de 2003 seulement, les enregistrements informatisés du Ministère de la santé mentionnent l'âge. Nous avons alors pu appliquer la méthode directe en trois étapes :

$$1- \text{l'incidence de chaque classe d'âge : } (\text{Incidence})_{\text{classe d'âge}} = \frac{\text{Cas}}{\text{Effectif}} \times 1000$$

2- le nombre de cas attendus avec l'effectif de référence :

$$(\text{Cas attendus})_{\text{classe d'âge}} = (\text{Effectif de référence})_{\text{classe d'âge}} \times (\text{Incidence})_{\text{classe d'âge}}$$

3- l'incidence standardisée :

$$(\text{Incidence standardisée})_{\text{district}} = \frac{\sum_{\text{toutes classes}} (\text{Cas attendus})_{\text{classe d'âge}}}{\text{Effectif de référence total}}$$

Nous pouvons illustrer ces calculs par un exemple simple, en prenant trois classes d'âge et trois districts (tableau 64)

Tableau 64 : Exemple de l'application de la standardisation des incidences

Classes		0 - 30	30 - 60	> 60	Total	Incidence standardisée
District 1	Effectif	120	100	50	270	
	Cas	10	5	3	18	
	Incidence	0,083	0,050	0,060	0,193	
	Cas attendus	41,667	24,000	15,000	80,667	0,066
District 2	Effectif	160	130	70	360	
	Cas	11	4	2	17	
	Incidence	0,069	0,031	0,029	0,128	
	Cas attendus	34,375	14,769	7,143	56,287	0,046
District 3	Effectif	220	250	130	600	
	Cas	13	14	6	33	
	Incidence	0,059	0,056	0,046	0,161	
	Cas attendus	29,545	26,880	11,538	67,964	0,056
Référenc	Effectif total	500	480	250	1230	

Dans cet exemple, l'incidence de la maladie sur l'ensemble des trois districts est ainsi calculée :

$$\text{Incidence standardisée} = \frac{\sum_{\text{tous districts}} (\text{Incidence standardisée})_{\text{district}} \times \text{Effectif district}}{\text{Effectif de référence total}} = 0,055$$

La méthode choisie pour la création des cartes 2003 et 2004 est semblable à cette méthode directe mais, au lieu de standardiser l'incidence, nous avons standardisé le nombre de cas pour chaque classe et district :

$$1- \text{Part de la classe d'âge dans la population : } \text{Part de la classe d'âge} = \frac{\text{Effectif de la classe}}{\text{Effectif total}}$$

2- Cas standardisés par classe et district :

$$((\text{Cas standardisés})_{\text{classe}})_{\text{district}} = (\text{Cas})_{\text{classe}} \times \frac{\text{Part de la classe de référence}}{\text{Part de la classe}}$$

3- Calcul de la prévalence théorique par district :

$$\text{Incidence standardisée} = \frac{\sum_{\text{toutes classes}} \text{Cas standardisés}}{\text{Effectif du district}}$$

Nous pouvons à nouveau illustrer ces calculs avec l'exemple précédent (tableau 65) :

Tableau 65 : Exemple de la méthode utilisée pour standardiser le nombre de cas des années 2003 à 2005, en prenant trois classes d'âge et trois districts

Classes		0 - 30	30 - 60	> 60	Total	Incidence standardisée
District 1	Effectif	120	100	50	270	
	Cas	10	5	3	18	
	Cas standardisés	9,146	5,268	3,293	17,707	0,066
District 2	Effectif	160	130	70	360	
	Cas	11	4	2	17	
	Cas standardisés	10,061	4,323	2,091	16,474	0,046
District 3	Effectif	220	250	130	600	
	Cas	13	14	6	33	
	Cas standardisés	14,412	13,112	5,629	33,153	0,056
Référence	Effectif total	500	480	250	1230	

Par cette méthode, nous retrouvons l'incidence de la maladie sur l'ensemble des trois districts, calculée précédemment, ici par le calcul :

$$\text{Incidence totale standardisée} = \frac{\sum (\text{Cas standardisés})_{\text{district}}}{\text{Effectif de référence total}} = 0,055$$

Pour les années 2003 et 2004, nous avons ainsi calculé et cartographié sous SavGIS les incidences standardisées (/100 000) de leptospirose, à l'échelle des districts sur l'ensemble du pays. L'incidence standardisée pour l'année 2003 est très proche de l'incidence observée à partir des déclarations du MOPH. Pour les deux années, l'incidence standardisée est légèrement plus forte en moyenne mais la dispersion reste semblable (tableaux 66 et 67).

Tableau 66 : Statistiques descriptives des incidences brute et standardisée, par district, pour 100 000 habitants, en 2003

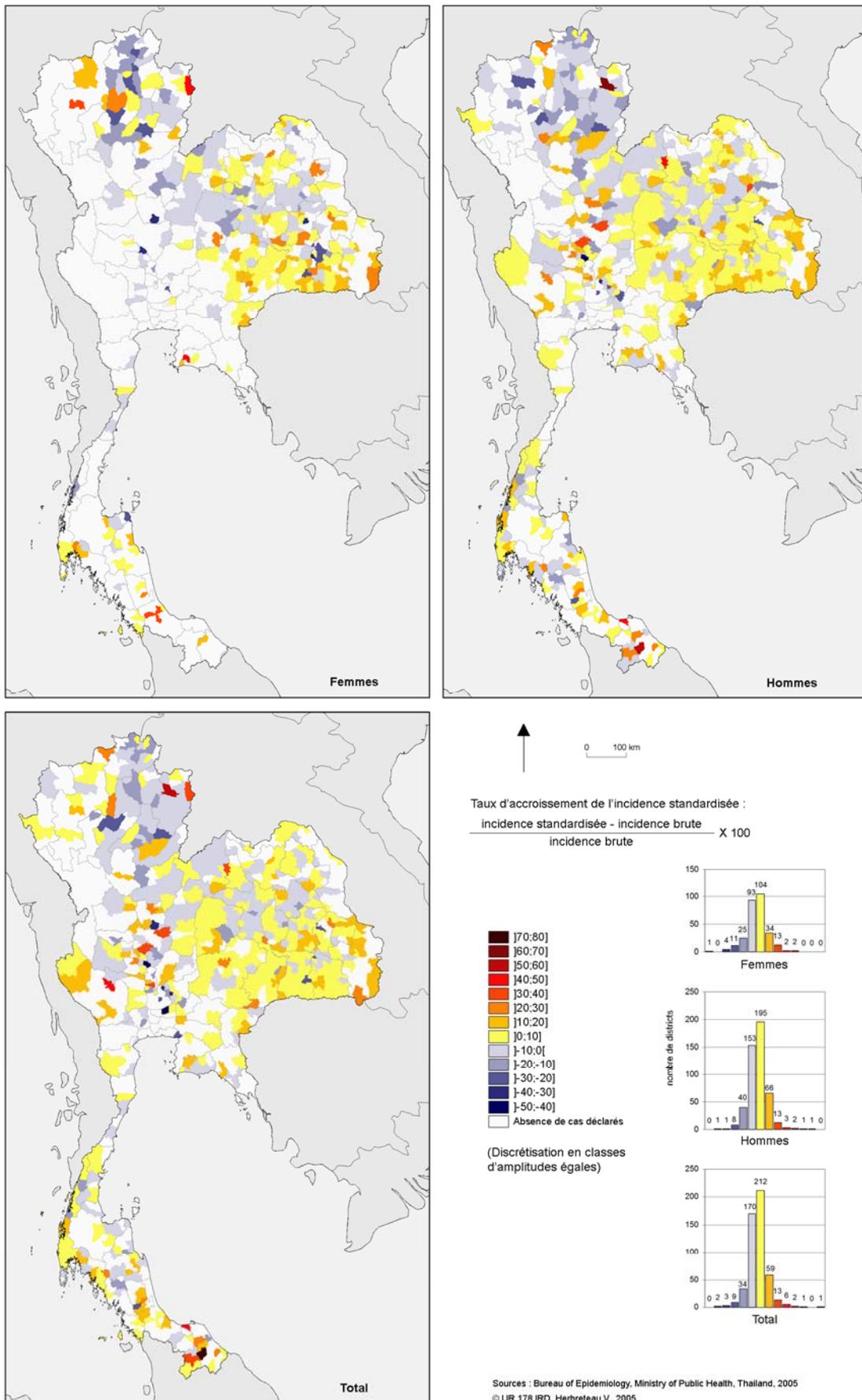
	Femmes		Hommes		Total	
	Incidence brute	Incidence standardisée	Incidence brute	Incidence standardisée	Incidence brute	Incidence standardisée
Moyenne	4,4	4,5	13,9	14,1	9,1	9,3
Ecart-type	12,5	12,8	33,0	33,6	22,1	22,5
Maximum	152,2	149,1	455,7	446,4	292,3	289,4

Tableau 67 : Statistiques descriptives des incidences brute et standardisée, par district, pour 100 000 habitants, en 2004

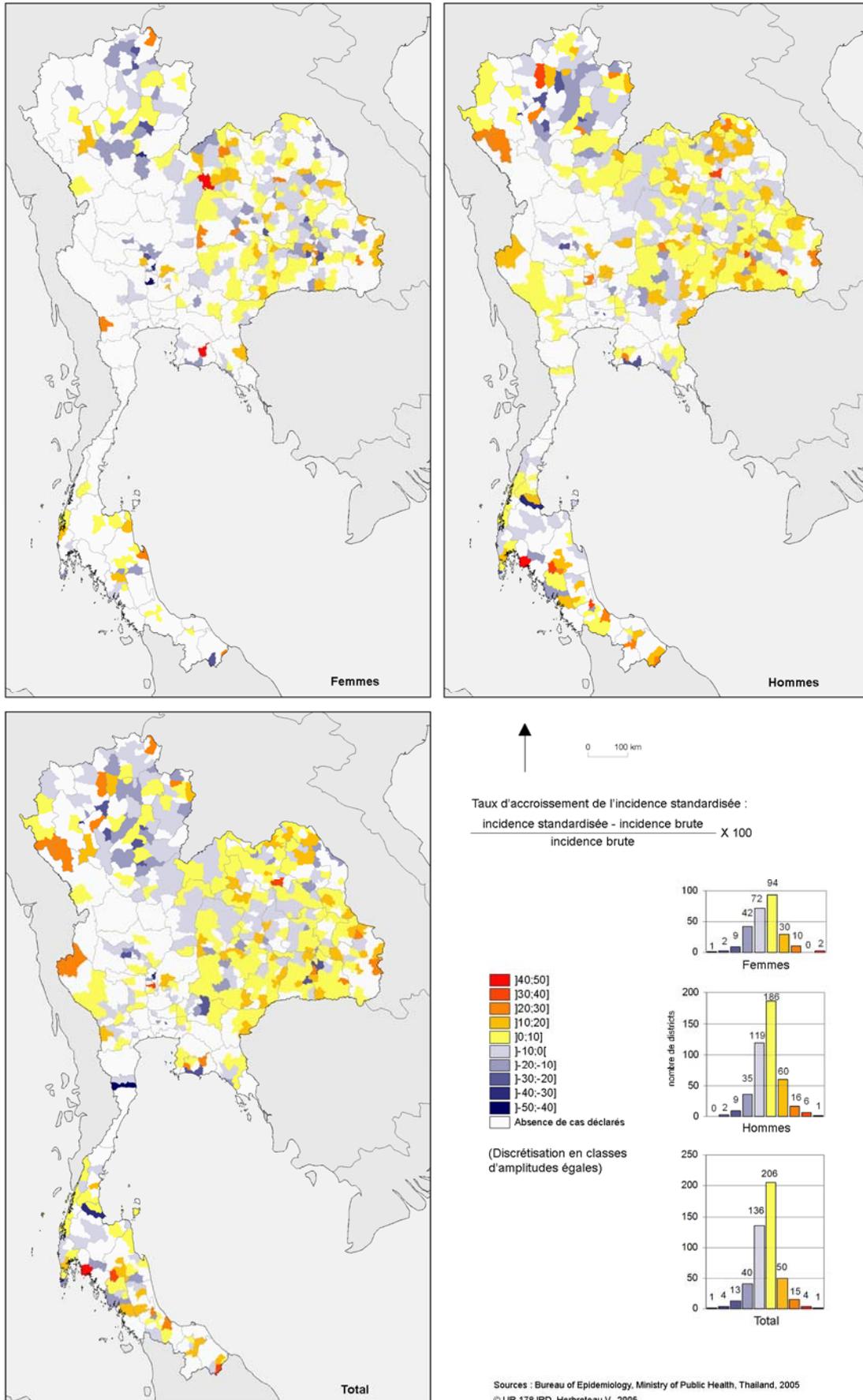
	Femmes		Hommes		Total	
	Incidence brute	Incidence standardisée	Incidence brute	Incidence standardisée	Incidence brute	Incidence standardisée
Moyenne	2,8	2,8	8,6	8,8	5,7	5,8
Ecart-type	7,8	7,8	19,6	20,1	13,2	13,4
Maximum	103,1	108,9	228,5	242,2	166,3	176,1

En 2003, le maximum de l'incidence standardisée est légèrement plus faible que celui de l'incidence brute (289,4 contre 292,3) mais c'est le contraire en 2004 (176,1 contre 166,3). Les écarts sont plus importants pour les hommes, dont les effectifs sont plus élevés. La différence entre l'incidence standardisée et l'incidence brute est très faible. Un test de χ^2 de conformité entre l'incidence brute et l'incidence standardisée, pour les districts ayant eu au moins un cas, montre qu'il n'y a pas de différence significative ($p < 5\%$) entre les deux distributions dans les six cas (total, hommes, femmes, sur les deux années). La plus grande différence concerne les hommes en 2004 où le χ^2 vaut 55,3 ($< \chi^2_{90\%}$ avec ddl = 435).

Carte 32 : Taux d'accroissement de l'incidence standardisée selon l'âge par rapport à l'incidence brute des cas de leptospirose déclarés en 2003 (femmes, hommes et total) par district, en Thaïlande



Carte 33 : Taux d'accroissement de l'incidence standardisée selon l'âge par rapport à l'incidence brute des cas de leptospirose déclarés en 2004 (femmes, hommes et total) par district, en Thaïlande



Afin de visualiser les différences entre l'incidence brute vers l'incidence standardisée, nous avons calculé et cartographié un taux d'accroissement :

$$\text{Taux d'accroissement} = \frac{\text{Incidence standardisée} - \text{Incidence brute}}{\text{Incidence brute}} \times 100$$

Les cartes de la différence entre l'incidence standardisée et l'incidence brute des cas de leptospirose déclarés en 2003 et en 2004 utilisent des tons chauds, du jaune au rouge, pour montrer une incidence standardisée plus forte et des tons froids, du bleu clair au bleu foncé, dans le cas contraire (cartes 32 et 33, pages précédentes). La partie sud de la région nord-est présente globalement une incidence standardisée supérieure à l'incidence brute en 2003 et en 2004. De plus, l'incidence brute semble nettement supérieure à l'incidence standardisée dans la région nord. Ces observations s'appliquent plus particulièrement aux hommes qu'aux femmes, dont l'incidence de la leptospirose est très inférieure.

Toutefois, ce taux d'accroissement n'est pas statistiquement lié à l'incidence brute : les districts ayant une incidence brute élevée peuvent avoir, indépendamment, une incidence standardisée supérieure ou inférieure. Ainsi, les différents profils démographiques observés à travers le pays ne sont pas un facteur de confusion pour l'incidence brute. L'âge n'augmente pas la susceptibilité à l'infection par la leptospirose. Les critères de vulnérabilité sont donc principalement liés à l'activité professionnelle ou aux loisirs. Nous pouvons alors tester l'importance de l'activité agricole comme facteur de confusion des incidences brutes.

3.2.1.2. Standardisation des incidences selon l'activité agricole

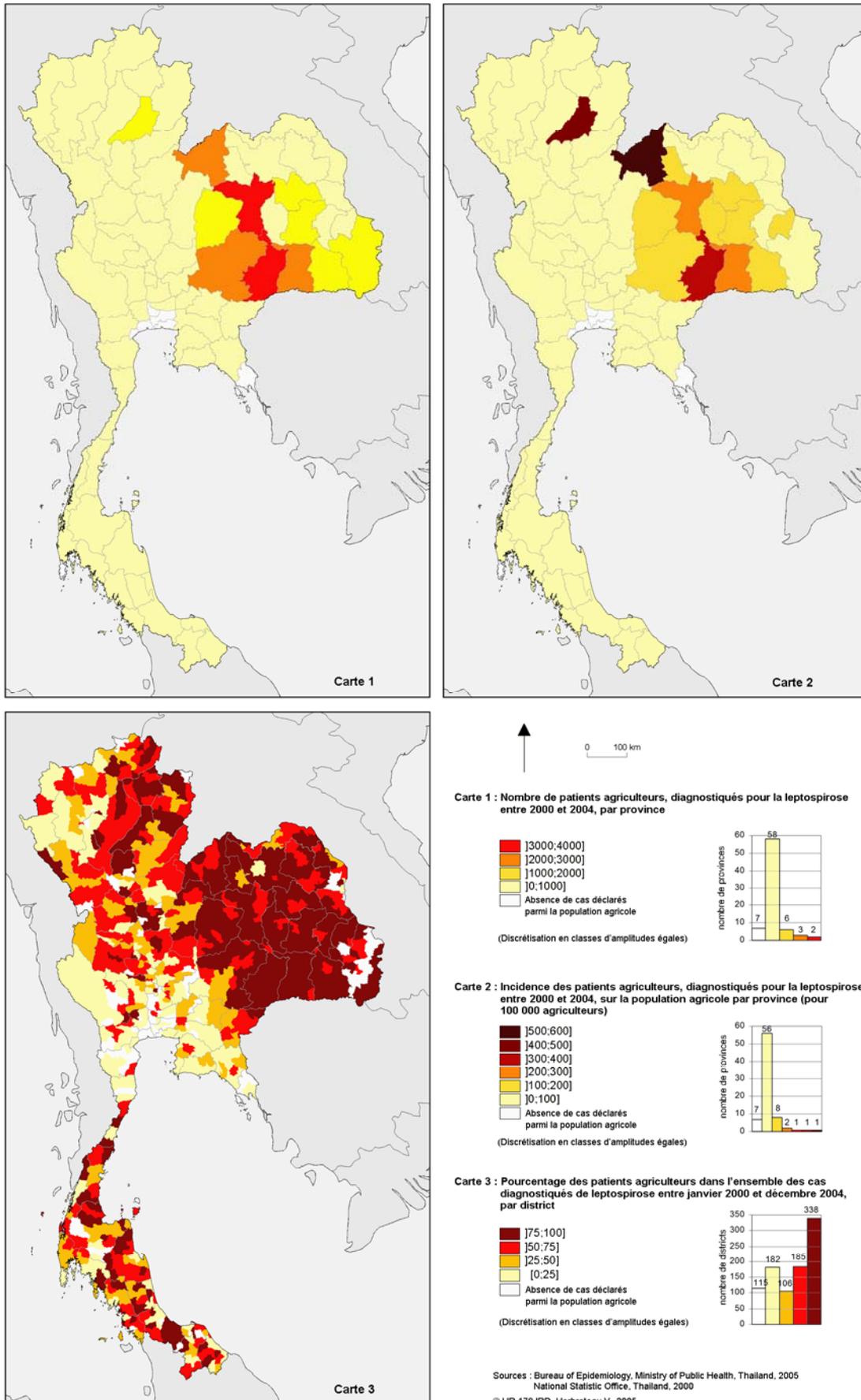
Les informations fournies par le Ministère de la santé sur les cas de leptospirose diagnostiqués de 2000 à 2004 renseignent sur l'activité professionnelle. Ainsi, nous avons pu calculer que 75% des patients sont des agriculteurs (voir tableau chapitre 11312), ce qui fait de la leptospirose une maladie essentiellement professionnelle en Thaïlande. La cartographie de ces patients agriculteurs, en utilisant une discrétisation en intervalles d'amplitude égale de 1000 cas, ne permet pas de différencier la majorité des provinces qui ont eu moins de 1000 cas mais permet en revanche de situer les onze provinces où les épidémies furent les plus importantes (carte 34 – carte 1). Sept provinces (Bangkok et ses quatre provinces limitrophes, Phuket et Trat à la pointe sud-est) n'ont pas eu d'agriculteurs malades de la leptospirose. La partie sud de la région nord-est a enregistré le plus grand nombre de cas, avec un maximum de 4049 agriculteurs infectés dans la province de Buriram. La province de Khon Khaen suit avec 3142 agriculteurs. Nous avons calculé l'incidence de ces cas sur la population agricole (pour 100 000 agriculteurs) selon la formule :

$$\left(\text{Incidence Cas agri/Pop agri} \right)_{\text{province}} = \frac{\text{Cas agriculteurs}}{\text{Population agricole}} \times 100\,000$$

La cartographie de ces incidences par province révèle une distribution légèrement différente de celle de la morbidité (carte 34 – carte 2) : les provinces de Phrae et Loei, plus au nord, ont les incidences les plus élevées (respectivement 284 / 100 000 et 386 / 100 000). Les incidences des cas de leptospirose pour la population agricole y sont plus faibles que pour l'ensemble de la population, la province de Phrae ayant une incidence totale de 330 / 100 000 et la province de Loei de 496 / 100 000. Ainsi, une part importante des cas de ces deux provinces n'est pas impliquée dans le domaine agricole.

L'analyse du cumul des cas de janvier 2000 à décembre 2004 révèle de grandes variations du pourcentage de patients agriculteurs parmi l'ensemble des patients par district. Ce pourcentage est en moyenne de 56,2% mais s'étale de 0 à 100 avec les minima et maxima atteints dans les districts où il y a peu de cas. L'écart-type important (34,5%) confirme la grande dispersion des valeurs. En effet, les moyennes nationales masquent les disparités régionales et locales.

Carte 34 : Comparaison des cas et des incidences de leptospirose parmi la population agricole, entre janvier 2000 et décembre 2004, en Thaïlande



La cartographie par district du pourcentage des patients agriculteurs dans l'ensemble des cas diagnostiqués entre janvier 2000 et décembre 2004 (carte 34 – carte 3) montre des taux très importants (plus de 75%) dans la plupart des districts du Nord-Est. Ces pourcentages restent élevés (plus de 50%) dans les régions agricoles que sont la partie centrale de la région nord et en continuité la partie nord de la plaine centrale, ainsi que dans beaucoup de districts du Sud. A l'échelle des provinces, la proportion des agriculteurs dans l'ensemble des cas est plus faible dans les chefs-lieux, ce qui est nettement visible sur la carte pour les provinces de Sisaket (au sud-est de la région nord-est) ou de Loei.

La cartographie du pourcentage des patients femmes agricultrices dans l'ensemble des cas féminins diagnostiqués entre janvier 2000 et décembre 2004 par district donne une distribution spatiale semblable (Atlas - carte 3.2.1.). Les proportions sont très élevées dans le Nord-Est et les autres régions agricoles. Ces pourcentages sont aussi plus importants pour les districts ayant enregistré un plus grand nombre de cas. La moyenne est de 69,5% avec un écart-type très grand (37,9%), en raison des districts ayant à la fois très peu de cas et aucune femme agricultrice parmi les patientes (0%). Cette distribution confirme à la fois la vulnérabilité des agriculteurs face aux autres activités et l'exposition plus marquée dans le Nord-Est, majoritairement agricole.

Ainsi, la part de la population agricole dans la population des districts pourrait être un second facteur de confusion des incidences brutes de leptospirose : si la proportion d'agriculteurs dans une unité donnée est plus importante que la moyenne, cette unité devrait avoir une incidence plus élevée de leptospirose. Afin de tester cette hypothèse, nous avons utilisé le recensement de la population de 2000 qui indique la part de la population de plus de 15 ans dans le secteur agricole, par province. Ces données ne sont pas disponibles à l'échelle des districts, contrairement aux données d'âge utilisées précédemment. En faisant la somme de la population agricole pour toutes les provinces, nous avons calculé la proportion des personnes vivant de l'agriculture dans la population totale, soit 55%. Nous avons considéré ce chiffre comme pourcentage de référence. Ainsi, plus de la moitié de la population thaïlandaise, âgée de plus de 15 ans, est impliquée dans le secteur agricole. Les disparités régionales sont très marquées avec la concentration des activités des secteurs secondaire et tertiaire autour de Bangkok. La moyenne par province est de 57,7% mais les valeurs par province sont très étalées, de 1,5% pour Bangkok à 87,1% à Sisaket, dans le Nord-Est, avec un écart-type de 21,3%.

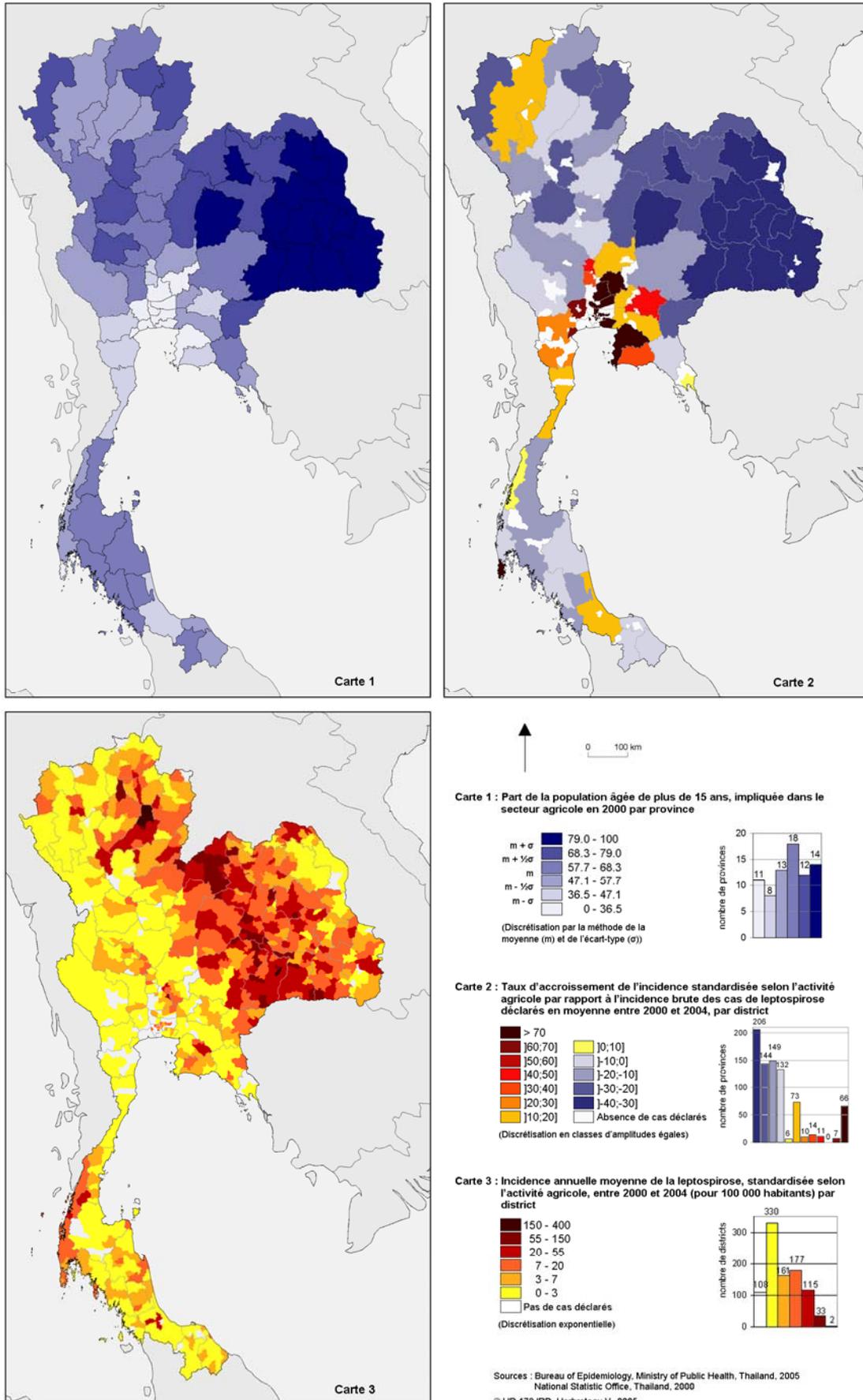
Pour cartographier cet indicateur, nous avons utilisé une discrétisation par la méthode de la moyenne et de l'écart-type, avec des classes d'amplitude un demi écart-type autour de la moyenne (carte 35 – carte 1). Toutes les provinces des parties sud et est de la région Issan sont dans la classe la plus élevée, au-delà d'un écart-type ajouté à la moyenne. Dans ces provinces, plus de 80% de la population ayant plus de 15 ans est impliquée dans une activité agricole. Les autres provinces de la région Issan, mise à part la province de Nakhon Ratchasima, la capitale régionale, sont toutes dans la deuxième classe, entre un demi et un écart-type de la moyenne, avec plus de 70% de leur population de plus de 15 ans impliquée dans le secteur agricole. Cette catégorie regroupe aussi quelques provinces de la région nord ou du nord de la région centrale. La région nord-est se dégage ainsi très nettement du reste du pays par l'implication de sa population dans l'agriculture. La région nord reste très rurale malgré quelques provinces moins agricoles autour de la capitale régionale, Chiang Mai. Les provinces autour de Bangkok ainsi que le long de la côte est, où sont situées d'importantes zones industrielles, ont une part faible de leur population dans le secteur agricole. Cependant, l'agriculture peut y être très productive, avec des élevages intensifs de porcins et de volailles ou une aquaculture intensive. Le sud du pays est globalement agricole, en restant dans la moyenne du pays. On observe un très net gradient de ruralité d'ouest en est et du centre vers le nord, qui rappelle les incidences de la leptospirose.

Pour standardiser les incidences de leptospirose selon l'activité agricole, nous avons adopté la méthode utilisée pour la standardisation selon l'âge :

1- Cas standardisés par classe et district :

$$((\text{Cas standardisés})_{\text{classe}})_{\text{district}} = (\text{Cas})_{\text{classe}} \times \frac{0,55}{\text{Part de la population agricole}}$$

Carte 35 : Standardisation de l'incidence de la leptospirose selon l'activité agricole, entre 2000 et 2004, en Thaïlande



2- Calcul de la prévalence théorique par district :

$$\text{Incidence standardisée} = \frac{\sum_{\text{toutes classes}} \text{Cas standardisés}}{\text{Effectif du district}}$$

Afin de comparer l'effet de la standardisation selon l'activité agricole à la standardisation selon l'âge, nous avons tout d'abord ajusté les incidences des deux années 2003 et 2004. Cette standardisation réduit considérablement les incidences. En 2003, la réduction de l'incidence brute est de 23,5% pour la moyenne nationale (de 13,6 cas à 10,4 cas pour 100 000 habitants). En 2004 où il y a eu moins de cas de leptospirose, la baisse est de 19,8% (de 9,1 cas à 7,3 cas pour 100 000 habitants). A l'échelle des districts, l'incidence standardisée est nettement inférieure à l'incidence brute avec une réduction de 22,0% en 2003 et de 19,3% en 2004 (tableau 68).

Tableau 68 : Statistiques descriptives des incidences brute et standardisée selon la population agricole, par district, pour 100 000 habitants, en 2003 et en 2004

	2003		2004	
	Incidence brute	Incidence standardisée	Incidence brute	Incidence standardisée
Moyenne	9,1	7,1	5,7	4,6
Ecart-type	22,1	16,6	13,2	10,2
Maximum	292,3	230,7	166,3	109,3

La dispersion des valeurs entre districts est réduite. L'ajustement diminue les écarts-types et les maxima. La médiane reste en revanche sensiblement la même, ce qui confirme un regroupement des valeurs suite à la standardisation. Les valeurs extrêmes se rapprochent de la moyenne : en effet, les districts ayant des incidences brutes très fortes ont aussi une population agricole plus importante que la moyenne nationale, alors que les districts ayant une incidence brute très faible ont une population agricole restreinte.

Un test de χ^2 de conformité entre l'incidence brute et l'incidence standardisée pour les districts ayant eu au moins un cas montre qu'il y a une différence significative ($p < 5\%$) entre les deux distributions. Le χ^2 observé est très grand devant le $\chi^2_{5\%}$ en 2003 et en 2004. La standardisation selon l'activité agricole a donc un réel effet d'ajustement des incidences brutes. L'activité professionnelle est bien un facteur de confusion des incidences de leptospirose.

Les données disponibles permettent de réaliser cet ajustement sur les incidences brutes de 2000 à 2004, (ce qui n'est pas possible pour la standardisation selon l'âge). Nous pouvons mesurer et cartographier la différence entre l'incidence brute et l'incidence standardisée selon l'activité agricole en calculant un taux d'accroissement (carte 35 – carte 2). En moyenne, l'incidence brute est réduite de 21,2% après standardisation selon l'âge. Toutes les provinces de la région nord-est (exceptée Nakhon Ratchasima), où les incidences brutes de leptospirose sont très élevées, enregistrent une réduction de l'incidence de plus de 30% après standardisation selon l'activité agricole. Globalement, toutes les régions agricoles ont une diminution de l'incidence par standardisation. Les provinces situées en périphérie de Bangkok, ainsi que les provinces faisant la jonction avec la partie péninsulaire du pays, ont une incidence plus forte après standardisation, en raison d'un petit nombre de cas comparé aux autres provinces.

La standardisation selon l'activité agricole a donc un effet de nivellement des incidences, en réduisant les écarts entre les districts (carte 35 – carte 3). Cela permet de relativiser l'importance de l'épidémie de leptospirose dans le Nord-Est, où la population est majoritairement impliquée dans l'agriculture. Malgré tout, les plus fortes incidences s'observent toujours de part et d'autre de cet axe Phrae-Buriram, à travers la région nord-est.

Nous allons maintenant comparer les données de morbidité de la leptospirose à celles d'autres pathologies pour mesurer le biais causé par le système de soins dans la collecte des informations et affiner la représentativité des données étudiées.

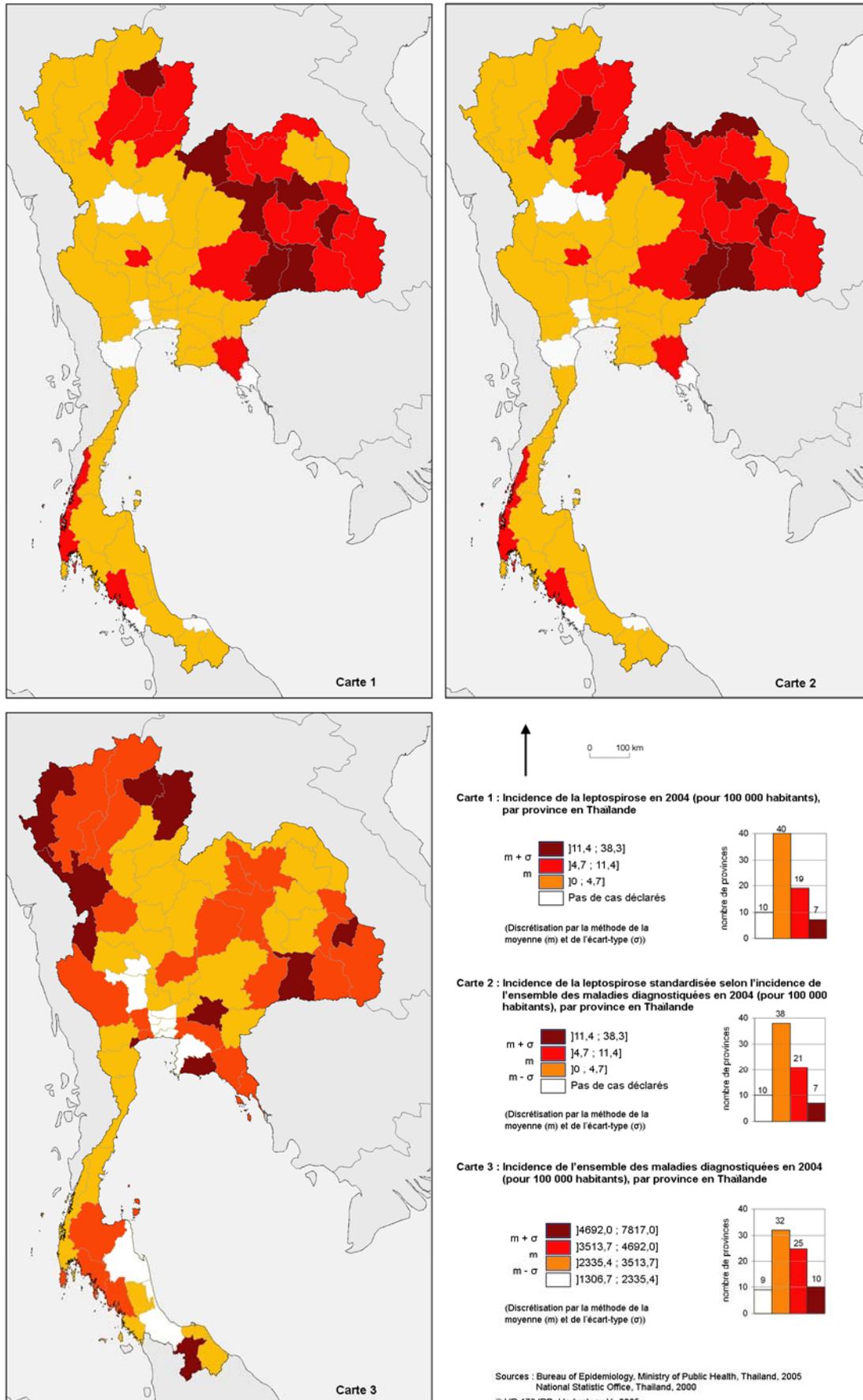
3.2.2. La géographie de la leptospirose est indépendante de celle de l'ensemble des pathologies diagnostiquées.

L'épidémiologie de la leptospirose, telle que nous l'analysons à travers les données du Ministère de la santé, ne nous révèle que la réalité clinique de cette épidémie. Très peu de cas sont connus avant 1996, soit parce que peu de personnes sont tombées malades soit parce que le système de soins n'a pas été à même d'identifier les cas. La majorité des médecins ne connaissaient pas les symptômes et n'ont été formés au diagnostic de la leptospirose qu'après le début de l'épidémie. La sensibilisation dans les villages a aussi nécessité quelques années et sans doute permis d'augmenter le recours aux soins en cas d'apparition des symptômes de la leptospirose. Ainsi, nous devons deviner la réalité d'une épidémie à travers des données qui peuvent en masquer bien des aspects. Pour juger de la qualité de ces données, nous pouvons les comparer avec les incidences des autres pathologies enregistrées par le Ministère de la santé. Nous n'avons pu obtenir le détail de l'ensemble des consultations dans l'ensemble des services de soins que pour l'année 2004, par province. Cela représente un total de 2 043 629 consultations, classées en 38 pathologies, essentiellement infectieuses. Ces chiffres montrent tout d'abord un recours aux soins limité avec en moyenne une consultation pour 31 personnes par an. Les cas bénins, tels les maux de tête, les consultations régulières (renouvellement de médicaments, soins réguliers, etc.) ainsi que le recours aux pharmacies et aux petites cliniques privées ne sont pas enregistrés par le système de soins.

Nous avons intégré ces données dans le SIG « rongeurs et santé » pour les analyser spatialement. Les valeurs par district sont très dispersées. La moyenne de l'incidence du total des consultations est de 3 514 cas pour 100 000 personnes et l'écart-type est de 1 178. La qualité des enregistrements pourrait varier considérablement d'un district à un autre. La carte de l'incidence de l'ensemble des cas diagnostiqués en 2004 (carte 36 – carte 3) montre, par une discrétisation selon la moyenne et l'écart-type, les plus faibles incidences dans quelques provinces parmi les plus urbanisées : Bangkok et les provinces comprises dans la grande agglomération (Nonthaburi, Pathumthani et Samut Prakan) ainsi que Chonburi plus à l'est. Deux provinces de la région centre, Chainat et Suphanburi, ainsi que les deux provinces les plus peuplées du sud se démarquent également par de faibles incidences. La plupart de ces provinces sont très urbanisées. Les faibles incidences pourraient s'y expliquer par une composition différente des structures de proximité en milieu rural et en milieu urbain. Les dispensaires sont en effet les structures de proximité des campagnes mais sont en petit nombre dans les villes, où les cliniques et les pharmacies les remplacent sans reporter les consultations au Ministère de la santé. Les fortes incidences sembleraient s'observer dans les provinces moins peuplées, en particulier le long des frontières birmane et laotienne, dans la région nord. La présence de structures de soins supplémentaires pour la surveillance de la malaria, dans les montagnes frontalières à l'Ouest, pourrait y expliquer un recours aux soins plus important. Par ailleurs, quelques autres provinces enregistrent de fortes incidences, sans regroupement spatial. Les incidences peuvent être très différentes entre deux provinces voisines : ainsi, Chonburi et Rayong, deux provinces touristiques et industrielles de la région Est, s'illustrent par des incidences respectivement faibles et élevées avec un rapport 3,5 (23 090 cas pour 1 150 048 habitants à Chonburi contre 38 466 cas pour 550 310 habitants à Rayong). De même, les provinces de la région sud alternent entre des incidences faibles, moyennes ou fortes, sans logique spatiale apparente.

Idéalement, il faudrait pouvoir comparer la leptospirose à des pathologies non infectieuses, pour s'affranchir de facteurs communs qui pourraient accroître ou décroître l'incidence dans le temps et l'espace. Malheureusement, les données ne le permettent pas. Nous avons alors choisi de comparer les incidences de la leptospirose à l'incidence de l'ensemble des pathologies diagnostiquées (carte 36 – carte 3). A l'échelle des provinces, il n'y a pas de corrélation significative (0,16) entre l'incidence de la leptospirose et celle de l'ensemble des maladies diagnostiquées. L'incidence moyenne de la leptospirose est de 4,7 cas pour 100 000 habitants en 2004. Le maximum est enregistré à Kalasin avec 38,4 cas. Le Nord-Est du pays et l'est de la région nord se distinguent nettement comme les régions épidémiques, avec des incidences au-dessus de la moyenne nationale.

Carte 36 : Incidence de la leptospirose et standardisation selon l'incidence de l'ensemble des maladies diagnostiquées en 2004 (pour 100 000 habitants), par province en Thaïlande



Seules dix provinces n'ont pas enregistré de cas. Nous pouvons à nouveau observer en 2004 l'axe des plus fortes incidences entre Phayao et Surin, que nous avons décrit dans l'épidémiologie générale de la leptospirose.

Nous pouvons essayer de standardiser l'incidence de la leptospirose en utilisant l'ensemble des enregistrements, toutes maladies confondues, et en considérant comme postulat que chaque province devrait avoir la même incidence pour le total des maladies, soit l'incidence moyenne du pays (3 514 pour 100 000 habitants). Ainsi, nous partons du principe théorique que le fait de tomber malade ne dépend pas du lieu géographique. Nous calculons cette incidence de la leptospirose standardisée selon l'incidence totale moyenne par la formule :

$$\left(\text{Incidence lepto standardisée} \right)_{\text{province}} = \frac{\text{Incidence lepto} \times 3\,514}{\text{Incidence toutes maladies}}$$

La cartographie du taux d'accroissement entre l'incidence standardisée et l'incidence brute de la leptospirose donne des valeurs spatialement très hétérogènes (Atlas - carte 3.2.2.). La standardisation réduit l'incidence brute dans les provinces où l'incidence de l'ensemble des maladies diagnostiquées est forte, soit dans la partie nord et ouest de la région nord et dans la partie sud de la région nord-est. Cette diminution peut être très importante, en étant souvent supérieure à 30%. Cependant, la carte de l'incidence de la leptospirose standardisée selon l'incidence totale moyenne (carte 36 – carte 2) présente peu de différences avec la carte de l'incidence brute de la leptospirose (carte 36 – cartes 1). La discrétisation selon la moyenne et l'écart-type donne des effectifs semblables dans chaque classe. Bien que la standardisation change les incidences de manière non négligeable, les espaces à fortes incidences restent les mêmes, ce qui confirme la localisation des épidémies de leptospirose.

Parmi toutes les pathologies diagnostiquées et enregistrées par le système de soins en 2004, seules deux présentent une corrélation spatiale, statistiquement significative, avec l'incidence de la leptospirose : les intoxications alimentaires (0,47 avec $p < 5\%$) et les pyrexies d'origine inconnue (0,31 avec $p < 5\%$). En effet, la cartographie de l'incidence des intoxications alimentaires donne une distribution spatiale des classes comparable à celle de la leptospirose (carte 37 – carte 2). Les provinces à forte incidence sont également situées dans la région nord-est et la partie est de la région nord alors que le reste du pays se démarque par des incidences en dessous de la moyenne. En revanche les taux sont largement supérieurs à ceux observés pour la leptospirose, avec en moyenne un cas de leptospirose pour 50 cas d'intoxications alimentaires (tableau 69).

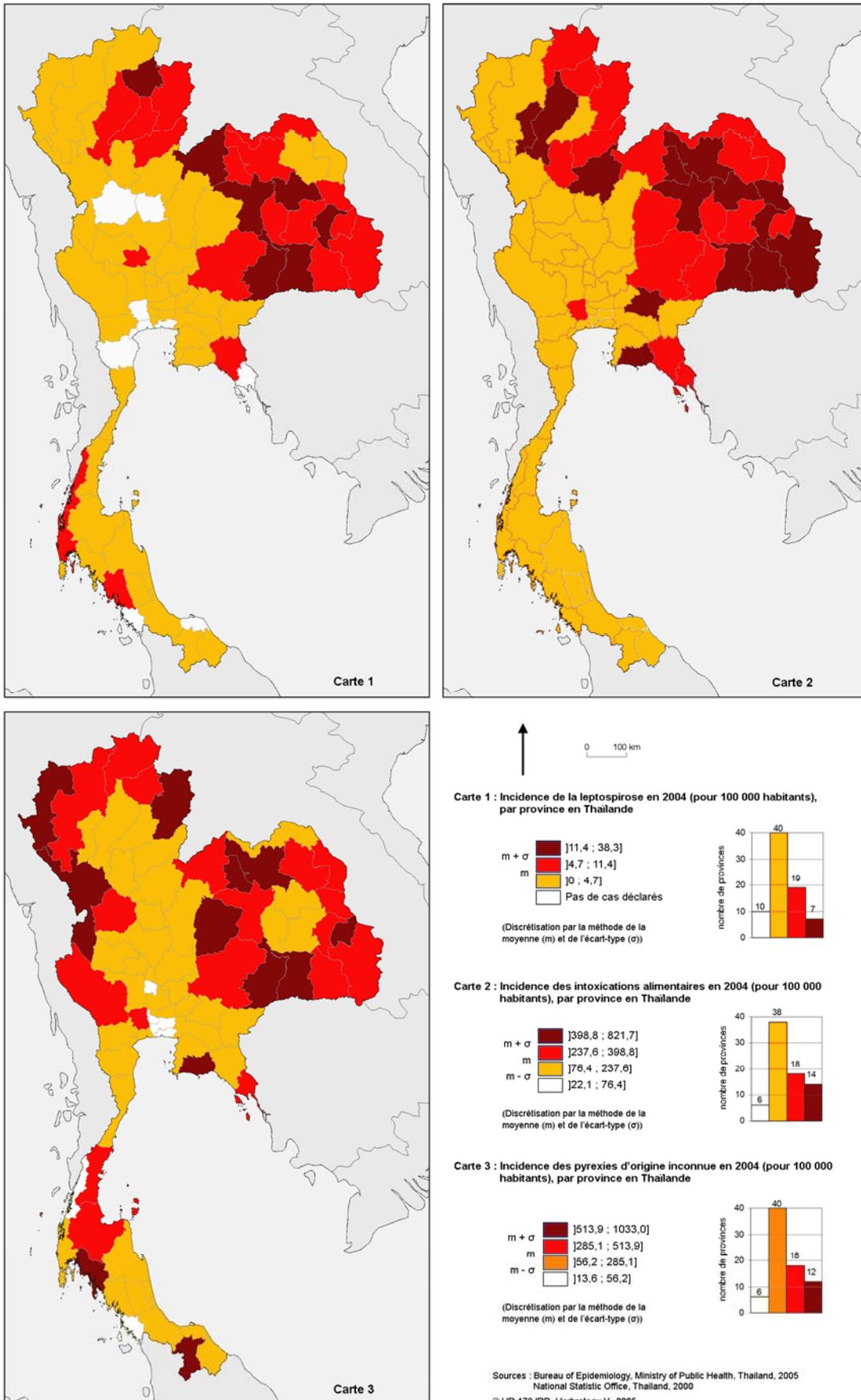
Tableau 69 : Statistiques descriptives des incidences moyennes par district en 2004 de l'ensemble des pathologies enregistrées, des intoxications alimentaires, de la leptospirose, du typhus des broussailles et des pyrexies d'origine inconnue

	Toutes pathologies	Intoxications alimentaires	Leptospirose	Typhus des broussailles	Pyrexies d'origine inconnue
Moyenne	3513,7	237,6	4,7	5,9	285,1
Ecart-type	1178,3	161,2	6,7	8,2	228,9
Minimum	1306,7	22,1	0,0	0,0	13,6
Maximum	7817,0	821,7	38,3	45,9	1033,0

Source :MOPH. © Herbreteau V., 2006

Les valeurs observées pour les intoxications alimentaires par province sont très dispersées, s'étalant de 22 à 822 cas pour 100 000 habitants (soit un rapport 37 entre le maximum et le minimum contrairement à l'ensemble des pathologies dont ce même rapport ne vaut que 7). La corrélation spatiale observée avec la leptospirose confirme un risque alimentaire accru par une alimentation variée, dans les provinces de la région nord-est et de la partie est de la région nord où les incidences sont élevées. Dans ces campagnes, tout y est mangeable, des insectes, rongeurs aux carnivores et le risque de contamination alimentaire y est plus important. Le danger sanitaire ne vient pas de la consommation de ces viandes, si elles sont bien cuites, mais de leur préparation. Ces observations appuient l'hypothèse de l'importance de la transmission des leptospires par les activités préparatoires à la consommation de rats dans l'explication de l'épidémiologie de la leptospirose.

Carte 37 : Comparaison des incidences de la leptospirose, des intoxications alimentaires et des pyrexies d'origine inconnue en 2004 (pour 100 000 habitants), par province en Thaïlande



La corrélation spatiale observée entre la leptospirose et les pyrexies d'origine inconnue est moins claire (carte 37 – carte 3). La région nord-est se distingue à nouveau avec de fortes incidences, ce qui est très net sur le même axe Loei-Surin qui contribue essentiellement à l'existence de cette corrélation. La catégorie des pyrexies d'origine inconnue regroupe des fièvres dont le diagnostic reste indéterminé. Beaucoup de maladies peuvent en faire partie : éventuellement la leptospirose, la dengue, la malaria et plus certainement les rickettsioses dont le typhus des broussailles et le typhus murin.

En effet, la distribution des incidences par province rappelle l'épidémiologie du typhus des broussailles et des quelques cas de rickettsioses qui ont pu être diagnostiqués, le long de la frontière birmane, à l'ouest et au nord. Les rickettsioses causent plusieurs maladies dont les symptômes et le diagnostic restent mal connus en Thaïlande. L'identification des pathogènes n'a lieu que pour les cas graves. Cette catégorie des pyrexies d'origine inconnue pourrait regrouper l'essentiel des cas bénins. La corrélation entre l'incidence du typhus des broussailles et des pyrexies d'origine inconnue est aussi statistiquement significative (0,47 avec $p < 5\%$) alors qu'elle ne l'est pas entre le typhus des broussailles et la leptospirose (0,18 avec $p < 5\%$). Ces corrélations entre les pyrexies d'origine inconnue et, individuellement, la leptospirose ou le typhus des broussailles, permettent d'identifier les populations qui seraient les plus exposées aux maladies transmissibles, véhiculées par les rongeurs ou les acariens pour les rickettsioses. Ces espaces sont principalement les zones de moyenne montagne, le long de la frontière birmane et entre les provinces de Loei et de Nakhon Ratchasima (soit une partie de l'axe Loei-Surin).

Pour conclure, ces comparaisons confirment que la distribution spatiale des cas et des taux de leptospirose est effectivement régionalisée dans le Nord-Est et l'est de la région nord. Cette géographie des épidémies renforcée par des valeurs très élevées n'est pas biaisée par l'inhérente variabilité de la qualité de l'enregistrement et du report des cas. La distribution de la leptospirose n'est corrélée qu'à deux autres pathologies ce qui permet d'appréhender des facteurs d'exposition communs. La chasse et la préparation des rongeurs pour leur consommation seraient les principales situations à risque pour la transmission des leptospires à l'Homme, en Thaïlande.

3.3. Estimation du risque de transmission de zoonoses par les rongeurs

3.3.1. Facteurs d'exposition et de vulnérabilité des populations face aux zoonoses transmises par les rongeurs

La transmission d'agents pathogènes des rongeurs vers l'Homme nécessite que leurs chemins se croisent sans toutefois qu'il y ait contact. Dans le cas de la leptospirose et des hantaviroses, bactéries et virus sont déposés par les rongeurs sur leur passage et peuvent ensuite être légèrement dispersés, respectivement par l'eau ou par l'air. Dans le cas du typhus des broussailles, la transmission se fait par l'intermédiaire des larves « chiggers », elles aussi dispersées par les rongeurs sur leur parcours. Les personnes exposées sont donc celles qui sont amenées à passer sur les chemins empruntés par les rongeurs. En milieu urbain, le rat des villes, *Rattus norvegicus*, ne rentre pas dans les habitations et ne s'attarde pas sur le lieu de vie de l'Homme. Il emprunte les égouts et longe les trottoirs faisant des éboueurs les principales cibles des zoonoses qu'ils peuvent véhiculer. Pour *Rattus norvegicus*, de même que pour les espèces domestiques *Rattus tanezumi* et *Rattus exulans* dans les campagnes, c'est le rongeur qui va vers l'Homme. Au contraire, pour les espèces sauvages présentes dans la diversité des environnements, c'est l'Homme qui sort de son habitation pour pénétrer les niches des rongeurs.

3.3.1.1. Les agriculteurs sont les personnes les plus exposées aux agents pathogènes présents dans le sol ou dans l'eau

Les personnes les plus exposées sont celles qui croisent le plus souvent les traces des rongeurs. Ainsi, les agriculteurs, en contact quotidien avec le sol, l'eau et les animaux qu'ils élèvent, sont les premiers infectés par la leptospirose et par toute zoonose dont l'agent pathogène a une phase libre dans l'eau ou sur le sol, comme la mélioïdose. Les transmissions s'effectueraient essentiellement près du lieu de résidence où dans les champs cultivés. Les espèces incriminées sont les plus fréquentes sur les terres agricoles : essentiellement *Bandicota indica* mais aussi *Bandicota savilei*, *Rattus losea*, *Rattus tanezumi*, *Rattus argentiventer*, *Mus caroli*, *Mus cervicolor* et *Mus cookii*. Les cas de transmission seraient des événements rares dans les milieux forestiers, où les rongeurs sylvestres peuvent être porteurs d'agents pathogènes, car l'Homme s'y aventure peu.

L'exposition varie selon le temps passé sur les terres agricoles :

L'agriculture thaïlandaise se développe lentement et, aujourd'hui encore, le travail se fait essentiellement à la main. L'équipement se limite le plus souvent à un motoculteur (communément appelé « Kwai Lek », le buffle de fer) dont le moteur peut être retiré pour servir à activer une pompe d'irrigation ou une batteuse. Le battage du riz se fait généralement par location d'une batteuse fixe, déplacée de village en village au moment des récoltes. La mécanisation de l'agriculture s'est faite lentement car elle n'a pas été nécessaire, la main d'œuvre étant importante et bon marché. Durant les périodes de récolte, les villageois se joignent traditionnellement aux travaux des champs. Ainsi, en accroissant les surfaces cultivées, la Thaïlande a tout de même réussi à augmenter sa production agricole et exporter ses récoltes, essentiellement du riz, vers les pays voisins dès le milieu du XX^{ème} siècle. Jusqu'à la fin des années 90, l'investissement dans le domaine agricole est resté limité et la productivité médiocre.

Les agriculteurs peuvent être infectés par des agents pathogènes du sol ou de l'eau sur les terres qu'ils cultivent ou bien sur les autres terres traversées en allant travailler. La multiplication et la longueur des trajets à travers champs augmentent les chances de rencontre avec des agents infectieux, qui ne sont pas répartis uniformément. En général, les agriculteurs vivent à proximité de leurs champs et parcourent de faibles distances pour se rendre sur leurs terres ; ils sont quotidiennement exposés. Sur la zone enquêtée à Phrae, la distance séparant le lieu de résidence du lieu de travail est généralement inférieure à 500 mètres : seuls 12,5% de la population se déplacent

sur plus de 500 mètres, ce qui correspond, pour la plupart, à ceux qui vont travailler dans la ville de Phrae. Lors de l'enquête, nous avons classé ces déplacements en quatre groupes : ceux qui ne travaillent pas et restent chez eux, ceux qui parcourent une petite distance (inférieure à 100 mètres), ceux qui parcourent une distance moyenne (100 à 500 mètres) et ceux qui parcourent une distance importante (plus de 500 mètres). La distribution des réponses par classe de distance diffère significativement entre les populations de la zone irriguée et celles du bassin versant montagneux (mais pas entre celles de la zone irriguée et celles de la zone de contrôle) si l'on réalise un test de χ^2 ($\rho < 5\%$). Dans la plaine irriguée, 36,6% de la population ne se déplace pas pour le travail : ce sont des personnes âgées ou des personnes qui travaillent sur place (cas des commerçants), dans les villages. Ce tiers de la population n'est pas exposé aux rongeurs des champs. Sur le bassin versant, où la population est essentiellement agricole, seuls 15% ne se déplacent pas ce qui est très faible. En effet, tous les espaces ne sont pas exploitables et les terres cultivées sont en moyenne plus éloignées. Les deux tiers de la population du bassin parcourent entre 100 et 500 mètres pour se rendre sur le lieu de travail. Dans la plaine, la répartition par classe est plus homogène avec près d'un tiers des personnes qui résident à moins de 100 mètres et un tiers qui sont à plus de 100 mètres. Il n'y a pas de différence significative dans le moyen de transport utilisé pour se rendre sur le lieu de travail, entre les trois zones (test de χ^2 avec $\rho < 5\%$). Parmi les personnes qui vont travailler quotidiennement, très peu utilisent une voiture (seulement 2% des personnes de la zone irriguée et aucune sur le bassin versant). Une majorité se déplace à pied (82% sur le bassin versant et 70% en aval) et un minorité, sans doute plus éloignée des terres cultivées, utilise une moto (18% sur le bassin versant et 28% sur la zone irriguée). Cependant, seules les régions les plus isolées ont encore des routes de terre alors que l'essentiel des voies ont été goudronnées sur l'ensemble du pays. L'infection au cours d'un trajet pour se rendre sur le lieu de travail serait donc un événement rare. Les personnes ayant un long trajet motorisé sont aussi celles qui vivent dans les villages et seraient les plus protégées. Au contraire, les personnes qui habitent au milieu des champs et parcourent ainsi les plus faibles distances seraient les plus exposées, en vivant au quotidien sur les lieux de transmission. Sur les espaces accidentés du bassin versant, les paysans se déplaçant à pied sur de longs trajets pour rejoindre leurs terres sont eux aussi plus exposés.

La population agricole est aujourd'hui vieillissante. En effet, la structure des populations rurales a changé, suite à un exode important vers les villes où est centralisé l'essentiel des ressources économiques du pays. Durant les années 80, six à sept millions de jeunes ont migré vers les centres urbains, isolant dans certaines campagnes enfants et personnes âgées (Phongpaichit et Baker, 1998). Les migrations annuelles moyennes sont passées de 420 000 (dont les 80% sont saisonnières) entre 1976 et 1980 à 992 000 (dont 30% saisonnières) entre 1991 et 1996 (Banque mondiale, 2000). Ceci a entraîné des changements sociaux majeurs pour le pays.



Photo : Herbreteau V.

La majorité des agriculteurs utilisent des motoculteurs pour le travail des rizières, sèches ou en eau. Lorsque les rizières sont inondées, ils sont fortement exposés à tout agent pathogène qui serait présent dans l'eau.

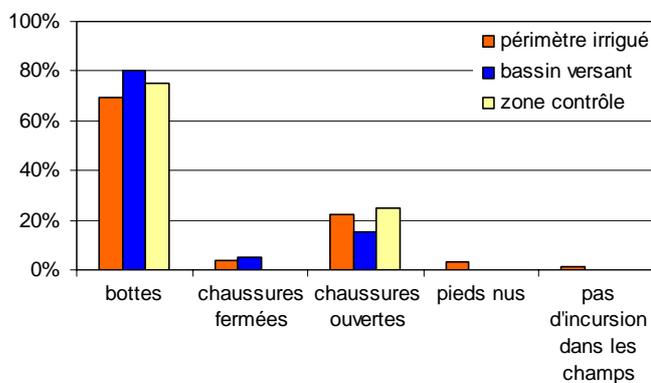
Photo 38 : Labour et exposition à l'eau, dans une rizière de la province de Phrae

La retraite des plus âgés conduit cependant les actifs à exploiter des surfaces plus importantes. Une main d'œuvre agricole vieillissante impliquerait à long terme l'augmentation de l'âge moyen des patients de la leptospirose si les épidémies se maintenaient.

L'exposition varie selon le niveau de protection :

La meilleure protection, contre l'infection par des agents pathogènes présents dans l'eau, est le port de bottes. Les paysans les ont adoptées en majorité, malgré l'inconfort que cela procure, sous ce climat chaud et humide. De plus, lorsque les parcelles sont inondées, il est difficile de marcher avec des bottes dans la boue.

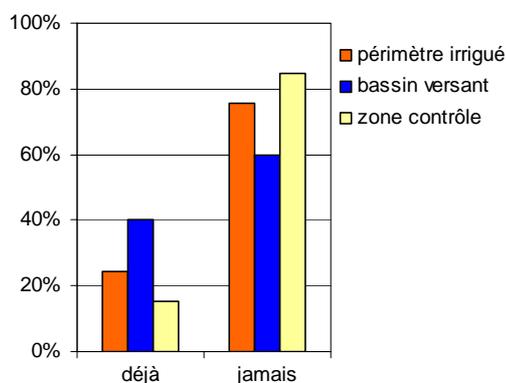
Néanmoins, nous avons souvent vu des paysans ayant des bottes percées ou bien travaillant les bottes remplies d'eau qui passe par-dessus (photo 38). Les bottes joueraient cependant un rôle protecteur pour éviter d'éventuelles écorchures mais ne sont plus une barrière aux pathogènes de l'eau.



Sources : Enquête santé Phrae, IRD-Mahidol University
© Herbreteau V., Tantrakarnapa K., 2006

Graphique 43 : Type de chaussures portées par les villageois lorsqu'ils traversent des terres humides

L'enquête de Phrae a montré que 71% des personnes interrogées prétendent mettre des bottes lorsqu'elles vont dans des champs humides ou inondés (graphique 43). 22% gardent leurs tongs ou autres chaussures ouvertes, qui représentent le type des chaussures portées habituellement à la campagne. Très peu de personnes portent des chaussures fermées (3%) ou y vont pieds nus (2%). Enfin, une minorité de personnes, toutes résidentes dans le périmètre irrigué, ne marche jamais sur des terres humides (1%). Un test de χ^2 montre qu'il n'y a pas de différence de distribution ($p < 5\%$) entre les trois zones, irriguée, contrôlée et bassin versant, prises deux à deux.



Sources : Enquête santé Phrae, IRD-Mahidol University
© Herbreteau V., Tantrakarnapa K., 2006

Graphique 44 : Occurrence d'un passage sur des terres humides, avec les pieds écorchés

A la question « avez-vous déjà été amenés à traverser des terres humides ou inondées en ayant les pieds écorchés ? », 24% des personnes ont répondu positivement. Ce pourcentage est plus important sur le bassin versant où 40% ont le souvenir d'une telle exposition directe à l'eau (graphique 44). La discussion autour de cette question a permis de constater que les paysans ne peuvent se soigner sur place, en cas de blessure, alors qu'ils sont fortement exposés aux pathogènes de l'eau dans les rizières.

L'exposition varie selon les paramètres physico-chimiques du milieu :

Les caractéristiques des sols et de l'eau sont spatialement très variables et conditionnent ainsi le risque d'infection. Les agents pathogènes présents dans le sol ou dans l'eau peuvent survivre plus ou moins longtemps selon les conditions chimiques et biologiques, la température, la salinité, l'activité biologique et en particulier le pH. Ainsi les leptospires sont très sensibles expérimentalement aux acides (Faine et al. 1999). Leur présence dans l'environnement, ou plutôt leur possibilité de survie dans l'eau ou le sol, est fortement liée à l'acidité. Dans une eau acide (pH<7), la survie des leptospires est de 10 à 117 jours alors que dans une eau basique, la survie croît de 21 à 152 jours (pH>7) (Smith et Self, 1955 ; Smith et Turner, 1961). Cette survie est fonction des sérovars.

En Thaïlande, le MOPH a mesuré le pH durant des épidémies de leptospirose, entre août et septembre 1998 (pendant la saison des pluies) dans la province de Nakhon Ratchasima et a trouvé un pH de 6,25 en zone épidémique contre un pH de 5,85 en zone non-épidémique (Tangkanakul, 2000). La connaissance du pH des sols pourrait donc être un indicateur de la présence des leptospires, renseignant sur des conditions de milieu limitant leur présence (pH bas) ou favorisant leur survie (pH élevés).

Afin de tester cette hypothèse, nous avons intégré la carte pédologique de Thaïlande dans le SIG rongeurs-santé. Cette carte, réalisée par le Department of Land Development à l'échelle 1:25 000, décrit 180 séries de sols en donnant un encadrement des valeurs de pH à une valeur approchée de 0,5 près (Atlas - carte 3.3.1.a.). Pour montrer quels sont les sols à tendance acide ou alcaline, nous avons calculé un indice de pH donnant l'écart des valeurs de pH par rapport au point neutre, pH = 7. L'écart est négatif si les sols sont acides et positif si les sols sont alcalins. Nous avons multiplié les valeurs par 2 pour en étaler la dispersion, en considérant l'approximation des valeurs de pH de 0,5 :

$$\text{Indice de pH} = [(\text{pH max} - 7) + (\text{pH min} - 7)] \times 2$$

La cartographie de cet indice montre la localisation des sols les plus alcalins dans le Nord et plus spécifiquement la frontière nord-ouest avec le Myanmar. Le plateau Issan se distingue nettement par des sols plus acides, avec une faible amplitude de l'indice démontrant une uniformité des sols. Il semble que la répartition suive le relief et le couvert, les sols les plus basiques correspondant aux alignements montagneux et boisés, caractérisés par un profil nord-sud dans la partie nord du pays. Malheureusement, cette carte n'élucide pas les variations spatiales de pH à une échelle suffisamment fine pour estimer leurs conséquences sur la prévalence des leptospires. Nous rencontrons ici les limites de l'utilisation des données brutes à petite échelle. Des analyses de pH en vue d'une modélisation de la prévalence des leptospires nécessiteraient un travail de terrain à grande échelle pour garantir une plus grande précision pour les valeurs extrêmes du pH.

Au-delà des agriculteurs, toutes les personnes en contact accidentel avec l'eau des rizières sont exposées à l'infection par des agents pathogènes de l'eau. Ceci peut concerner un éventail plus large de la population mais cela représente des situations de transmission exceptionnelles. Toutefois, au cours de la saison des pluies, le contact avec l'eau n'est pas limité aux rizières mais peut se produire à proximité des maisons.

3.3.1.2. Le risque est accru au cours de la saison des pluies

En milieu tropical, la morbidité des zoonoses est souvent liée aux saisons, les épidémies apparaissant pendant ou après la saison des pluies. Lors de cette saison des pluies, qui dure entre trois mois au Nord et six mois au Sud, les populations sont en contact régulier avec l'eau, difficilement absorbée par le sol, dans les villages, les rues, les jardins ou les champs. La leptospirose enregistre alors un pic d'incidence, que nous avons estimé en retard d'environ un mois sur les pluies (voir chapitre 1.3.1.4.).

Analyse des corrélations eau/incidence :

Nous avons régulièrement acquis les données du « Thai Meteorological Department », qui enregistre quotidiennement la pluviométrie, les températures, la pression atmosphérique et le vent dans 1250 stations, réparties non uniformément sur l'ensemble du territoire. Ces données sont quasi-exhaustives depuis 1990. 526 stations ont des enregistrements depuis 1981 et 37 depuis 1951.

Afin d'obtenir des données pluviométriques à l'échelle des districts et de pouvoir les comparer avec les incidences mensuelles de la leptospirose de janvier 2000 à mai 2005 à la même échelle, nous avons interpolé les moyennes mensuelles par station sur une grille (résolution de 885 mètres). Nous avons appliqué un calcul de barycentre par rapport aux voisins : pour chaque case de la grille, nous avons attribué la distance aux stations les plus proches comme un poids négativement proportionnel à l'influence des stations. Nous avons croisé ce quadrillage avec les limites des districts pour calculer la moyenne pluviométrique par district. Nous avons alors pu évaluer les éventuelles corrélations spatiales puis temporelles entre la pluie et l'incidence de la leptospirose.

Tout d'abord spatialement, nous avons calculé les corrélations entre l'incidence de leptospirose et la moyenne des précipitations mois par mois entre janvier 2000 et mai 2005, sur l'ensemble des districts. Aucune corrélation n'est remarquable : les coefficients trouvés sont faibles, négatifs ou positifs. Il n'y a pas de corrélation entre les différences spatiales de pluviométrie et d'incidence si l'on compare les districts entre eux. Nous vérifions là que la pluie n'est pas un facteur causal de la leptospirose.

Dans un second temps, nous avons calculé les corrélations district par district, en y comparant les évolutions mensuelles de la pluviométrie et de la leptospirose de janvier 2000 à mai 2005 (926 variables et 65 cas). Sur l'ensemble des districts dont la somme des incidences durant les 65 mois est supérieure à 1 cas pour 100 000 habitants, les coefficients de corrélation varient de -0,39 à 0,78, avec une moyenne de 0,21 (tableau 70). Par ailleurs, une majorité de ces districts a eu des incidences très faibles et n'est donc pas représentative pour l'étude des relations entre les variations de pluie et la leptospirose. Si nous considérons seulement les districts pour lesquels la somme des incidences est plus élevée (> 100, > 200, etc.), la moyenne des coefficients de corrélation augmente et l'écart-type diminue.

Tableau 70 : Statistiques descriptives des coefficients de corrélation entre les moyennes mensuelles des précipitations et les incidences de leptospirose le même mois, pour l'ensemble des districts dont la somme des incidences de leptospirose dépasse un seuil donné

Somme des incidences sur la période	toutes	> 2	> 100	> 200	> 300	> 500
Nombre de districts concernés	812	671	183	88	51	22
Coefficients de corrélation :						
Moyenne	0,20	0,21	0,29	0,30	0,31	0,32
Ecart-type	0,21	0,17	0,12	0,11	0,11	0,09
Minimum	-0,49	-0,39	-0,12	0,02	0,02	0,17
Maximum	0,95	0,78	0,55	0,55	0,55	0,54
% de coefficients significatifs	42,49	43,50	64,48	71,59	76,47	81,82

A partir d'une incidence supérieure à 194 cas pour 100 000 habitants durant la période étudiée, tous les coefficients de corrélation sont positifs. Leur moyenne dépasse 0,30. Le pourcentage de districts ayant un coefficient de corrélation statistiquement significatif ($p < 5\%$) augmente aussi fortement si nous ne considérons que les districts aux incidences les plus élevées. 76% des coefficients de corrélation sont statistiquement significatifs parmi les districts qui ont enregistré des incidences fortes, c'est-à-dire supérieures à 300 cas pour 100 000 habitants durant la période.

En considérant le décalage entre les pluies et leur possible influence retardée sur les infections de leptospirose, nous avons calculé les corrélations avec un décalage d'un mois (tableau 71).

Tableau 71 : Statistiques descriptives des coefficients de corrélation entre les moyennes mensuelles des précipitations et les incidences de leptospirose le mois suivant, pour l'ensemble des districts dont la somme des incidences de leptospirose dépasse un seuil donné

Somme des incidences sur la période	toutes	> 2	> 100	> 200	> 300	> 500
Nombre de districts concernés	812	671	183	88	51	22
Coefficients de corrélation :						
Moyenne	0,24	0,24	0,36	0,36	0,35	0,35
Ecart-type	0,22	0,21	0,13	0,13	0,12	0,11
Minimum	-0,60	-0,60	-0,04	0,06	0,07	0,16
Maximum	0,96	0,95	0,70	0,70	0,62	0,62
% de coefficients significatifs	51,35	52,72	78,14	81,82	84,31	90,91

Le pourcentage de districts ayant un coefficient de corrélation significatif augmente nettement. Il atteint 84% pour les districts ayant un total des incidences supérieur à 300 cas pour 100 000 habitants durant la période. Aucun coefficient n'est négatif à partir d'une incidence totale de 180 cas. La moyenne des coefficients semble se stabiliser au-dessus d'une incidence totale de 100 cas.

Ces résultats montrent une corrélation positive et statistiquement significative entre les précipitations et l'incidence de leptospirose. Les pluies ont un effet amplificateur du taux d'infection. Les corrélations plus fortes obtenues entre les données de pluviométrie et les incidences le mois suivant attestent le retard entre les deux phénomènes.

La cartographie de ces coefficients de corrélation par district montre aussi le lien avec les incidences de leptospirose plus élevées. Les coefficients fortement positifs sont dans les régions épidémiques du nord-est et du nord.

Contrairement aux maladies chroniques, les maladies transmissibles et en particulier les maladies à vecteurs sont liées à l'environnement, qui conditionne directement leur transmission (présence d'eau pour la leptospirose) ou indirectement en influant sur l'écologie des hôtes ou des vecteurs, que sont les moustiques (exemples : la dengue, la malaria), les acariens (exemple : les larves de *Trombiculidae* pour le typhus des broussailles), ou encore les rongeurs.

En ce qui concerne les rongeurs, les températures et les précipitations agissent à plusieurs niveaux :

- en conditionnant la disponibilité en ressources alimentaires, les ressources naturelles avec les cycles de végétation ou les ressources agricoles avec les cycles de culture.
- en régulant les cycles de reproduction. En fonction des températures, de l'humidité du sol pour certains rongeurs, ou de la disponibilité en ressources alimentaires, la reproduction peut être accélérée ou retardée.
- en conditionnant les possibilités de trouver un gîte. Par exemple, lorsque le sol est détrempe, certains rongeurs ne peuvent creuser leur terrier.



Photo : Herbreteau V.

Dans la province d'Udon Thani, au nord-est de la Thaïlande, des enfants jouent dans les rizières à proximité de leur maison. Pieds nus, ils sont fortement exposés à tout agent infectieux libre dans l'eau.

Photo 39 : Exposition aux pathogènes de l'eau lors des loisirs



Photo : Herbreteau V.

Lorsque les paysans travaillent dans les rizières, ils utilisent régulièrement l'eau pour une toilette rapide, pour laver le matériel ou même faire la vaisselle, comme ici dans le canal d'irrigation. L'ingestion d'eau est alors possible.

Photo 40 : Exposition aux pathogènes de l'eau, lors d'un usage pour des travaux quotidiens

De plus, toute personne au contact des eaux stagnantes est susceptible d'être infectée par un agent pathogène libre et vivant dans l'eau (photos 39 et 40).

L'artificialisation des espaces, générée par l'expansion des terres agricoles et du bâti, contribue à une absorption de l'eau par le sol de plus en plus difficile, et des phénomènes d'inondation. Lorsque les pluies sont violentes, le niveau des eaux monte très vite. En juin 2004, alors que nous étions dans la province de Phrae, de violents orages ont fait monter le niveau des eaux de plus d'un mètre dans la ville de Phrae en quatre heures. Les inondations sont les catastrophes les plus fréquentes en Thaïlande, survenant pendant la saison des pluies de juin à septembre. De 1975 à 1990, le Civil Defense Secretariat a estimé à 1 216 millions de dollars US les dégâts. En 1983, des inondations dans tout le sud du pays ont tué 400 personnes. En octobre 2002, 100 personnes sont décédées dans le Nord-Est suite à la montée des eaux. Les inondations, en permettant la dispersion des agents pathogènes, accroissent l'étendue des zones à risque et augmentent le nombre de personnes potentiellement exposées.

3.3.1.3. Les populations sont exposées aux rongeurs sur leur lieu de résidence

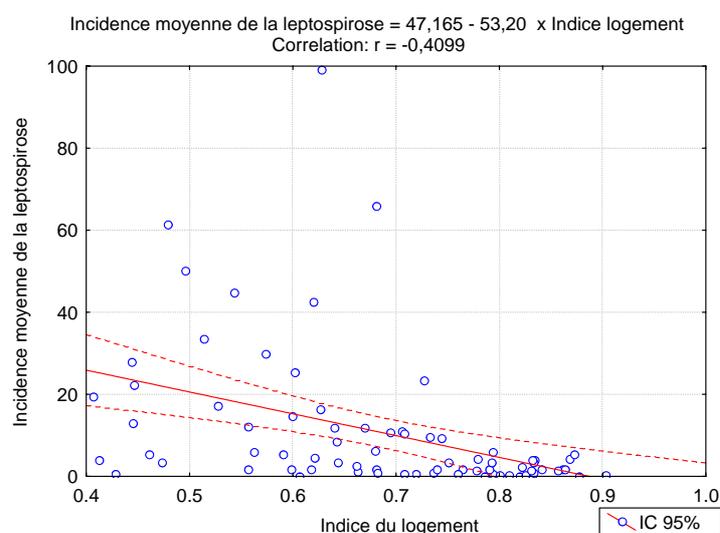
Si *Rattus exulans*, la principale espèce domestique (vivant au contact de l'Homme), est présent sur l'ensemble du territoire, il a pu être capturé plus ou moins facilement selon les régions. Les glorieuses captures évoquées au chapitre 1.3.2., ne se sont pas reproduites dans d'autres régions et n'auraient sans doute été aussi fructueuses dans les régions centre ou nord. Bien que cela soit subjectif, nous avons pu observer un lien entre les conditions de propreté du pourtour des maisons et la densité des populations d'espèces domestiques ou péri-domestiques. Dans la région nord-est, les villages paraissent plus sales que dans les autres régions : les gens semblent avoir l'habitude de jeter les détritiques au hasard, offrant ainsi aux rongeurs des conditions pour se nourrir et se réfugier. Les jardins sont rarement entretenus ou arrangés pour l'esthétique. Ainsi les campagnes des provinces de Loei ou de Sakhon Nakhon contrastent avec celles de Phrae, où les habitations sont souvent entourées de jolis jardins et les allées recouvertes de ciment. L'entretien et la propreté des jardins contribuent à attirer des espèces domestiques ou péri-domestiques comme *Rattus exulans* ou *Rattus tanezumi*.

Nous n'avons pas de données qui permettraient de mesurer ces observations. En effet, nous avons globalement très peu d'indicateurs sociaux sur le mode de vie des populations. Toutefois, parmi les huit indices du HAI, l'indice du logement et des conditions de vie pourrait aider à discerner les populations les plus exposées aux rongeurs sur leur lieu de résidence. Il comprend quatre paramètres décrivant la qualité du logement et la qualité de vie, extraits de l'enquête socio-économique de 2000 du NSO :

- le pourcentage de foyers ayant un logement construit en dur ;
- le pourcentage de foyers vivant dans des quartiers pauvres ;
- le pourcentage de foyers ayant accès à un réfrigérateur ;
- le pourcentage de foyers ayant une cuisinière au pétrole, à gaz ou électrique.

Un sous-équipement des foyers correspond sans doute à des familles plus isolées, vivant plus proche de la nature. La chasse de rats peut être une activité courante pour ces foyers. L'absence de réfrigérateur ou de moyen de cuisson autre que le feu se traduit par un risque sanitaire plus élevé. Les aliments, conservés à l'extérieur, peuvent attirer les rongeurs domestiques.

Les valeurs de l'indice du logement et des conditions de vie s'étalent de 0,406 à 0,904. Les provinces de la région nord, le long de la frontière birmane, ainsi que dans la plupart des provinces de la région nord-est enregistrent les plus faibles valeurs (Atlas - carte 3.3.1.b.). Dans ces provinces, les logements sont souvent précaires avec une majorité de maisons en bois, montées sur pilotis et peu équipées. Dans la région nord-est, les provinces le long des frontières cambodgienne et laotienne sont les pires.



Graphique 45 : Nuage de points entre l'incidence moyenne de la leptospirose entre 2000 et 2005 et l'Indice du logement et des conditions de vie

L'indice du logement et des conditions de vie est corrélé négativement (-0,41 avec $p < 0,05$) à l'incidence moyenne de la leptospirose entre 2000 et 2005 (graphique 45). Les provinces ayant un pourcentage important de logements précaires ont aussi des incidences de leptospirose plus fortes. En effet, un habitat ancien, en bois donc plus ouvert sur l'extérieur, peut favoriser la proximité de l'Homme et des rongeurs et ainsi la transmission de zoonoses. *Rattus exulans* et *Rattus tanezumi* sont souvent présents dans les habitations de bois. Ils peuvent grimper les pilotis et nicher dans les toits.

De plus, un second lien peut être dans la combinaison d'un manque d'hygiène pour l'alimentation et de la consommation de rats qui expose à l'infection par les zoonoses qu'ils transmettent. Nous avons observé les maisons de bois, non équipées, dans les campagnes les plus isolées. Cet indice traduit la ruralité et le niveau de vie des populations. Il constitue pour nous un indicateur de l'exposition aux rongeurs via leur consommation



Photo : Herbreteau V.

Photo 41 : Piégeage de *Rattus exulans* dans une maison de la province de Loei

Au cours de l'enquête à Phrae, 88% des foyers ont répondu avoir des rats à proximité de la maison, soit à l'intérieur, soit à l'extérieur. Nous avons en effet observé *R. exulans* et souvent *R. tanezumi* dans ces mêmes villages, lors des campagnes de piégeage qui avaient précédé. Cette réponse est quasi-systématique sur le bassin versant (95%). Les maisons y sont plus isolées et plus proches des champs, ce qui pourrait expliquer une présence plus importante de rongeurs, dans ou autour des habitations. Toutefois, si un rat est présent dans un village, il l'est alors potentiellement dans n'importe quelle maison. Une mauvaise hygiène de l'habitat est un facteur d'attraction des rongeurs domestiques qui recherchent à la fois de la nourriture et un abri. En revanche, ces rongeurs peuvent être repoussés par la présence d'animaux domestiques, et en particulier des chats. En posant des pièges dans les maisons, nous avons constaté qu'à la question « avez-vous des rats dans votre maison ? » la réponse était souvent négative. Ici, les sondeurs ont tenté de poser cette question après discussion pour ne pas gêner les personnes interviewées.

Sur le site de Phrae, 83% des foyers interrogés ont déjà lutté contre les rats en les piégeant, avec des cages, des tapettes, ou de la colle, ou en utilisant des raticides. 15% ont répondu ne jamais avoir eu recours à des méthodes de lutte et seulement 2% ne pas en avoir eu besoin. Une forte majorité de la population considère donc la proximité des rongeurs comme une nuisance à l'hygiène du foyer.

Nos campagnes de piégeage ont montré qu'une pose régulière des pièges dans une maison permet de réduire la fréquentation des rats (photo 41). En revanche, cela ne fait pas disparaître les populations de rats qui trouvent toujours refuge dans des espaces plus isolés.

Les contacts directs de l'Homme avec les rats domestiques vivants sont improbables. Ce sont des animaux nocturnes qui fuient l'Homme avant qu'il ne soit à proximité. Les rats ne représentent un risque que par les déjections qu'ils répandent sur le milieu de vie de l'Homme, et qui peuvent contenir des agents pathogènes, virus ou bactéries. Tous les membres du foyer sont ainsi exposés de la même façon quel que soit leur âge.

3.3.1.4. La chasse et la consommation de rats créent des situations à risque

« Kei kin mai ? » En avez-vous déjà mangé ? Cette question nous a souvent été posée sur le terrain lors des campagnes de piégeage. Elle s'accompagne de sourires interrogateurs : les gens se demandent si nous considérons les rats comme des animaux appétissants ou répugnants. En parlant, ils nous informent rapidement que la viande de rat est très fine, secret que leurs sourires avaient déjà trahi. Les plus gros rats, *Bandicota indica* dans les rizières ainsi que les espèces sauvages des milieux forestiers, sont très appréciés dans les campagnes thaïlandaises. Ils pourraient être considérés comme tout gibier sauvage s'ils ne souffraient pas de l'image négative communément portée aux rats et attribuable aux espèces domestiques et cosmopolites *Rattus norvegicus* et *R. rattus*.



Photo : Herbreteau V.

Le chasseur explique comment il approche ses proies en imitant leurs déplacements sur le sol, avant de les aveugler par sa lampe frontale et de les tirer.

Photo 42 : Reportage télévisé sur la chasse aux rats dans la province de Loei

La chasse aux rats, une activité à risque

Ainsi, dans les campagnes de Thaïlande, les gros rongeurs sont chassés pour leur viande. Les autres animaux sauvages étant rares, les rongeurs sont la cible première des chasseurs. En suivant les chasseurs dans différentes régions, nous avons pu constater des techniques similaires. La proie la plus recherchée est « Nu phuk », *Bandicota indica*, qui se trouve sur les plaines agricoles à travers le pays. Les chasseurs les tirent avec des carabines à plomb. Les autres proies sont plus rares : ce peut être d'autres rongeurs des terres agricoles, *R. tanezumi*, *R. losea* ou *R. argentiventer*, ou bien d'autres petits mammifères, exceptionnellement des carnivores. A la tombée de la nuit, ils parcourent les terres sur lesquelles ils travaillent et où ils ont repéré les terriers occupés (photo 42). Certains imitent les bruits des rats, d'autres se contentent de remuer la végétation au sol pour simuler leurs déplacements. Ceci doit avoir pour effet d'attirer les rats en dehors de leur terrier. Eblouis par une lampe frontale, les rats s'immobilisent et les chasseurs les tirent. Ils ramassent alors le cadavre et le glissent dans un sac de toile. Le risque de morsure est limité mais le contact avec le sang de l'animal est probable. Les chasseurs sont fortement exposés à tout agent pathogène dont le rat est porteur. Des parasites externes, tiques, puces ou autres acariens, peuvent aussi passer de l'animal mort à l'Homme et transmettre des viroses ou rickettsioses, dont le typhus des broussailles. Ainsi, la chasse est l'activité qui semble le plus exposer l'Homme aux zoonoses transmises par les rongeurs.

Parallèlement à la chasse à la carabine, un plus grand nombre de personnes chassent les rongeurs pour leur viande également, en les piégeant près de leur résidence ou sur leurs terres.

Les techniques de piégeage sont plus variées. Certains utilisent des cages, où les animaux sont capturés vivants. Ceci peut les exposer aux morsures au moment de la mise à mort de l'animal. D'autres emploient des tapettes qui, comme les cages, sont en vente dans tous les villages. Enfin, les chasseurs les plus actifs se fabriquent leurs pièges qui reprennent généralement le principe du collet (photo 43). Cela limite pour eux les coûts et leur permet de disposer d'un grand nombre de pièges. S'ils chassent pour vendre, ils conservent leurs proies vivantes dans de grandes cages ou des cuves de ciment, initialement destinées à récolter les eaux de pluie (photo 44). Dans les villages, chacun sait où se procurer une telle viande.



Photo : Herbreteau V.

Le chasseur prépare une cinquantaine de pièges « kap dark ». Un collet est maintenu par un bâton de bambou qui sera planté, à la verticale, dans le passage des rongeurs.

Photo 43 : Préparation des collets par Tao, un jeune chasseur de Kalasin



Photo : Herbreteau V.

Bandicota indica, le plus gros rongeur des rizières, est recherché pour sa viande. Les chasseurs les conservent vivants dans de grandes cuves.

Photo 44 : Deux *Bandicota indica*, conservés dans une cuve chez un chasseur de Kalasin



Photo : Herbreteau V.

Pour une émission grand public, une présentatrice s'est déplacée sur un marché de la province d'Ayuthaya, au nord de Bangkok, pour interroger les marchands de rats et goûter à cette viande... sans conviction

Photo 45 : Reportage télévisé sur la viande de rat

La chasse s'intensifie lorsque les populations de *Bandicota indica* sont plus denses, au moment des récoltes de riz, après la saison des pluies. Cette exposition, momentanément accrue explique sans doute aussi l'incidence plus élevée de la leptospirose à cette saison.

La consommation de rats, à quel risque ?

La chasse et la consommation de rats sont souvent attribuées aux populations de la région Issane, le Nord-Est, dont la culture est proche de celle du Laos. C'est effectivement dans cette région que nous avons pu rencontrer un grand nombre de chasseurs ou de vendeurs dans les villages. Cependant, la chasse se pratique aussi dans d'autres contrées reculées, comme nous avons pu le constater à la frontière birmane ou dans le nord du pays. Paradoxalement aussi, en quittant régulièrement Bangkok pour se rendre sur le terrain, nous avons observé l'émergence d'un petit commerce de vente de rats grillés, sur les abords d'autoroute. Les rats dépecés sont cuits en brochettes sur le feu et proposés tels quels sur de petits étals le long des grands axes routiers de la région centrale, de Bangkok vers Chiang Mai, vers Petchabun ou vers Nakhon Ratchasima. Il semblerait que peu à peu, l'idée de manger du rat ait fait son chemin de l'Issan vers Bangkok, à l'image de cette présentatrice « bangkokiennne » qui a osé y goûter (photo 45).

Consommer de la viande cuite ne poserait pas de problème sanitaire, les éventuels agents pathogènes étant dégradés par la cuisson. La préparation des plats traditionnels thaïs nécessite en effet une bonne cuisson de la viande qui n'est pas servie saignante. L'exposition se limiterait donc à la préparation des animaux. S'il faut tuer l'animal, il y a un risque de morsure car les rats sont extrêmement vigoureux et souples.

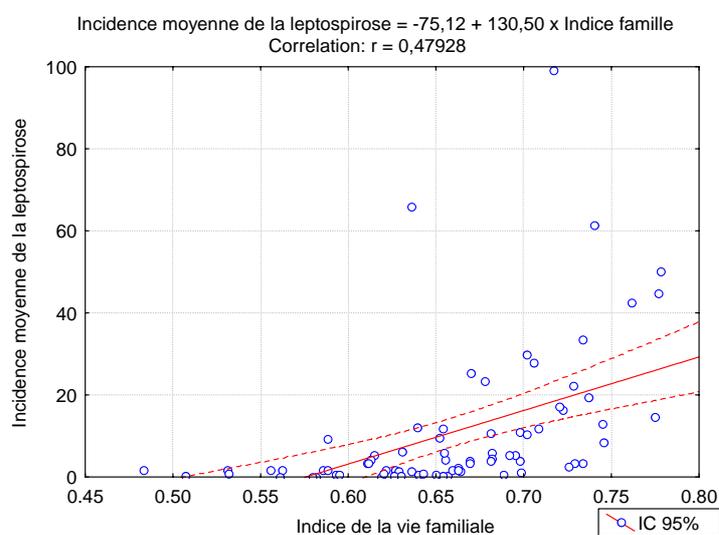
Bandicota indica est le plus difficile à manipuler et sa morsure peut être très profonde. Les espèces sylvestres sont plus calmes et moins dangereuses. Si l'animal tué est blessé, il peut y avoir un contact direct avec le sang. C'est au moment de la préparation des rats que le risque d'infection est maximal. Personne ne se protège avec des gants et le contact avec du sang, des tissus ou des excréments de l'animal est certain.

Nous n'avons aucune information officielle de disponible sur la pratique de la chasse aux rats ou sur la consommation de rats, ce qui ne nous permet pas d'en faire la géographie. Les observations de terrain et les témoignages de Thaïlandais nous indiquent que ces pratiques sont plus courantes dans le Nord-Est et les provinces reculées. La chasse serait liée à l'isolement et à la ruralité des populations. Ainsi, les personnes vivant retirées sur leurs terres chassent régulièrement.

Parmi les quelques indicateurs sociaux disponibles, nous avons considéré l'indice de la famille et de la vie communautaire, extrait du HAI, comme éventuel indicateur de la ruralité et de l'exposition aux zoonoses transmises par les rongeurs. Cet indice décrit le cadre familial (séparations, enfants élevés par leurs grands-parents), la possibilité de scolarisation des adolescents, le handicap et d'éventuels problèmes sociaux (délits et usages de drogues). Il se compose de sept variables :

- le pourcentage de foyers dirigés par une femme (Source : NSO, Enquête socio-économique, 2000) ;
- le pourcentage de foyers dirigés par des personnes âgées (Source : NSO, Enquête socio-économique, 2000) ;
- le pourcentage d'enfants âgés de 15 à 17 ans qui travaillent (Source : NSO, Enquête sur les travailleurs, 2000). Cette catégorie correspond aux enfants de 15 à 17 ans qui ne vont pas à l'école : ils peuvent soit travailler à plein temps ou temporairement, soit travailler à la maison ou être sans emploi ;
- l'incidence des divorces pour 1000 mariages (Source : Ministère de l'Intérieur, Statistiques de l'état civil, 1999) ;
- le pourcentage de personnes infirmes (Source : NSO, Enquête sur la santé et la sécurité sociale, 2001) ;
- le nombre de délits violents reportés pour 100 000 habitants (Source : Royal Thai Police, Statistiques des crimes en Thaïlande, 2000) ;
- le nombre d'arrestations liées aux drogues (Source : Royal Thai Police, Statistiques des crimes en Thaïlande, 2000).

Les valeurs de l'indice de la famille et de la vie communautaire sont plus regroupées que pour les autres indices, s'étalant de 0,483 à 0,778. Contrairement aux autres indices, la région nord-est se démarque par des valeurs élevées correspondant à un bon cadre familial et communautaire (Atlas - carte 3.3.1.c.).



Graphique 46 : Nuage de points entre l'incidence moyenne de la leptospirose entre 2000 et 2005 et l'Indice de la famille et de la vie communautaire

Le Nord-Est enregistre peu de crimes et peu de problèmes liés aux drogues. La métropole de Bangkok a les plus fortes incidences de crimes, d'usage de drogues et de divorces, ce qui la place au plus bas de cet indice. La région nord enregistre aussi de forts taux de divorces.

L'indice de la famille et de la vie communautaire est corrélé positivement (0,48 avec $p < 0,05$) à l'incidence moyenne de la leptospirose entre 2000 et 2005 (graphique 46). La région Issane, qui se distingue par des familles unies et un indice fort, est celle où l'incidence de la leptospirose est la plus élevée.

Cet indice traduit la ruralité avec, dans la région nord-est, la persistance de grandes familles regroupées et unies face à d'éventuelles difficultés sociales (problèmes financiers, divorces, etc.). Dans ce pays structuré par les activités agricoles, la ruralité est un nouvel indicateur de l'exposition à la leptospirose.

Après avoir identifié ces indicateurs qui semblent pouvoir expliquer les incidences de la leptospirose, nous allons essayer de les associer afin de pouvoir estimer le risque de transmission des leptospires à l'Homme.

3.3.2. Estimation du risque de transmission de la leptospirose

Pour synthétiser l'étude des facteurs de risque et de la vulnérabilité des populations, nous pouvons essayer d'estimer le risque d'infection des populations par la leptospirose. L'infection nécessite d'une part la présence des leptospires dans l'environnement et d'autre part l'exposition des personnes. Ce risque naît donc de l'aléa et de la vulnérabilité des populations. Les hommes sont le plus fréquemment exposés à la présence de leptospires sur les terres agricoles. Le plus gros et le principal rongeur murin y vivant est *Bandicota indica*. Cette espèce est aussi la plus recherchée par les chasseurs pour sa viande et serait donc le principal vecteur de la leptospirose. La connaissance de son aire de distribution renseigne sur les lieux potentiels de la transmission à l'Homme des leptospires. Elle permet de restreindre spatialement l'aléa. Nous avons pu cartographier sa distribution, après quelques années de piégeage, en affinant les rares descriptions qui ont été faites de cette espèce. *Bandicota indica* est présent à travers le pays, contrairement à ce qui avait été décrit précédemment. Il occupe l'essentiel des terres agricoles. Par conséquent, nous avons considéré la part des terres agricoles par unité administrative pour estimer l'aléa. Plus les surfaces agricoles sont importantes et plus le risque est grand. Nous avons donc intégré cette proportion des terres agricoles comme un facteur multiplicateur dans l'estimation du risque (figure 27).

D'autre part, nous avons identifié plusieurs indicateurs de l'exposition de l'Homme aux rongeurs. L'exposition est essentiellement professionnelle, étant liée à l'activité agricole. La part de la population de plus de 15 ans impliquée dans le secteur agricole intervient significativement dans l'incidence de la leptospirose. Nous avons considéré cette part comme un second facteur multiplicateur dans l'estimation du risque (figure 27).

L'exposition à l'infection par les leptospires est aussi sur le lieu de résidence. Nous avons identifié deux indicateurs significativement corrélés à l'incidence de la leptospirose, l'indice du logement et des conditions de vie et l'indice de la famille et de la vie communautaire. Nous avons donné à ces deux indices un poids équivalent d'un demi pour constituer l'indice d'exposition (figure 27).

Enfin, nous avons démontré que l'offre et l'accès aux soins sont aussi des indicateurs de l'incidence de la leptospirose. Nous avons estimé l'offre à travers deux indices, la desserte en médecins et la desserte en hôpitaux auxquels nous avons donné un demi poids (coefficient $\frac{1}{2}$). Nous avons évalué l'accès aux soins avec l'indice de transport et de communication, ce qui nous a permis de synthétiser un indice des soins en attribuant à nouveau un demi poids aux indices d'offre et d'accès aux soins (figure 27).

Par ailleurs, nous n'avons pas pu intégrer l'incidence des intoxications alimentaires ou des pyrexies d'origine inconnue dont nous n'avons les valeurs que pour l'année 2004. L'incidence des intoxications alimentaires pourrait constituer un bon indicateur du risque alimentaire qui pourrait affiner l'estimation du risque si les données étaient disponibles.

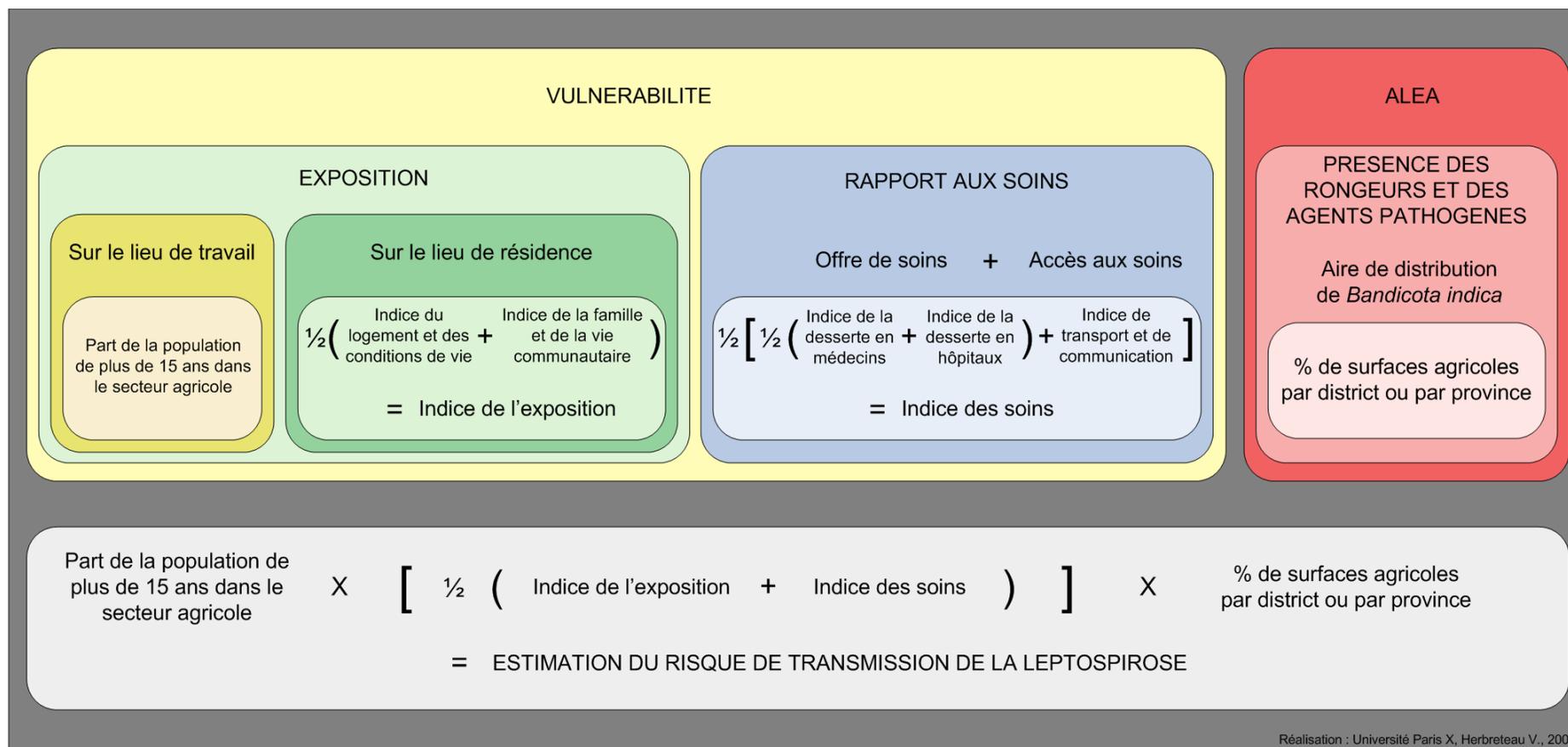
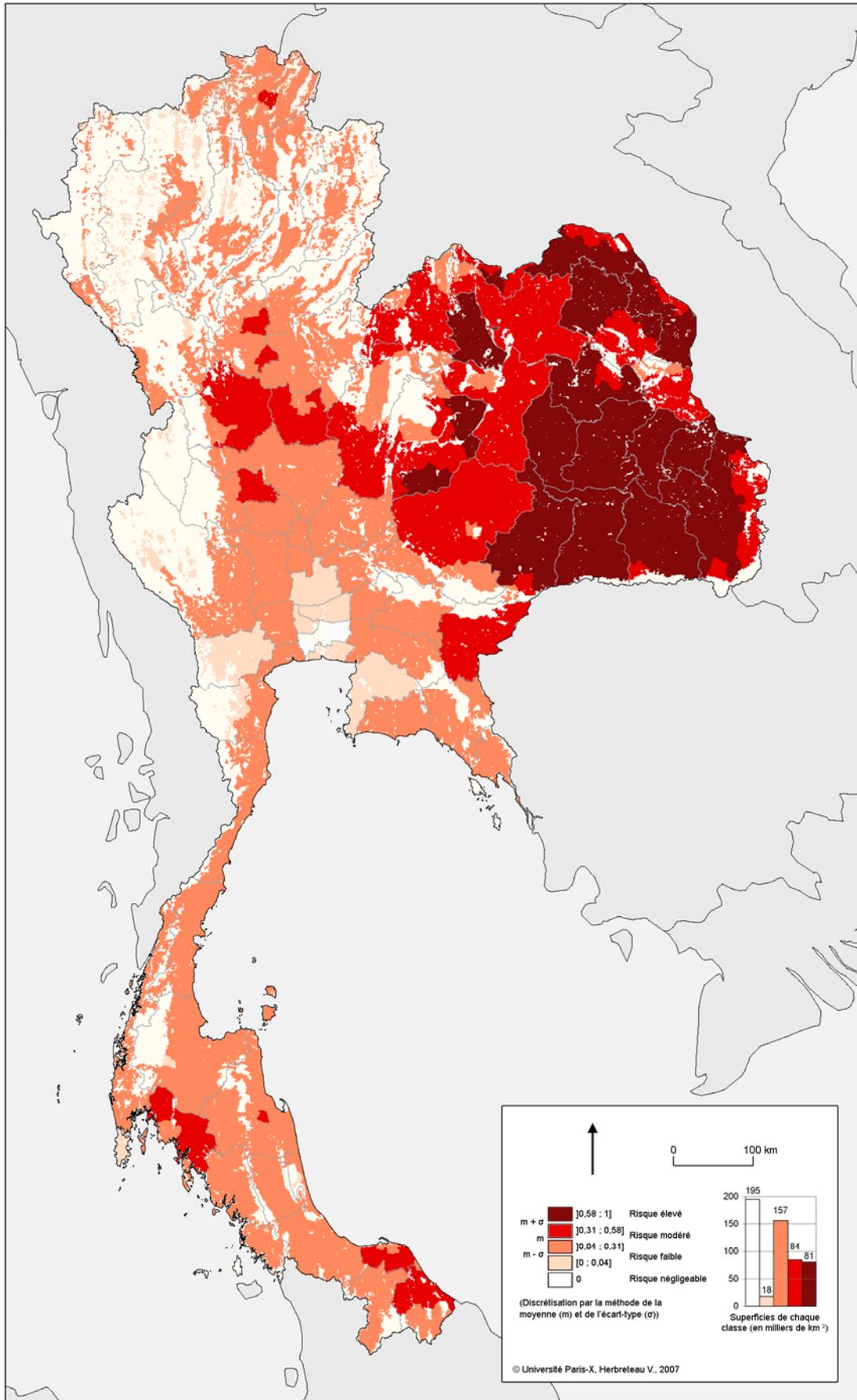


Figure 27 : Détail du calcul du risque de transmission de la leptospirose

Carte 38 : Estimation du risque de transmission de la leptospirose en Thaïlande



Afin d'étaler les valeurs des indices intermédiaires entre 0 et 1 pour pouvoir les combiner, nous avons appliqué à chaque indice le calcul suivant :

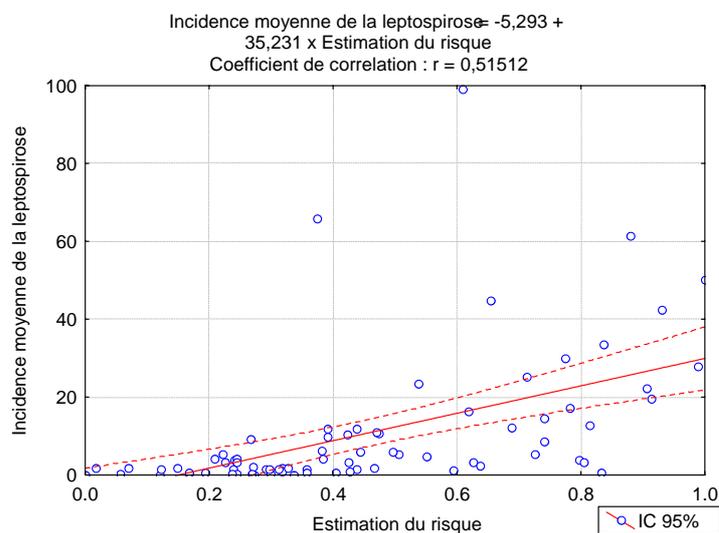
$$\text{valeur dispersée} = \frac{\text{valeur} - \text{minimum}}{\text{maximum} - \text{minimum}}$$

La combinaison des ces indices nous permet d'estimer le risque de transmission à l'Homme de la leptospirose (figure 27). Nous avons calculé tous les indices intermédiaires à l'échelle des provinces, excepté le pourcentage de terres agricoles que nous avons extrait du SIG à l'échelle des districts ou des provinces. Nous avons aussi étalé les valeurs du risque de transmission entre 0 et 1.

La valeur moyenne du risque est de 0,31 : 60% des districts ont une valeur inférieure à la moyenne, c'est-à-dire légèrement inférieure au premier tiers des valeurs du risque. Cinquante districts (5,4%) ont un risque négligeable (égal à 0). L'écart-type (0,27) est élevé : il représente un peu plus d'un quart de l'étendue des valeurs. Nous avons cartographié le risque de transmission en utilisant une discrétisation par la méthode de la moyenne et de l'écart-type (carte 38).

Nous avons ainsi quatre classes ($]0 ; 0,04]$ = risque faible, $]0,04 ; 0,31]$, $]0,31 ; 0,58]$ et $]0,58 ; 1]$ = risque élevé) séparées par la moyenne que nous désignons le risque modéré. Nous avons ajouté une cinquième classe pour les valeurs nulles correspondant au risque négligeable. Nous avons adopté un dégradé de rouge, avec des variations s'assombrissant pour marquer l'élévation du risque.

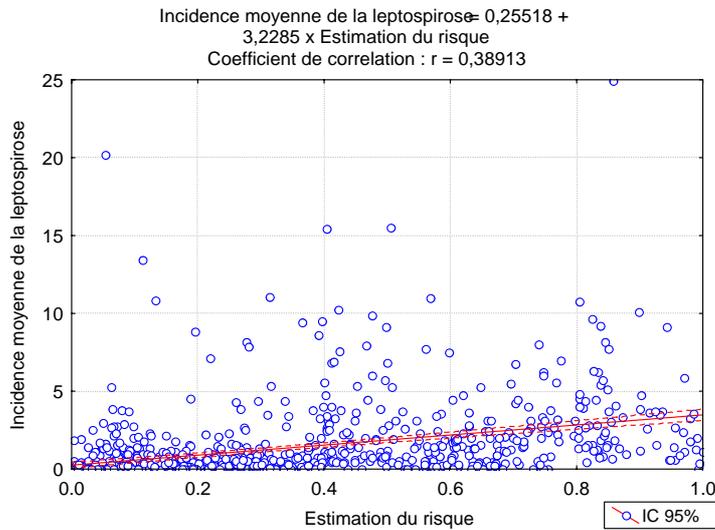
Les espaces à risque négligeable correspondent à la province de Bangkok ainsi que les régions de montagne les plus accidentées, peu agricoles et à très faible densité de population. Les espaces à risque élevé sont tous situés dans la région nord-est et principalement dans sa moitié sud.



Graphique 47 : Nuage de points entre l'incidence moyenne de la leptospirose entre 2000 et 2005 et l'estimation du risque de transmission par province

Les valeurs de l'estimation du risque de transmission de la leptospirose sont significativement corrélées à l'incidence moyenne de la leptospirose entre 2000 et 2005 par unité administrative (graphique 46). A l'échelle des provinces (76 cas), le coefficient de corrélation est de 0,51 ($p < 0,05$). La pente de la droite de régression reliant le risque à l'incidence est de 35,23. Un test de Student permet de vérifier que cette pente est suffisamment éloignée de zéro ($t = 5,17$, très grand devant $t_{5\%}$) et que l'incidence peut être estimée en fonction du risque par l'équation :

$$\text{Incidence moyenne de la leptospirose} = 35,23 \times \text{Estimation du risque} + 0,52$$



Graphique 48 : Nuage de points entre l'incidence moyenne de la leptospirose entre 2000 et 2005 et l'estimation du risque de transmission par district

A l'échelle des districts (926 cas), le coefficient de corrélation est légèrement plus faible : 0,39 ($p < 0,05$). La pente de la droite de régression reliant le risque à l'incidence est de 3,23 (graphique 46). Le test de Student atteste que cette pente est oblique ($t = 12,84$, très grand devant $t_{5\%}$) et que l'incidence peut aussi être estimée par le risque selon l'équation :

$$\text{Incidence moyenne de la leptospirose} = 3,23 \times \text{Estimation du risque} + 0,26$$

Selon l'échelle envisagée, par province ou par district, nous avons donc deux équations qui permettent de prévoir une incidence théorique de la leptospirose. Cette prédiction est statistiquement significative bien qu'elle ne considère que l'espèce *Bandicota indica*.

Ces équations se basent sur des variables simples fournies par différentes institutions thaïlandaises. Ces données pourront être facilement mises à jour pour de futures évaluations du risque de transmission de la leptospirose.



Photo : Herbreteau V.

Photo 46 : Les contacts avec l'eau sont fréquents et prolongés pour les paysans (province de Phrae).

3.4. Discussion

Après avoir analysé l'ensemble des informations que nous avons obtenues sur la transmission de germes pathogènes des rongeurs à l'Homme et après avoir évalué le risque de transmission de l'épidémie la plus importante, la leptospirose, une question demeure en suspens : pourquoi sont apparues ces épidémies de zoonoses transmises par les rongeurs ? Cette question nous reporte à la première hypothèse formulée en introduction, où nous avons évoqué une responsabilité environnementale.

3.4.1. Discussion sur la première hypothèse : les changements environnementaux sont à l'origine de l'émergence des germes pathogènes transmis par les rongeurs.

La pression humaine sur l'environnement est très forte depuis la fin du XX^{ème} siècle. Les espaces naturels sont désormais réduits et fractionnés. Les populations de rongeurs sauvages ou domestiques s'adaptent continuellement aux bouleversements de leurs habitats (voir Chapitre 2.1.1.2.), ce qui modifie les contacts entre les espèces aussi bien qu'entre les rongeurs et l'Homme.

Les changements environnementaux bouleversent les équilibres entre les espèces

Très peu de travaux se sont jusqu'ici intéressés aux rongeurs murins présents en Thaïlande. Nous connaissons aujourd'hui les principales espèces, sommes capables de les identifier et de décrire leurs habitats. En revanche, nous n'avons qu'une connaissance très approximative de leurs dynamiques. Nous ne savons pas comment chacune des espèces a conquis son milieu et comment les populations ont évolué en densité. La réduction des espaces boisés qui représentaient plus de 80% au début du XX^{ème} siècle et moins de 25% au début du XXI^{ème} siècle (voir Chapitre 1.1.1.2.) a obligatoirement eu des conséquences considérables sur les différentes populations de rongeurs. Les populations sauvages, les genres *Berylmys*, *Leopoldamys*, *Maxomys* ou *Niviventer* sont probablement plus réduites aujourd'hui alors qu'ont émergé des espèces cosmopolites, comme *Rattus norvegicus* dans la métropole de Bangkok et les ports, ou *Rattus exulans* présent sur l'ensemble du pays.

Dans d'autres régions, de nombreuses études se sont intéressées aux dynamiques des populations de mammifères et de rongeurs en liaison avec la biodiversité des écosystèmes et l'impact de l'Homme (August, 1983 ; Ferreira et Aarde, 2000). Les populations de rongeurs murins sont très sensibles aux perturbations et réagissent très vite : elles peuvent investir un milieu favorable (ressources alimentaires suffisantes, absence de prédateurs, absence de compétiteurs ou dominance par rapport aux autres espèces en compétition) en se reproduisant rapidement et en augmentant ainsi ses effectifs de manière exponentielle. La coexistence d'espèces en compétition n'est possible que si elles présentent des aptitudes différentes à vivre dans le milieu (Gause, 1934). Qualifiés de peste, les rongeurs sont d'ailleurs responsables de pertes importantes dans la production agricole mondiale. Au cours de cette étude, nous avons pu l'observer dans la partie montagneuse de la province de Phrae, où la déforestation pour permettre la culture du maïs a entraîné des pullulations de *Bandicota savilei*, ravageant les récoltes. Les changements environnementaux se répercutent ainsi sur la diversité des espèces.

Le sens commun voudrait que l'augmentation de la biodiversité des écosystèmes entraîne une parallèle augmentation de la diversité des espèces animales. L'existence d'un plus grand nombre de niches ou de ressources alimentaires plus variées permettrait ainsi d'abriter plus d'animaux

(M'Closkey, 1985; Bond et al., 1980). Quelques études ont pu montrer des corrélations positives entre la biodiversité des écosystèmes et la richesse des espèces (Rosenweig and Winaku, 1969; August, 1983). D'autres n'ont pas trouvé de corrélations positives convaincantes : ainsi Bond et al. (1980) n'arrive à lier la diversité des espèces de rongeurs qu'avec le couvert végétal à une hauteur de 40 à 60 cm. L'interprétation d'un tel résultat est hasardeuse, sachant que tout jeu complexe de données indépendantes peut révéler des corrélations significatives. La difficulté de ces études tient à l'identification des paramètres environnementaux, indicateurs de la présence des espèces. Ainsi, les logiques de structuration des communautés végétales et animales sont différentes et la recherche de corrélations entre la présence de certaines plantes et de certaines espèces est vaine (August, 1983). En pratique, ce type de recherches qui ferait intervenir botanistes et rodentologues, à une échelle très fine, est rare et difficile à mettre en place : l'étude des micro-habitats demande beaucoup de temps et des connaissances pointues que peu de projets sont prêts à financer. De plus, une étude pointue des écosystèmes sous forte pression humaine, comme c'est le cas en Thaïlande, devient vite obsolète devant la rapidité des changements environnementaux. Ainsi, les recherches se contentent souvent d'une approche globale à petite échelle et abandonnent des questions sur l'écologie des rongeurs qui seraient fondamentales pour bien comprendre la dynamique des agents pathogènes qu'ils transmettent.

La protection environnementale est nécessaire à la survie de certains rongeurs

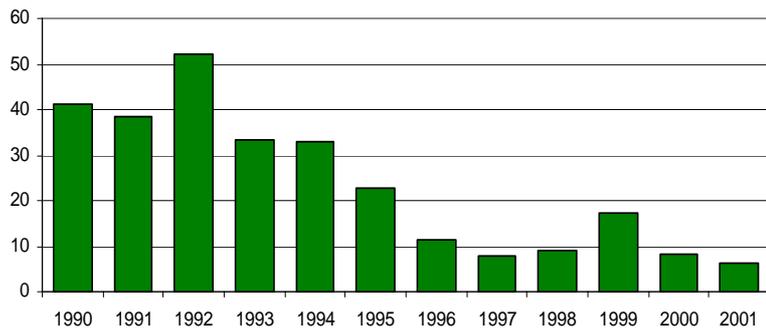
Le maintien des espaces naturels devient critique pour la survie de certaines espèces dont les niches sont menacées (Laidlaw, 2000). Les populations de *Leopoldamys neilli* et de *Niviventer hinpoon*, deux espèces endémiques de Thaïlande inféodées aux reliefs karstiques, sont aujourd'hui menacées de par l'intrusion grandissante de l'Homme dans ces espaces naturels réduits. La première est classée en danger sur la liste rouge de l'IUCN et la seconde est jugée à risque faible. (IUCN, 2004). Nos observations tendraient à montrer le contraire, *Leopoldamys neilli* étant encore présent dans les massifs karstiques alors que nous n'avons jamais pu y observer *Niviventer hinpoon*.

La prise de conscience de l'importance de la protection environnementale pour le maintien de la biodiversité, voire pour des préoccupations de santé, est récente en Thaïlande. En 1989, de catastrophiques inondations dans plusieurs régions ont élevé le débat sur la protection environnementale et la gestion des bassins versants. Le gouvernement a voté l'interdiction de l'exploitation forestière dans des espaces déclarés réserves forestières, et permis un ralentissement considérable de la déforestation. Les espaces protégés recouvrent tout de même près de 13,4 millions d'hectares (26,9 % du territoire). C'est l'un des plus forts taux au monde, la France en comptant 8,8% et les Etats-Unis 10,2%. Neuf millions d'hectares sont des espaces forestiers qui se répartissent en six catégories (Source: Thai Royal Forestry Department, 2001) :

- 102 parcs nationaux : 5 226 352 hectares (57,75% des aires protégées),
- 67 parcs forestiers : 87 049 ha (0,96%),
- 55 sanctuaires de la vie sauvage : 3 489 776 ha (38,56%),
- 48 espaces interdits à la chasse : 237 915 ha (2,63%),
- 15 jardins botaniques : 5 896 ha (0,06%),
- 54 arboreta : 3 608 ha (0,04%),

Les quatre millions d'hectares d'aires protégées restants se répartissent en 25 bassins versants et 22 mangroves. Seuls les parcs nationaux semblent avoir un niveau de protection suffisant pour garantir la survie des espèces en danger. Peu de personnes sont autorisées à y vivre ce qui limite la chasse. Dans les autres aires protégées, les rongeurs sauvages, aussi bien que les autres mammifères sauvages peuvent être en danger. En effet, des moyens insuffisants y sont mis en place pour contrôler la chasse et le braconnage.

Parallèlement à la création d'espaces protégés, la Thaïlande a conduit des campagnes de reboisement, ce qui a permis de diminuer la vitesse de déforestation (graphique 49). Les forêts sont désormais classées en trois espaces : les aires de conservation, les surfaces d'exploitation forestière et les espaces à usage agricole (terres pauvres et forêts peu productrices, attribuées à des paysans sans terres).



Source: Royal Forestry Department, 2003

Graphique 49 : Surfaces reboisées de 1990 à 2001, en Thaïlande

Au sein de ces forêts secondaires, souvent assimilables à des plantations, la diversité des rongeurs reste pauvre, avec parmi les murins, trois genres qui dominent : *Leopoldamys*, *Maxomys* et *Niviventer*. La chasse peut mettre en danger certaines populations très réduites, comme *Leopoldamys neilli*, qui se capture facilement et dont la grande taille fait qu'il est recherché pour sa viande.

Dégradation des écosystèmes, protection environnementale et émergence de zoonoses transmises par les rongeurs ?

Les fluctuations des densités de rongeurs, en réponse aux changements environnementaux locaux ou globaux, peuvent créer des conditions favorables à l'émergence de maladies. Ainsi, les épidémies du syndrome pulmonaire dû aux hantavirus, qui ont eu lieu aux Etats-Unis en 1993, ont été associées aux pullulations de rongeurs (Schmaljohn et Hjelle, 1997). Cette situation s'est répétée en 2000 où des épidémies de cette même fièvre ont touché le Panama. Les activités de déforestation pour accroître l'élevage semblent avoir engendré une densification des populations de rongeurs et créé les conditions favorables aux épidémies (Ruedas et al., 2004). Les études menées sur plus de cinq ans ont montré une corrélation positive mais avec un retard entre l'abondance et la prévalence d'une population (Davis et al., 2005). Nous pensons de même que l'explosion du nombre de cas de leptospirose à partir de 1997 a pu suivre des pullulations de rongeurs, sans doute *Bandicota indica*, sur les terres agricoles. Une augmentation de la densité des rongeurs impliquerait un risque plus élevé pour les paysans d'être au contact de leptospires. Les populations de *Bandicota indica* fluctuent au gré des saisons et des années, mais il faudrait mettre en place une étude spécifique sur plusieurs années pour mesurer leur densité et pouvoir vérifier les possibles relations avec l'épidémiologie de la leptospirose, ce qui n'a pas été possible au cours de cette étude.

Par ailleurs, les changements environnementaux induisent, outre une perturbation des équilibres entre les espèces de rongeurs, des modifications globales des contacts entre les agents pathogènes, les rongeurs et l'Homme. Des maladies peuvent émerger lorsque l'Homme se retrouve soudainement au contact de populations animales desquelles il était isolé et confronté à des agents pathogènes pour lesquels il n'est pas immunisé. Dans le cas des fièvres à Hantavirus mentionnées précédemment, les épidémies s'expliquent aussi par l'intrusion de l'Homme dans ces nouveaux espaces déboisés pour des activités agricoles. Nous avons pu percevoir quelques évolutions des contacts entre les rongeurs et l'Homme au cours de cette étude. Tout d'abord, nous n'avons jamais retrouvé *Mus musculus* dans les habitations alors que nous avons piégé *Rattus exulans*, exhaustivement, dans l'ensemble des villages choisis pour l'étude. *Rattus exulans*, d'ailleurs surnommé en Thaï « Nu ban » (le rat des maisons) pourrait avoir remplacé *Mus musculus* dans l'ensemble des habitations des campagnes thaïlandaises. Les populations sont désormais fortement exposées à tout agent pathogène que *Rattus exulans* peut porter. En effet, les gens vivent souvent à même le sol sur lequel ils peuvent dormir ou parfois prendre leurs repas. D'autres espèces semblent

aussi se rapprocher de l'Homme. Nous avons ainsi pu attraper les deux *Bandicota*, *B indica* et *B. savilei* à proximité de maisons, dans les jardins. La première, dont nous avons montré l'importance en temps que vecteur de la leptospirose et de nombreux agents pathogènes, pourrait, en s'étant rapproché des hommes, avoir été à l'origine de l'envolée des cas de leptospirose à la fin des années 90.

Enfin, l'intrusion de l'Homme dans les espaces naturels est rare mais en augmentation. Le tourisme vert est devenu très populaire : la fréquentation des parcs nationaux a fortement augmenté depuis le début des années 90, de près de 6 millions en 1987 à près de 17 millions en 1998 dont 13% de visiteurs étrangers. Des facilités ont été construites en bordure des parcs pour recevoir les touristes sur de courts séjours. L'intrusion des populations citadines, dans ces espaces protégés, les expose à la transmission de pathocénoses au réservoir forestier, telles la malaria, des arboviroses à tiques ou encore le typhus des broussailles lié aux rongeurs. Le risque d'infection est d'autant plus important que ces populations ne sont pas immunisées. Nous ne connaissons pas l'importance que pourraient avoir les rongeurs sauvages comme réservoirs de germes pathogènes pour l'Homme. Une transmission horizontale de rongeurs sauvages, réservoirs, à des espèces domestiques, vectrices, est possible. Malheureusement, nous avons vu que ces rongeurs n'ont jamais été considérés dans les études sérologiques, ce qui pourrait constituer de futurs axes d'étude.

L'apparition et la prolifération d'espèces animales ou de germes pathogènes étrangers sont un risque majeur dans les écosystèmes perturbés.

Ce risque est aujourd'hui considéré dans le contrôle des épidémies. Il s'est accru avec le développement des transports, comme l'ont montré les spectaculaires dispersions du SRAS en 2002 ou de la grippe aviaire à partir de 2003. Pourtant, la propagation de la Grande Peste avait déjà enseigné l'importance des transports dans la dispersion des épidémies, alors liées aux rats. D'un foyer localisé à Constantinople, celle-ci avait suivi la route de la soie pour s'étendre à toute l'Europe. Les puces infectées avaient pour vecteur les marmottes puis les rats qui grouillaient dans les cales des bateaux, passant d'un vecteur à un autre dans les ports avant de se répandre sur ces nouveaux territoires et d'y infecter les hommes. Au XX^{ème} siècle, le développement des transports a été un facteur accélérateur considérable de la propagation des maladies transmissibles, automobiles, trains, bateaux, ou avions pouvant disperser les vecteurs ou les pathogènes en un temps réduit, leur garantissant des conditions de survie.

Avec 62 aéroports, dont cinq internationaux (Bangkok, Chiang Mai, Hat Yai, Phuket et Chiang Rai), la Thaïlande est ouverte sur le monde. Les pays d'Asie, d'Europe ou d'Afrique sont à moins de 10 heures par vol direct de Bangkok, et les continents américains à moins de 20 heures (figure 28). Rats ou souris ayant de très bonnes capacités de survie ont ainsi colonisé différents milieux et distribué différents pathogènes. Historiquement ils ont accompagné les premières explorations, profitant dans les soutes des réserves des marins. Aujourd'hui, il existe un risque certain d'une prolifération rapide au sein des populations de rongeurs d'un agent pathogène importé. Dans les ports de commerce ou les aéroports, des services de dératissage assurent la protection des denrées, pouvant être rongées ou consommées par ces passagers clandestins, mais aussi une protection sanitaire en évitant d'éventuelles transmissions de maladies. A Bangkok, les spécialistes des rongeurs au sein de l'Agrozoology Research Group travaillent au contrôle douanier des rongeurs, ne pouvant poursuivre, par manque de moyens, leurs précédentes activités de recherche sur les rongeurs destructeurs des récoltes.

Dans ce contexte, nous pouvons considérer que nous avons des connaissances trop limitées sur la majorité des agents pathogènes de rongeurs. C'est en particulier le cas des virus, qui sont les plus redoutés en raison de leur capacité à se répliquer et à s'adapter aux changements environnementaux. Seul l'Hantavirus Thaïland, isolé sur un *Bandicota indica*, est connu (Hugot et al., 2006). Ni les hantavirus des autres espèces, ni d'autres virus n'ont été isolés en Thaïlande. De rares cas d'hantaviruses ont été diagnostiqués à l'hôpital universitaire Siriraj de Bangkok et beaucoup ont dû être confondus (Suputhamongkol et al., 2005, Herbreteau et al., 2005). Dans cette situation, des épidémies dues aux hantavirus restent une menace en Thaïlande.

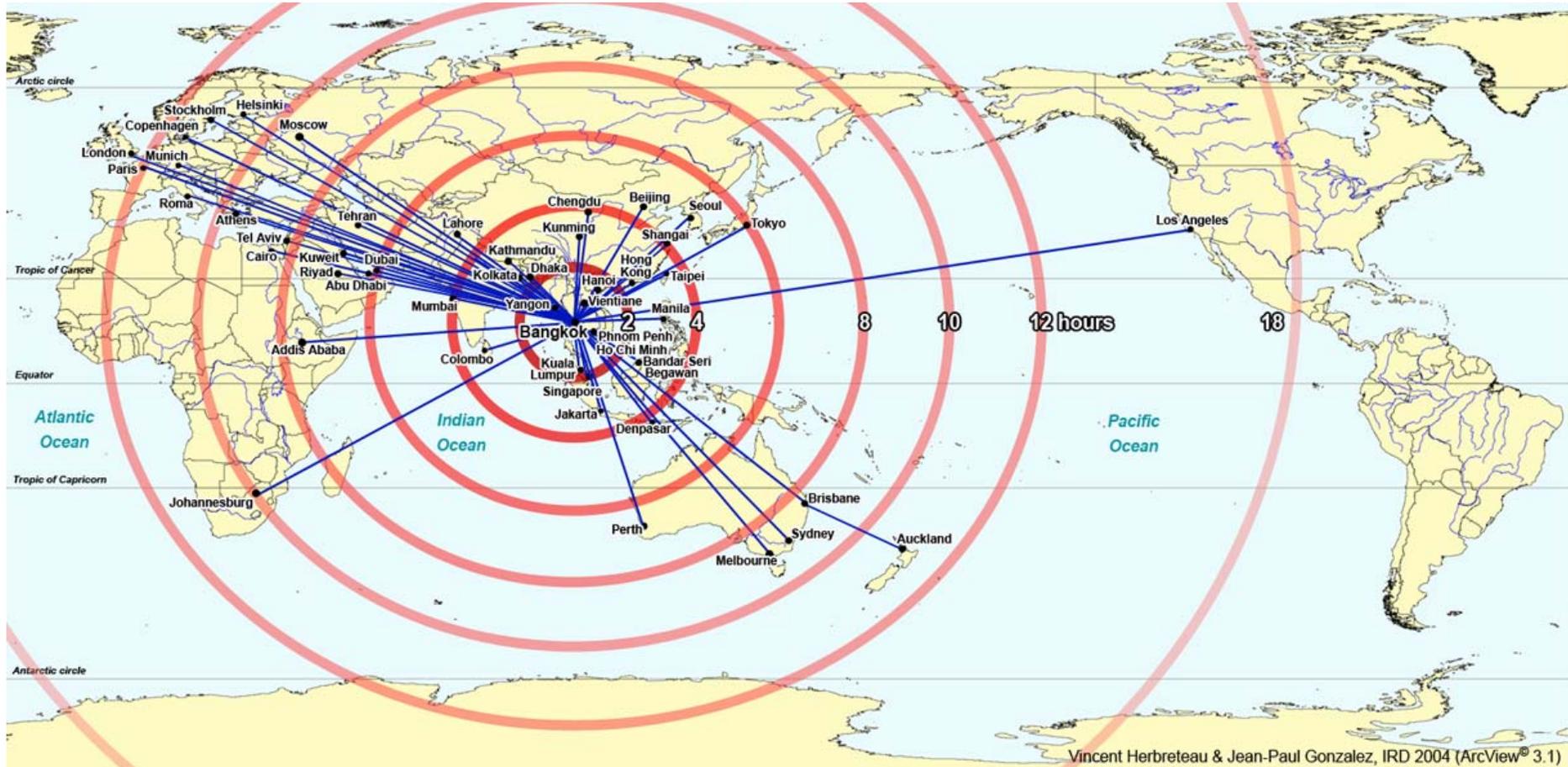


Figure 28 : Destinations et durées de vol des principales liaisons aériennes au départ de Bangkok.

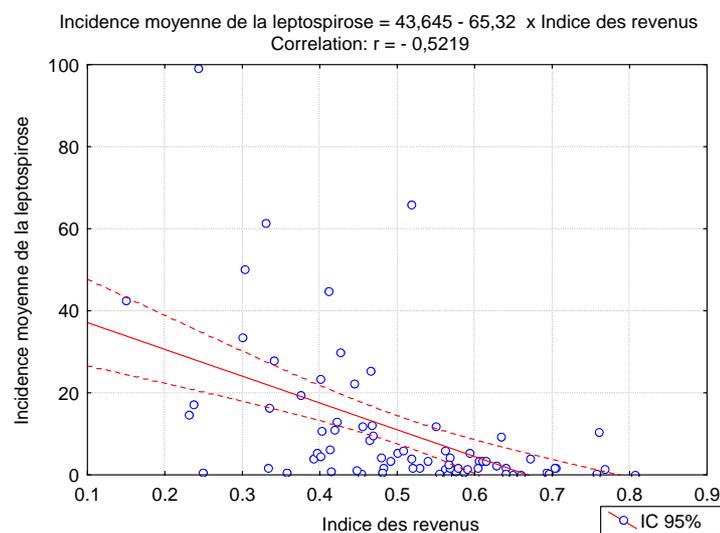
3.4.2. Discussion sur la deuxième hypothèse : la variabilité spatiale des épidémies transmises par les rongeurs est liée aux différents niveaux de vulnérabilité et d'exposition des populations.

La leptospirose ne serait-elle pas un indicateur de la pauvreté ?

Nous avons pu observer des structures spatiales semblables dans la distribution des épidémies de leptospirose, de différents paramètres démographiques (structure par âge et densité de la population agricole), de quelques indicateurs du système de soins (desserte médicale) et de l'état de santé (les enregistrements des intoxications alimentaires en particulier). La géographie de ces différentes variables s'accorde à désigner le Nord-Est et la partie est de la région nord comme les entités où les conditions d'émergence et de maintien des leptospires ainsi que leur transmission à l'Homme ont été favorisées. Les limites de la région Nord-Est ne correspondent ni à la biogéographie des rongeurs, ni à la distribution de leurs agents pathogènes que nous retrouvons présents dans les autres régions. En revanche, le Nord-Est, ou Issan, est une entité sociale et culturelle, regroupant un peuple dont les racines sont proches de celles des laotiens. La langue, le mode de vie et les habitudes culinaires en particulier sont semblables. Les rats sont chassés et consommés des deux côtés du Mékong. Malheureusement enfin, l'Issan est économiquement la région la plus défavorisée, avec une économie principalement agricole mais sans richesses. Les sols du Nord-Est sont les moins fertiles. La géographie de la leptospirose se confondrait ainsi avec celle de la pauvreté. Nous avons à disposition quatre indicateurs du NESDB (à partir des enquêtes socio-économiques du NSO de 1998 et de 2000)) pour nous éclairer sur une évaluation du niveau de vie :

- le revenu mensuel moyen des foyers en 2000,
- le pourcentage de changement du revenu entre 1998 et 2000,
- le pourcentage de l'incidence de la pauvreté,
- le pourcentage de foyers endettés.

La géographie de l'indicateur des revenus, qui fait la moyenne de ces quatre variables à l'échelle des provinces, se confond avec les incidences moyennes de la leptospirose de 2000 à 2005 (graphique 50). La corrélation avec la leptospirose est la plus solide parmi les indicateurs proposés par le NESDB avec un coefficient de $-0,52$ ($p < 0,05$). La carte de l'indice du revenu montre nettement les provinces les plus pauvres identifiées précédemment (Atlas - carte 3.4).



Graphique 50 : Nuage de points entre l'incidence moyenne de la leptospirose entre 2000 et 2005 et l'indice des revenus

Les populations tombent malades de la leptospirose parce qu'elles sont plus vulnérables que les autres et pas forcément parce qu'il y a plus de rongeurs porteurs de leptospires. La vulnérabilité, plus que l'aléa, semble le facteur déterminant des épidémies.

Malgré tout, depuis 2002 et la reprise économique qui s'affirme, une mutation profonde du secteur agricole se dessine avec l'émergence des grands groupes producteurs de semences ou des groupes de l'agroalimentaire qui commencent à mettre la main sur le monde agricole. Certains paysans se retrouvent totalement encadrés par ces industries, et s'orientent vers des productions spécialisées, telles les céréales (et en particulier le maïs), l'élevage (poulets et porcs surtout) ou la pisciculture (crevettes ou poissons dans des bassins creusés au milieu des rizières). La mécanisation s'annonce rapide avec un réseau de commerce de tracteurs qui s'élabore depuis 2006. Ces observations

récentes permettent d'envisager une évolution sociale des populations agricoles. La main d'œuvre agricole et ainsi les populations exposées aux agents infectieux du sol et de l'eau sont susceptibles de se réduire.

La prévention de la transmission des zoonoses par les rongeurs a eu un rôle fondamental dans le contrôle des épidémies



Figure 29 : La plus vieille image du joueur de flûte, copiée sur le vitrail d'une église de Goslar

Dans le conte du joueur de flûte de Hamelin, notamment transcrit par les frères Grimm d'une légende allemande, un homme fut appelé pour dératiser la ville (figure 29). Du son de sa flûte, il entraîna les rats hors de la ville jusqu'à la rivière Weser où ils se noyèrent. Bien que la ville fût ainsi libérée des rongeurs, les habitants revinrent sur leur promesse et refusèrent de payer le joueur de flûte. De retour quelques semaines plus tard, il se vengea ; en jouant de nouveau de sa flûte, il attira cette fois les enfants de Hamelin jusqu'à une grotte, qui se referma derrière eux.

Le joueur de flûte incarnait sans doute le rêve, de voir la ville d'Hamelin se libérer de cette « peste » grâce à un pouvoir mystérieux. Se débarrasser des rongeurs n'est pas envisageable tant pour une question de faisabilité que pour une question de légitimité environnementale ou d'équilibre des écosystèmes.



Ce poison à rat utilisé dans les champs a été fabriqué en Chine pour le marché thaïlandais.

Figure 30 : Poison pour rats utilisé dans les campagnes

La dératization se pratique aujourd'hui en milieu urbain, dans des bâtiments d'où l'on repousse les rongeurs ou dans des quartiers où l'on va diminuer la taille des populations sans pour autant qu'elles ne disparaissent. En milieu rural, le contrôle des populations de rongeurs serait difficile et nuisible aux écosystèmes. Il n'a ainsi jamais été envisagé en Thaïlande. Certains paysans prennent l'initiative de déposer du poison à rats dans leurs parcelles, comme nous avons pu le constater en retrouvant des emballages dans les champs (figure 30). Une telle action menée localement est probablement inefficace. D'autres chassent ou posent des pièges pour protéger leurs parcelles.

La prévention a plutôt ciblé l'arrêt du processus de transmission, en limitant les contacts entre les hommes et les rongeurs et en empêchant toute contamination dans un milieu infecté. Dès l'explosion de l'épidémie de leptospirose et considérant la prévalence non négligeable du typhus des broussailles, le Ministère de la santé s'est engagé dans des campagnes de sensibilisation à la protection face aux rongeurs, comme il le fait principalement pour les moustiques.

Le MOPH a rapidement établi des campagnes de prévention sur l'ensemble du pays grâce au relais des hôpitaux et des dispensaires de campagne. Il a tout d'abord informé sur les modes de transmission de la leptospirose et du typhus des broussailles en éditant des brochures et en placardant des panneaux sur les axes stratégiques des régions épidémiques (photo 47). Il a ensuite tenu des réunions publiques d'information, qui ont généralement lieu dans les dispensaires et

auxquelles la population participe réellement. Le MOPH a conseillé aux populations d'éviter tout contact avec l'eau des champs, en portant des bottes, des gants et en se lavant les mains et les pieds régulièrement. Dans tous les villages, des bottes et des gants sont en vente dans les épiceries. Cette campagne semble avoir été fructueuse à en juger par la majorité de paysans qui travaille avec des bottes malgré les difficultés que cela présente.



Photo : Herbreteau V.

« Wang Saphung, engagé dans la lutte contre la leptospirose : portez des bottes dans les champs, gardez votre maison propre pour éviter les infections » (traduction : Sudcha P., Herbreteau V.)

Photo 47 : Panneau posé par le Ministère de la santé thaïlandais à Wang Saphung, province de Loei

Le Ministère de la santé a aussi préconisé l'utilisation de pailles pour boire à la bouteille, dans une canette ou même un verre, devant le risque qu'ils aient été souillés dans les entrepôts. Ces conseils ont largement été suivis sur l'ensemble du pays. La campagne de prévention a aussi concerné les plus jeunes par l'intermédiaire des écoles où les instituteurs ont enseigné la chanson de la leptospirose. Sur une mélodie et un texte simples, ils ont appris aux enfants comment se protéger avant d'aller dans les champs (figure 31).

เพลงโรคเลปโตสไปโรซิส

เลปโตสไปโรซิส ฟังซึกนิตแล้วจะเข้าใจ
โรคนี้นิใช่โรคนิใหม่ จากฉี๊ว ควาย หมู หมู นั้นเอง
ใส่บู๊ทลยน้ำขึ้นมา ล้างมือล้างขา ล้างเท้าตัวเอง
อย่าคิดว่าตัวเราเก่ง โรคนาหัวนเกรง เลปโตสไปโรซิส

Leptospirose, écoutez cette chanson
et vous comprendrez
Cette maladie n'est pas nouvelle,
elle se cache dans l'urine des bœufs, des buffles,
des rats ou des cochons
N'oubliez pas de porter des bottes
lorsque vous allez aux champs,
de vous laver les mains, les jambes et les pieds
Ne pensez pas que votre corps est fort,
elle peut l'être plus que vous, leptospirose

Source : MOPH, traduction : Sudcha P., Herbreteau V.)

Figure 31 : « Chanson leptospirose », pour sensibiliser les plus jeunes au risque d'infection

Les campagnes de prévention du Ministère de la santé semblent très efficaces et elles ont du avoir un réel impact dans la réduction du nombre de cas à partir de 2000. Nous n'avons aucun moyen de juger de leur efficacité si ce n'est ces observations que nous avons pu en faire. Ainsi, de nombreux enfants des villages nous ont chanté la leptospirose lorsque nous expliquions pourquoi nous piéignons les rongeurs et nous n'avons pas grand-chose à leur apprendre.



Conclusion générale :

1997 - 2006, regard sur les dix ans d'épidémie de leptospirose et sur le risque sanitaire des rongeurs pour l'Homme

L'émergence de la leptospirose en Thaïlande s'est illustrée par une croissance exponentielle des enregistrements de 1997 à 2000. Depuis, le nombre de cas enregistrés annuellement est retombé et semble s'être stabilisé. La montée en puissance de l'épidémie a probablement plusieurs explications, liées à l'environnement mais aussi aux connaissances acquises par le système de soins, soudainement confronté à une maladie peu connue.

Les changements environnementaux globaux (déforestation, urbanisation) et locaux (alternance des cultures et pratiques agricoles) perturbent les équilibres entre les populations de rongeurs et peuvent entraîner la prolifération de certaines espèces. Une pullulation de rongeurs vecteurs de leptospires, probablement *Bandicota indica*, peut avoir été à l'origine de l'émergence de la leptospirose chez l'Homme à partir de 1997, comme cela a été observé pour les épidémies d'hantaviruses sur d'autres continents. L'envolée spectaculaire du nombre de cas de 1997 à 2000 s'explique aussi par le mode d'infection des vecteurs rongeurs. Les contacts fréquents entre individus d'une même espèce favorisent la transmission des leptospires. Lorsque quelques individus sont infectés, la communauté se trouve rapidement positive avec un taux croissant de manière exponentielle. La transmission à d'autres espèces est d'autant plus probable qu'une famille est entièrement infectée. Bien qu'il n'y ait pas de contacts entre des individus d'espèces différentes, la transmission de germes pathogènes peut avoir lieu indirectement sur les passages empruntés par les rongeurs. En effet, les rongeurs privilégient pour se déplacer des voies bien délimitées comme les bordures de champs. Ils y déposent des gouttelettes d'urine pour marquer leur passage et y reniflent celles des autres rongeurs qui les ont précédés pouvant s'infecter par conséquent. L'infection se répercute alors exponentiellement sur d'autres communautés. Lorsque la prévalence est forte dans les communautés de vecteurs, le risque d'infection est alors très grand pour l'Homme.



D'autre part, avant 1996, les médecins de proximité ne savaient pas diagnostiquer la leptospirose dont les rares cas ont été identifiés par des analyses dans les gros hôpitaux. Le Ministère de la santé a peu à peu formé son personnel au diagnostic de la leptospirose ce qui a probablement résulté en une surestimation du nombre réel de cas, les symptômes pouvant être aisément confondus avec ceux des autres fièvres que sont le typhus des broussailles ou la dengue par exemple. Dix ans plus tard, l'incidence enregistrée par le système de soins est certainement plus proche de la réalité de l'épidémie. Un réseau d'analyses est désormais en place pour confirmer les cas suspects en laboratoire. Parallèlement le Ministère de la santé a mené une campagne conséquente de prévention de la transmission des zoonoses par les rongeurs. Elle a sensibilisé les populations rurales aux modes de transmission de la leptospirose et du typhus des broussailles. Les paysans se sont protégés en portant des bottes et parfois des gants lorsqu'ils sont dans les champs durant la saison des pluies. La prévention a certainement eu un grand rôle dans le recul de la leptospirose dès 2000 et du typhus des broussailles dès 2001.

L'émergence de la leptospirose dans le Nord-Est thaïlandais et l'ampleur des épidémies qui ont suivi ont désigné cette région comme le territoire des rats, celle où ils font partie du quotidien des populations, à tel point qu'ils les mangent et en tombent malades. Pourtant, les mêmes espèces de rongeurs se retrouvent dans d'autres régions et peuvent tout aussi bien être porteuses de germes pathogènes transmissibles à l'Homme. Nous avons pu analyser que la région nord-est se démarque nettement des autres par sa pyramide des âges encore triangulaire, par ses populations à forte dominance agricole, par ses terres peu fertiles où l'on pratique généralement la monoculture, et par ses faibles revenus. Le Nord-Est est la région pauvre de la Thaïlande, celle où le système de soins répond à un recours plus limité alors que les besoins sont sans doute plus grands. C'est la région où des germes pathogènes comme les leptospires ont pu trouver les conditions favorables à leur transmission et multiplication. Les populations vivent au contact de la terre, de l'eau et de la faune sauvage. Ils s'exposent en chassant et mangeant les petits rongeurs sans toutefois prendre les mesures d'hygiène pour garantir leur protection sanitaire.

En collaboration et à la demande du Ministère de la santé, nous avons élaboré une cartographie des enregistrements de la leptospirose et du typhus des broussailles pour suivre dans l'espace et le temps l'évolution des ces maladies. Ceci nous a permis de comprendre la dynamique spatio-temporelle de ces épidémies et d'identifier des indicateurs du risque de la transmission de la leptospirose. Des cartes synthétiques, mises à disposition du personnel de santé thaïlandais, devraient aider à faire comprendre l'épidémiologie de la leptospirose et d'anticiper les cycles saisonniers. La proximité des rongeurs à l'Homme, qu'ont illustrée les épidémies de leptospirose et de typhus des broussailles, doit éveiller sur le risque latent de transmission d'autres agents pathogènes, et en particulier des virus. La présence d'Hantavirus chez les rongeurs et l'absence de diagnostic chez l'Homme suggèrent que nous ne connaissons pas leur réelle incidence. Il existe un risque latent d'émergence d'hantaviruses, comme cela a pu être le cas sur d'autres continents. Une meilleure connaissance de la dynamique des rongeurs et des pathogènes qu'ils transmettent demeure une priorité pour de futures recherches.

Bibliographie

I. GEOGRAPHIE DE LA SANTE	238
A. Géographie – Géographie de la santé – Epidémiologie.....	238
B. Applications des Systèmes d’Information Géographique en santé.....	241
C. Applications de la télédétection en santé : références générales	247
D. Applications de la télédétection en santé : études de cas	250
E. Applications de la télédétection en santé animale	256
F. Techniques de la télédétection : références générales	257
G. Techniques de la télédétection : les indices de végétation.....	258
II. RONGEURS ET ZOONOSES	259
A. Rongeurs	259
B. Zoonoses transmises par les rongeurs	268
1. Références générales	268
2. Babésiose	269
3. Bartonella	269
4. Bilharziose	269
5. Borréliose	270
6. Echinococcose.....	270
7. Hantaviroses et arénaviroses	270
8. Hépatite E.....	272
9. Leishmaniose	272
10. Leptospirose	272
11. Mélioirose.....	277
12. Peste	279
13. Rage	279
14. Rickettsioses.....	280
15. SRAS.....	280
16. Toxoplasmose et trypanosomiasis.....	280
17. Typhus des broussailles.....	281
18. Viroses (autres)	282
III. THAÏLANDE.....	283
A. Thaïlande : références générales.....	283
B. Thaïlande : santé publique	284
IV. Autres.....	285

I. GÉOGRAPHIE DE LA SANTÉ

A. Géographie – Géographie de la santé – Epidémiologie

- AMAT-ROZE J.M. Les sociétés humaines et leur environnement face aux risques climatiques, *Médecine et maladies infectieuses*, 1999, 29, 5, 277-284.
- ANCELLE T. *Statistique Epidémiologie*. Paris : Maloine, 2002, 300 p.
- AMSTRONG M.P., RUSHTON G., ZIMMERMAN D.L., Geographical masking health data to preserve confidentiality, *Statistic in Medicine*, 1999, 18, 497-525 p.
- ARON J., PATZ J., *Ecosystem change and public health, a global perspective*, Baltimore and London: John Hopkins University Press, 2001, 480 p.
- AUDIBERT M. Statistiques sanitaires et indicateurs de santé dans les pays en voie de développement, *Revue d' Epidémiologie et de Santé Publique*. 1982, 30, 437-450.
- BARRETT F.A. Disease and geography, the history of an idea, *Geographical Monograph*, n°23, Toronto: Beker Associates, 2000, 571 p.
- BAUDON D., ROBERT V., DARRIET F., HUERRE M., Impact de la construction d'un barrage avec retenue d'eau sur la transmission du paludisme, *B. Soc. Pathol. Exot.*, 1986, 79, 123-129.
- BEAGLEHOLE R., BONITA R., KJOLLSTRÖM T., *Eléments d'épidémiologie*, Genève : OMS, 1994, 182 p.
- BEGUIN M., PUMAIN D., *La représentation des données géographiques, statistiques et cartographie*. Paris : Colin, 1994, 192 p.
- BERTIN J., *Sémiologie graphique, les diagrammes, les réseaux, les cartess*, 3ème éd. Paris : Les réimpressions, EHESS, , 1998, 431 p.
- BLAIKIE P., CANNON T., DAVIS I., WISNER B., *At risk: natural hazards, people' vulnerability and disasters*, London: Routledge, 1994.
- BOUREE P., *Examens de laboratoire en médecine tropicale*, Paris : Masson, 1987, 151 p.
- BOUYER J., *Méthodes statistiques. Médecine-Biologie*. Paris : INSERM, 1996.
- BOUYER J. et al., *Epidémiologie. Principes et méthodes quantitatives*. Paris : INSERM, 1993.
- BUCKERIDGE D.L. et al. Making health data maps: a case study of a community/university research collaboration. *Social Science and Medicine*, 2002, 55, 1189-1206.
- CALLON M., LASCOUMES P., BARTHE Y., *Agir dans un monde incertain*, Paris : Le Seuil, 2001.
- CLIFF A.D., HAGGETT P., ORD J.K., VERSEY G.R. *Spatial diffusion: an historical geography of epidemiologies in an island community*, New-York: Cambridge University Press, 1981. 237 p.
- CLIFF A.D., HAGGETT P., ORD J.K., *Spatial aspects of Influenza epidemics*. London: Pion, 1986. 280 p.
- CURTIS S., GESLER W., SMITH G., WASHBURN S., Approaches to sampling and case selection in quantitative research: examples in the geography of health, *Social Science and Medicine*, 2000, 50, 1001-1014.
- CZERNICHOW P., CHAPERON J., LE CONTOUR X. *Epidémiologie, connaissances et pratiques*, Paris : Masson, 2001, 437 p.
- DABIS F., DRUCKER J., MOREN A. Du bon usage des taux d'épidémiologie, *Cahiers Santé*, 1991, 1, 141-143.
- DESJEUX P. The increase in risk factors for leishmaniasis worldwide, *Transaction of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 2001, 95, 239-243.
- DOUMENGE J.P. A propos des maladies à transmission hydrique: peut-on articuler utilement les recherches réalisées en milieu rural et dans le monde urbain, In. SALEM G., JEANNEE E. éd., 1989, *Urbanisation et santé dans le Tiers-Monde*, Paris, ORSTOM, Coll. Colloques et séminaires, 83-86.

- DRUCKER J., MOREN A., DABIS F. Les différents types d'enquête épidémiologique, *Cahiers Santé*, 1992, 2, 49-54.
- ELLIOTT P., CUZICK J., ENGLISH D., STERN R., *Geographical and Environmental epidemiology: methods for small-area studies*, Oxford University Press, Oxford, 1992, 382 p.
- EPSTEIN P.R., *Climate, ecology, and human health. Consequence*, 1997, 3(2):3-19.
- FASSIN D., BROUSSELLE C. Les enquêtes d'accès aux soins en Afrique : Problèmes méthodologiques, *Revue d'Epidémiologie et de Santé Publique*, 1991, 39, 89-99 p.
- FLEURY H.J.A., *Virologie humaine*, 3^{ème} édition. Paris : Masson, 1999, 205 p.
- FOWLER C.W., *Sustainability, Health, and the Human Population*, *EcoHealth*, 2005, 2(1), 58-69.
- GATRELL A.C., *Geography of health, an introduction*, Oxford: Blackwell Publishers, 2002, 294 p.
- GENTILINI M. *Médecine tropicale*, Flammarion, Paris : Médecine/Sciences, 1996, 928 p.
- GIBSON A., ASTHANA S., BRIGHAM P., MOON G., DICKER J., *Geographies of need and the news NHS: methodological issues in the definition and the measurement of the health needs of local populations*, *Health and Place*; 2002, 8, 47-60.
- GLASS G. et al. *Spatial aspects of epidemiology: the interface with medical geography*, *Epidemiologic Reviews*, 2000, 22, 1, 136-139.
- HAGGETT P. *Geography, a modern synthesis*, 3rd ed. University of Bristol: Harper and Row, 1979, 627 p.
- HAGGETT P. *L'analyse spatiale en géographie humaine*. Paris : Colin, 1973, 360 p.
- HERVOUET J.P., HANDSCHUMACHER P., PARIS F., SALEM G., *De la géographie des grandes endémies à la géographie de la santé et à la géographie tout court : vingt ans de travaux de l'ORSTOM en Afrique*, *Espace, populations, sociétés*, 1995, 1, 59- 65.
- HOWE G.M., *A world geography of human diseases*, Londres, Academic Press, 1980, 621 p.
- HUGIER M, FLAHAULT A. *Biostatistiques au quotidien*, Paris : Elsevier, 2000, 204 p.
- JAMMAL A., ALLARD R., LOSLIER G. *Dictionnaire d'épidémiologie*, Paris EDISEM, 1988, 171 p.
- JAYET H. *Analyse spatiale quantitative, une introduction*. Paris: Economica, 1993, 202 p.
- JONES K., MOON G., *Health, disease and society, an introduction to medical geography*, London: Routledge and Kegan Paul, 1987, 376 p.
- KEARNS R., GESLER W. *Putting health into place, landscape, identity and well-being*. New-York: Syracuse University Press, 1998, 339 p.
- KOLSKY P.J., BLUMENTHAL U.J. *Environmental health indicators and sanitation-related disease in developing countries: limitations to the use of routine data sources*, *World Health Statistics Quarterly, health and environment analysis and indicators for decision making*, Geneva: WHO, 1995, 48, 2, 132-139.
- KOOPMAN J.S., LONGINI I.M. *The ecological effects of individual exposures and nonlinear disease dynamics in populations*, *American Journal of Public Health*, 1994, 84, 836-842.
- LAHOUSSE P., PIEDANNA V. *L'outil statistique en géographie*, Tome I : *Les distribution à une dimension*. Paris : Colin, 1998, 98 p.; Tome II : *L'analyse bivariée*, Paris : Colin, 1999, 95 p.
- LAFOND A.K., BROWN L., MACINTYRE K., *Mapping capacity in the health sector: a conceptual framework*, *Int. J. Health Planning Manag.*, 2002, 17, 3-33.
- LEGGAT P.A., GOLDSMID J.M., *Dictionary of tropical medicine for health professionals*. Australia: Australasian College of Tropical Medicine publications, 2001, 80 p.
- LITVA A., EYLES J., *Coming out : exposing social theory in medical geography*, *Health and Place*, 1995, 1, 1, P. 5-14.
- MARTIN D., WRIGLEY H., BARNETT S. RODERICK P., *Increasing the sophistication of access measurement in a rural healthcare study*. *Health and Place*, 2002, 8, 3-13.
- MAYER D.J., *Geography, ecology and emerging diseases*, *Social Science and Medicine*, 2000, 50, 937-952.
- Mc LEOD K.S., *Our sense of SNOW: the myth of John SNOW in medical geography*, *Social Science and Medicine*, 2000, 50, 923-935.

- MEADE M.S., EARICKSON R.J., *Medical Geography*, London: Guilford Press, 2000, 501 p.
- MEADE M., FLORIN J., GESLER W., *Medical geography*, New York: Guilford Press, 1988, 340 p.
- MOHAN J.F., *Explaining geographies of health care: a critique*, *Health and Place*, 1998, 4, 2, 113-124.
- MOON G., *Risk and protection: the discourse of confinement in contemporary mental health policy*, *Health and Place*, 2000, 6, 239-250.
- OFFNER J.M., PUMAIN D. *Réseaux et territoires, significations croisées*, Editions de l'aube, 1996, chap. 1-4, 6.
- ORGANISATION PANAMERICAINE DE LA SANTE, *La Standardisation: Une Méthode Épidémiologique Classique pour la Comparaison des Taux*, 2002, 23(3):1-5.
- PAKA E., *Espace, système de soins et santé dans le sud de la république du Congo (Région du Kiliou et du Niari)*, Thèse de doctorat, Géographie de la Santé, Nanterre Paris X, 1998.
- PEREZ S. *Modélisation et discontinuité : les grands modèles d'organisation de l'espace et leur application aux frontières*. *Hommes et Terres du Nord*, 2000, 3, 149-156.
- PERRY B., GESLER W., *Physical access to primary health care in Andean Bolivia*. *Social Science and Medicine*, 2000, 50, 1177-1188.
- PICHERAL H., *Complexes et systèmes pathogènes : Approche géographique*, In *De l'épidémiologie à la géographie humaine*, *Travaux et Documents en géographie tropicale*, 48, 1983, 5-22.
- PICHERAL H., *Géographie*, In *Santé Publique*, BRÜCKER G., FASSIN D. (Ed.), Paris : Ellipses, 1989, 88-109.
- PICHERAL H., *Géographie de la transition épidémiologique*, *Annales de Géographie*, 1989, 98, 129-178.
- PICHERAL H., *Le lieu, l'espace et la santé*, *Espace, populations, sociétés*, 1995, 1, 19-24.
- PICHERAL H., *Risques et inégalités de santé : de la salubrité à l'équité*, *Hérodote*, 1999, 92, 50-68.
- PICHERAL H., *Dictionnaire raisonné de géographie de la santé*, Montpellier : Université de Montpellier, GEOS, 2001, 308 pp.
- PINCHEMEL P., PINCHEMEL G. *La face de la Terre, éléments de géographie*, 2^{ème} éd. Paris : Colin, 1992, 519 p.
- POWELL M., *On the outside looking in: medical geography, medical geographers and access to health care*, *Health and Place*, 1995, 1, 1, 41-50.
- PRELAZ-DROUX R. *Système d'information et gestion du territoire, approche systémique et procédure de réalisation*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 1995, P. 156.
- PROST A., *Maladies infectieuses : nouveau destin, nouveaux concepts*, *Espaces Populations, Sociétés, Maladies émergentes et reviviscentes*, 2000, 2, 159-166.
- PROST A., *De la maladie à la santé : individu, société, environnement et culture*, *Cahiers Santé*, 1995, 5, 331-333.
- PROTHERO R.M., *Disease and mobility: a neglected factor in epidemiology*, *Int. J. Epidemiol.*, 1977, 6, 259-267.
- PUMAIN D., SAINT JULIEN T. *Analyse spatiale, tome I: localisations dans l'espace*, Paris : Colin, 1997, 167 p.
- PUMAIN D. (Ed.) *Spatial analysis and population dynamics*. Montrouge: John Libbey Eurotext, INED, 1992, 457 p.
- RICAN S., *La cartographie des données en épidémiologie, les principales méthodes de discrétisation et leur importance dans la représentation cartographique*, *Cahiers Santé*, 1998, 8, 461-470.
- RUMEAU ROQUETTE C., BLONDEL B., KAMINSKI M., BREARD G., *Epidémiologie, méthodes et pratiques*, Flammarion, Paris, 1993, P. 312.
- SALEM G., *Géographie de la santé, santé de la géographie*, *Espaces, populations, sociétés*, 1995, 1, 25-30.
- SANDERS L. *Modèles en analyse spatiale*. Paris : HERMÈS, 2001, 333 p.

- SPEAR R.C., HUBBARD A., LIANG S., SETO E., Disease Transmission Models for Public Health Decision Making: Toward an Approach for Designing Intervention Strategies for Schistosomiasis japonica. *Environ. Health Perspectives* 2002, 110, 9, 908-915.
- STAMP L.D., *Geography of life and death*, London: Collins, 1964, 160 p.
- THOMAS R., *Geomedical system, Intervention and Control*, London: Routledge, 1992, 314 p.
- TWIGG L., MOON G., Predicting small area health related behaviour: a comparison of multilevel synthetic and local survey data. *Social Science and Medicine*, 2002, 54, 931-937.
- VIGNERON E., La géographie de la santé : un agenda qui se précise, *Espaces, populations, sociétés*, 1995, 1, 31-41.
- WENNBERG J., GITTELSON A., Variation in medical care among small areas. *Sci. Am.*, 1992, 246, 4, 120-134.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, Linkage methods for environment and health analysis, general guidelines. A report of the Health and Environment Analysis for Decision-making (HEADLAMP) project. Geneva: WHO, 1996, 136 p.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, Health and Environment in Sustainable Development: Five years after the Earth Summit. Geneva: WHO, 1997. 245 p.

B. Applications des Systèmes d'Information Géographique en santé

- ABDEL-RAHMAN M.S., EL BAHY M.M., MALONE J.B., THOMPSON R.A., EL BAHY N.M., Geographic information systems as a tool for control program management for schistosomiasis in Egypt. *Acta Tropica*, 2001, 79, 49-57.
- ALEXANDER F.E., BOYLE P. (Eds.), *Methods for investigating localised clustering of disease*, Lyon: IARC, 1996, 247 p.
- ALI M., WAGATSUMA Y., EMCH M., BREIMAN R.F., Use of a geographic information system for defining spatial risk for dengue transmission in Bangladesh: role for *Aedes albopictus* in an urban outbreak. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 2003, 69, 634-640.
- AMAT-ROZE J.M., HOTYAT M., FOTSING J.M., L'analyse spatio-temporelle appliquée aux maladies à transmission vectorielle liées à l'eau. In WICHEREK S., *De la cellule au paysage*, Paris : Elsevier UNESCO, 2000.
- ARNAUD M., EMERY X., *Estimation et interpolation spatiale - méthodes déterministes et méthodes géostatistiques*. Paris : Hermès Science Publications, 2000, 221 p.
- BAKER R.D., Identifying space-time disease clusters. *Acta trop.*, 2004, 91, 3, 291-299.
- BARROZO SIMÕES L., BAGAGLI E., Scanning *P. Brasiliensis* through remote sensing and GIS: New approaches to an old epidemiological problem. Belo Horizonte, Brazil: Proceeding XI SBSR, INPE, 2003, 1457-1459.
- BAVIA M.E., HALE L.F., MALONE J.B., BRAUD D.H., SHANE S.M., Geographic Information Systems and the environmental risk of schistosomiasis in Bahia, Brazil. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1999, 60, 4, 566-572.
- BERNARDI M., Linkages between FAO agroclimatic data resources and the development of GIS models for control of vector-borne diseases. *Acta tropica*, 2001, 79, 1, 21-34.
- BESIO M., RAMELLA A., BOBBE A., COLOMBO A., OLVIERI C., PERSANO M., Risk maps: theoretical concepts and techniques, *J. Hazard. Mater.*, 1998, 61, 299-304.
- BITHELL J.F., A classification of disease mapping methods, *Statistics in Medicine*, 2000, 19, 2203-2215.
- BITHELL J.F., An application of density estimation to geographical epidemiology, *Statistics in medicine*, 1990, 9, 691-701.
- BOCQUET APPEL J.P., COURGEAU D., PUMAIN D., *Spatial Analysis of biodemographic data*, Paris: John Libbey Eurotext, 1996, 367 p.

- BOELAERT M., ARBYN M., VAN DER STUYFT P., Geographical Information System, gimmick or tool for health district management? *Trop. Med. Int. Health*, 1998, 3, 3, 163-165.
- BRABYN L., SKELLY C., Modeling population access to New Zealand public hospitals, *Int. J. Health Geographics*, 2002, 1, 3, 9 p.
- BRODY J.G., ASCHENGRAU A., MCKELVEY W., RUDEL R.A., SWARTZ C.H., KENNEDY T., Breast Cancer Risk and Historical Exposure to Pesticides from Wide-Area Applications Assessed with GIS. *Environ. Health Persp.*, 2004, 112, 8, 889-897.
- BROOKER S., MICHAEL E., The potential of geographical information systems and remote sensing in the epidemiology and control of human helminth infections. *Adv. Parasit.*, 2000, 47, 245-288.
- BROOKER S., ROWLANDS M., HALLER L., SAVIOLI L., BUNDY D.A.P., Towards an atlas of human helminth infection in sub-Saharan Africa: The use of geographical information systems. *Parasitol. Today*, 2000, 16, 7, 303-307.
- BROOKER S., HAY S., BUNDY A., Tools from ecology: useful for evaluating infection risk models? *Trends in parasitology*, 2002, 18, 2, P. 70-74.
- BROWNSTEIN J.S., HOLFORD T.R., FISH D., A Climate-Based Model Predicts the Spatial Distribution of the Lyme Disease Vector *Ixodes scapularis* in the United States. *Environ. Health Persp.*, 2003, 111, 9, 1152-1157.
- BROWNSTEIN J.S., HOLFORD T.R., FISH D., Effect of Climate Change on Lyme Disease Risk in North America. *EcoHealth*, 2005, 2(1), 38-46.
- BULLEN N., MOON G., JONES K., Defining localities for health planning: a GIS approach, *Social Science and Medicine*, 1996, 42, 6, 801-816.
- BURROUGH P.A., Mc DONNEL R., Principles of geographical information systems, New-York: Oxford, 1998, 333 p.
- CHADEE D.D., KITRON U., Spatial and temporal patterns of imported malaria cases and local transmission in Trinidad. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1999, 61, 4, 513-517.
- CIFUENTES E., RODRIGUEZ S., Urban Sprawl, Water Insecurity, and Enteric Diseases in Children from Mexico City, *EcoHealth*, 2005, 2(1), 70-75.
- CLARKE K.C., Mc LAFFERTY S.L., TEMPALSKI B.J., On Epidemiology and Geographic Information Systems: A Review and Discussion of Future Directions. *Emerg. Inf. Dis.*, 1996, 2, 2, 85-92.
- CLAWSON M., Land use information committee on land use statistics, resources for the future, Baltimore: The John Hopkins Press, 1965.
- CROMLEY E.K., Mc LAFFERTY S.L., GIS and Public Health, London: Guilford Press, 2002, 340 p.
- CRONER C.M., SPERLING J., BROOME F.R., Geographic information systems (GIS): New perspectives in understanding human health and environmental relationships. *Stat. in Med.* 1996, 15, 1961-1977.
- CURTIS S.E., The development of GIS for locality planning in health care, *Area*, 1989, 21, 4, 391-399.
- De LEPPER M.J.C., SCHOLTEN H.J., STERN R.M., The added value of geographical information systems in public and environmental health. Dordrecht: Kluwer academic publishers, 1995, 355 p.
- DUNN C.E., KINGHAM S.P., ROWLINGSON B., BHOPAL R.S., COCKINGS S., FOY C.J.W., ACQUILLA S.D., HALPIN J, DIGGLE P., WALKER D., Analysis of spatially referenced public health data; a comparison of three methodological approaches, *Health and Place*, 2001, 7, 1-12.
- ELLIOTT P., WAKEFIELD J.C., BEST N.G., BRIGGS D.J., Spatial epidemiology, methods and applications, New-York: Oxford, 2000, 475 p.
- ELLIOTT P., WARTENBERG D., Spatial Epidemiology: Current Approaches and Future Challenges. *Environ. Health Persp.*, 2004, 112, 9, 998-1006.
- FERRÁNDIZ J., ABELLÁN J.J., GÓMEZ-RUBIO V., LÓPEZ-QUÍLEZ A., SANMARTÍN P., CARLOS ABELLÁN C., MARTÍNEZ-BENEITO M.A., MELCHOR I., VANACLOCHA H., ZURRIAGA O., BALLESTER F., GIL J.M., PÉREZ-HOYOS S., OCAÑA R., Spatial Analysis of the Relationship between Mortality from Cardiovascular and Cerebrovascular Disease and Drinking Water Hardness. *Environ. Health Persp.*, 2004, 112, 9, 1037-1044.

- GATRELL A., GIS and health: from spatial analysis to spatial decision support. In: CRAGLIA M., ONSRUD H. (Eds.), *Geographic information research: transatlantic perspectives*, London: Taylor and Francis, 1999, 143-158.
- GATRELL A., SENIOR M., Health and healthcare applications. In: LONGLEY P., MAGUIRE D. J., GOODCHILD M. F. RHIND D. (Eds.), *Geographical information systems: principles and applications*, New-York: John Wiley, 1999, 925-938.
- GATRELL A.C., BAILEY T.C., Interactive spatial data analysis in medical geography, *Social Science and Medicine*, 1996, 42, 6, 843-855.
- GESLER W., The uses of spatial analysis in medical geography: a review, *Social Science and Medicine*, 1986, 23, 10, 963-973.
- GESLER W., The use of spatial analysis in medical geography: A review. *Soc. Sci. and Med.*, 1986, 23, 963-973.
- GETHING P.W., NOOR A.M., ZUROVAC D., ATKINSON P.M., HAY S.I., NIXON M.S., SNOW R.W., Empirical modelling of government health service use by children with fevers in Kenya. *Acta trop.*, 2004, 91, 3, 227-237.
- GLASS G.E., MORGAN J.M., JOHNSON D.T., NOY P.M., ISRAEL E., SCHWARTZ B.S., Infectious disease epidemiology and GIS: A case study of Lyme disease. *Geo Info Systems*, 1992, 2, 65-69.
- GLASS G.E., SCHWARTZ B.S., MORGAN J.M., JOHNSON D.T., NOY M.P.M., ISRAEL E., Environmental risk factors for Lyme disease identified with geographic information systems. *Am. J. Pub. Health*, 1995, 85, 944-948.
- HASSAN A.N., DISTER S., BECK. L., Spatial analysis of lymphatic filariasis distribution in the Nile Delta in relation to some environmental variables using geographic information system technology. *J. Egypt. Soc. Parasitol.*, 1998, 28, 1, 119-131.
- HAY S., OMUMBO J.A., CRAIG M.H., SNOW R.W., Earth observation, geographic information systems and *Plasmodium falciparum* Malaria in Sub-Saharan Africa. *Adv. Parasit.*, 2000, 47, 173-215.
- HERBRETEAU V., GONZALEZ J.P., KHAUNGAEW K., SALEM S., JANEAU J.L., Agricultural changes, water quality and health: investigating the health status of populations living in an agricultural irrigated area, using spatial analysis, in Phrae province, Thailand. *International Journal of Geoinformatics*, 2006, 2(4):23-28.
- HIGGS G., Researching applications of geographical information systems in health: an introduction, *Health and Place*, 2002, 8, 1, 1-2.
- HIGHTOWER A.W., KLINE R.E., Building a Geographic Information System, Public Health Infrastructure for Research and Control of Tropical Diseases, *Emerg. Infect. Dis.*, 1995, 1, 4.
- HIGHTOWER A.W., OMBOK M., OTIENO R., ODHIAMBNO R., OLOO A.J., LAL A.A., NAHLEN B.L., HAWLEY W.A., A geographic information system applied to a malaria field study in western Kenya. *Am. Soc. Trop. Med. Hyg.*, 1998, 58, 3, 266-272.
- HIGHTOWER A.W., KLEIN R.E., Building a geographic information system (GIS) public health infrastructure for research and control of tropical diseases. *Emerg. Infect. Dis.*, 1995, 1, 156-157.
- HUNGERFORD L.L., Use of spatial statistics to identify and test significance in geographic disease patterns. *Prev. Vet. Med.*, 1991, 11, 237-242.
- JACQUEZ G., The map comparison problem: tests for the overlap of geographic boundaries. *Statistics in Medicine*, 1995, 14, 2343-2361.
- JARUP L., Health and Environment Information Systems for Exposure and Disease Mapping, and Risk Assessment. *Environ. Health Persp.*, 2004, 112, 9, 995-997.
- JEANNE I., Paludisme et schistosomose : deux exemples d'utilisation des SIG et de la télédétection à Madagascar. *Bull. Soc. Pathol. Exot.*, 2000, 93, 3, 208-214.
- KAMEL BOULOS M., ROUDSARI A., CARSON E., Health geomatics: an enabling suite of technologies in health and healthcare. *J. biomed. Inform.*, 2001, 34, 3, 195-219.
- KAWABATA M., NIHEI N., OHMAE H., ISHII A., LEAFASIA J., Application of landscape analysis to malaria transmission study on Guadalcanal, Solomon Islands. *Malaria Research in the Solomon Islands*, A. Ishii, N. Nihei, and M. Sasa (Eds.). Tokyo: Inter Group Corporation, 1998, 147-151.

- KEARNS R.A., JOSEPH A.E., Space in its place: Developing the link in medical geography. *Soc. Sci. Med.*, 1993, 37, 711-717.
- KELSALL J.E., DIGGLE P., Non-parametric estimation of spatial variation in relative risk, *Statistics in Medicine*, 1995, 14, 2335-2342.
- KING P.E., Problems of spatial analysis in geographical epidemiology. *Soc. Sci. and Med.*, 1979, 13D, 249-252.
- KISTERMANN T., DANGENDORF F., SCHEIKART J., New perspectives on the use of Geographical Information System in environmental health sciences, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2002, 205, 169-181.
- KITRON U., Landscape ecology and epidemiology of vector-borne diseases: Tools for spatial analysis. *J. Med. Entomol.* 1998, 35, 4, 435-445.
- KITRON U., Risk maps: Transmission and burden of vector-borne diseases. *Parasitol. Today*, 2000, 16, 8, 324-325.
- KITRON U., BOUSEMAN J.K., JONES C.J., Use of ARC/INFO GIS to study the distribution of Lyme disease ticks in an Illinois county. *Prev. Vet. Med.*, 1991, 11, 243-248.
- KITRON U., KAZMIERCZAK J.J., Spatial analysis of the distribution of Lyme disease in Wisconsin. *Am. J. Epidem.*, 1997, 145, 6, 558-566.
- KITRON U., PENER H., COSTEN C., Geographic information system in malaria surveillance: Mosquito breeding and imported cases in Israel, 1992. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1994, 50, 550-556.
- KOBAYASHI M., NIHEI N., KURIHARA T., Analysis of northern distribution of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in Japan by geographical information system. *J. Med. Entomol.*, 2002, 39, 1, 4-11.
- KOCH T., DENIKE K., GIS approaches to the problem of disease clusters: a brief commentary, *Social Science and Medicine*, 2001, 52, 1751-1754.
- LAVEISSIERE C., MEDA A.H., Incidence de la maladie du sommeil et densité des campements de culture en forêt de Côte d'Ivoire : possibilité de prédiction des zones à risques pour la mise en place précoce d'un réseau de surveillance. *Trop. Med. Int. Health*, 1999, 4(3), 199-206.
- LIN G., ZHANG T., A method for testing low-value spatial clustering for rare diseases. *Acta tropica*, 2004, 91(3), 279-289.
- LINDSAY S.W., PARSON L., THOMAS C.J., Mapping the ranges and relative abundance of the two principal African malaria vectors, *Anopheles gambiae sensu stricto* and *An. arabiensis*, using climate data. *Proc. Royal Soc. Lond. B. Biol. Sci.*, 1998, 265(1399), 847-854.
- LONGLEY P.A., GOODCHILD M.F., MAGUIRE D.J., RHIND D.R., *Geographic Information, systems and science*, Chichester: Wiley, , 2001, 454 p.
- LONGLEY P.A., GOODCHILD M.F., MAGUIRE D.J., RHIND D.W., *Geographical information systems, vol. 1 : Principles and technical issues, vol. 2 : Management issues and applications*, New-York: Wiley, 1999, 1101 p.
- LOTHROP H.D., REISEN W.K., A geographical information system to manage mosquito and arborivirus surveillance and control data in the Coachella valley of California. *J. Am. Mosq. Contr. Assoc.* 1999, 15(3), 299-307.
- LOVETT A., HAYNES R., SUNNENBERG G. GALE S., Car travel time and accessibility by bus to general practitioner services: a study using patient registers and GIS. *Social Science and Medicine*. 2002, 55, 97-111.
- MALONE J.B., ABDEL-RAHMAN M.S., EL BAHY M.M., HUH O.K., SHAFIK M., BAVIA M., Geographic information systems and the distribution of *Schistosoma mansoni* in the Nile delta. *Parasitol Today*, 1997, 13(3), 112-119.
- MAYER J.D., The role of spatial analysis and geographic data in the detection of disease causation. *Soc. Sci. Med.*, 1983, 17, 1213-1221.
- MCGINN T.J., COWEN P., WRAY D.W., Geographic information systems for animal health management and disease control. *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 1996, 209, 1917-1921.

- MELNICK A., Introduction to Geographic Information Systems in Public Health, Gaithersburg: ASPEN Publishers, 2002, 300 pp.
- MICHEL V., de la ROQUE S., MICHEL J.F., de WISPELAERE G., TOURE I., AUGUSSEAU X., CUISANCE D., Modélisation de « paysages épidémiologiquement dangereux par télédétection et SIG, évaluation du risque trypanosomien pour le bétail dans la zone de Sidéradougou (Burkina Faso). L'information géographique, 2001, 2, 73-80.
- MINAKAWA N., MUTERO C.M., GITHURE J.I., BEIER J.C., AND YAN G., Spatial distribution and habitat characterization of anopheline mosquito larvae in Western Kenya. Am. J. Trop. Med. Hyg., 1999, 61, 1010-1016.
- MONCAYO A., EDMAN J., *et al.*, Application of geographic information technology in determining risk of eastern equine encephalomyelitis virus transmission. J. Am. Mosq. Contr. Assoc., 2000, 16, 28-35.
- MOORE D., CARPENTER T., Spatial analytical Methods and GIS: Use in Health research and epidemiology. Epidemiologic Reviews, 1999, 21, 2, 143-161.
- MYERS M.F., ROGERS D.J., COX J., FLAHAULT A., HAY S.I., Forecasting disease risk for increased epidemic preparedness in public health. Adv. Parasit., 2000, 47, 309-330.
- NICHOLSON M.C., MATHER T.N., Methods for evaluating Lyme disease risks using geographic information systems and geospatial analysis. J. Med. Entomol., 1996, 33, 711-720.
- NOOR A.M., ZUROVAC D., HAY S.I., OCHOLA S.A., SNOW R.W., Defining equity in physical access to clinical services using geographical information systems as part of malaria planning and monitoring in Kenya. Trop. Med. Int. Health, 2003, 8(10), 917-926.
- NOOR A.M., GIKANDI P.W., HAY S.I., MUGA R.O., SNOW R.W., Creating spatially defined databases for equitable health service planning in low-income countries: the example of Kenya. Acta Tropica, 2004, 91(3), 239-251.
- NUCKOLS J.R., WARD M.H., JARUP L., Using Geographic Information Systems for Exposure Assessment in Environmental Epidemiology Studies. Environ. Health Persp. 2004, 12(9), 1007-1015.
- NUTTALL I., O'NEILL K., MEERT J.P., Systèmes d'information géographique et lutte contre les maladies tropicales, Médecine tropicale, 1998, 58, 3, 221-227.
- OPENSHAW S., Geographical information systems and tropical diseases, T. Roy. Soc. Trop. Med. H., 1996, 90, 337-339.
- PARKER E.B., CAMPBELL J.L., Measuring access to primary medical care: some examples of the use of geographical information systems. Health and Place, 4, 2, 183-193.
- PLEYDELL D.R.J., RAOUL F., TOURNEUX F., DANSON F.M., GRAHAM A.J., CRAIG P.S., GIRAUDOUX P., Modelling the spatial distribution of Echinococcus multilocularis infection in foxes. Acta trop., 2004, 91(3), 253-265.
- POULSTRUP A. HANSEN H.L., Use of GIS and Exposure Modeling as Tools in a Study of Cancer Incidence in a Population Exposed to Airborne Dioxin. Environ. Health Persp., 2004, 112(9), 1032-1036.
- PYLE G.F., Mapping tuberculosis in the Carolinas. Sistema Terra, 1994, III, 22-23.
- QUESNEL A., QUESNEL B., BAUTERS F., VIGNERON E., BEUSCART R., La géographie de la santé et la planification sanitaire avec le système d'informations médicales. Informatique et santé, 1998, 10, 98-106.
- RICHARDS F.O., Use of geographic information systems in control programs for onchocerciasis in Guatemala. Bull. Pan. Am. Hlth. Org., 1993, 27, 52-55.
- RICHARDS T.B., CRONER C.M., RUSHTON G., BROWN C.B., FOWLER L., Geographic information systems and public health: mapping the future. Public Health Reports, 1999, 114, 359-372.
- RICHARDSON S., THOMSON A., BEST N., ELLIOTT P., Interpreting Posterior Relative Risk Estimates in Disease-Mapping Studies. Environ. Health Persp., 2004, 112(9), 1016-1025.
- ROBINSON T.P., Spatial statistics and geographical information systems in epidemiology and public health. Adv. Parasit., 2000, 47, 81-128.

- RYTKÖNEN M.J.P., 2004. Not all maps are equal: GIS and spatial analysis in epidemiology. *Int. J. of Circumpolar Health* 63(1):9-24
- SELVIN S., MERRIL D., SCHULMAN J., SACKS S., BEDELL L., WONG L., Transformations of maps to investigate clusters of disease, *Social Science and Medicine*, 1988, 26, 2, 215-221.
- SANSON R.L., MORRIS R.S., LIBERONA H., The use of a geographical information system for the management of foot-and-mouth disease epidemic. *Prev. Vet. Med.*, 1991, 11, 308-314.
- SHELLENBERG J.A., NEWELL J.N., SNOW R.W., MUNG'ALA V., MARSCH K., SMITH P.G., HAYES R.J., An analysis of the geographical distribution of severe malaria in children in Kilifi District, Kenya. *Int. J. Epidemiol.*, 1998, 27, 323-329.
- SCHOLTEN H.J., de LEPPER M.J.C., The benefits of the applications of GIS in public and environment health. *World Health Statistics Quarterly*, 1991, 44, 3, 160-170.
- SHARMA V.P., SRIVASTAVA A., Role of geographic information system in malaria control. *Ind. J. Med. Res.*, 1997, 106, 164-173.
- SITHIPRASASNA R., LINTHICUM K.J., LIU G.J., JONES J.W., SINGHASIVANON P., Use of GIS-based spatial modeling approach to characterize the spatial patterns of malaria mosquito vector breeding habitats in northwestern Thailand. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*, 2003, 34(3):517-28.
- SU M.D., CHANG N.T., Framework for application of geographic information systems to the monitoring of dengue vectors. *Kao-Hsiung i Hsueh Ro Hsueh Tsa Chih Kaohsiung J. Med. Sci.*, 1994, 10, 94-101.
- TANSER F.C., The application of GIS technology to equitably distribute fieldworker workload in a large, rural South African health survey. *Trop. Med. Int. Health*, 2002, 7, 1, 80-90.
- TANSER F.C., LE SUEUR D., The application of geographical information systems to important public health problems in Africa. *Int. J. Health Geographics*, 2002, 1, 4, 9.
- TEMPALSKI B.J., The case of Guinea worm: GIS as a tool for the analysis of disease control policy. *Geog. Info Sys.*, 1994, 4, 32-38.
- THOMSON M.C., CONNOR S.J., The development of malaria early warning systems for Africa. *Trends in Parasitol.*, 2001, 17, 9, 438-445.
- THOMSON M.C., CONNOR S.J., *Malaria Early Warning Systems: Concepts, Indicators and Partners*. Geneva: WHO/CDS/Roll Back Malaria, 2001, 32, 80 p.
- THOMSON M.C., CONNOR S.J., Environmental information systems for the control of arthropod vectors of disease. *Med. Vet. Entomol.*, 2000, 14, 227-244.
- THOMSON M., CONNOR S., O'NEILL K., MEERT J-P. 2000. Environmental Information for Prediction of Epidemics. *Parasitol Today* 16(4): 137-138
- TIM U.S., The application of GIS in environmental health sciences: Opportunities and limitations. *Env. Res.*, 1995, 71, 75-88.
- TWIGG L., Health based geographical information systems: Their potential examined in light of existing data sources. *Soc. Sci. Med.*, 1990, 30, 143-155.
- TIM U.S., The application of GIS in Environmental Health Sciences: opportunities and limitations. *Environmental Research*, 1995, 71, 75-88.
- TWIGG L., Health based geographical information systems: their potential examined in the light of existing data sources, *Social Science and Medicine*, 1990, 30, 1, 143-155.
- VERKASALO P.K., KOKKI E., PUKKALA E., VARTIAINEN T., KIVIRANTA H., PENTTINEN A., PEKKANEN J., Cancer Risk Near a Polluted River in Finland. *Environ. Health Persp.* 2004, 112, 9, 1026-1031.
- VAGUET A., Du bon usage de l'analyse spatiale et de l'évaluation territoriale dans les politiques sanitaires, *Natures Sciences Sociétés*. 2001, 9, 4, 36-42.
- WALL P.A., DEVINE O.J., Interactive analysis of the spatial distribution of disease using a geographic information system, *J. of Geogr. Sys.*, 2000, 2, 243-256.
- WALLER L.A., Epidemiologic uses of GIS, *Statistics in Epidemiology Report*. 1996, 3, 1, 1-7.

- WALLER L.A., Geographic Information systems and environmental health, Health and Environmental Digest. 1996, 9, 10, 85-88.
- WARD M., NUCKOLS J., WEIGEL S., MARXELL S., CANTOR K., MILLER R., Geographic information system. A new tool in environmental epidemiology, Ann. Epidemiol., 2000, 10, 7, 477.
- WRIGHT D., GOOLCHILD M., PROCTOR J., Demystifying the persistent ambiguity of GIS as “tool” versus “science”, The annals of the Association of the American Geographers, 1997, 87, 2, 346-362.
- ZUKOWSKI S.H., HILL J.M., JONES F.W., MALONE J.B., Development and validation of a soil-based geographic information system model of habitat of *Fossaria bulimoides*, a snail intermediate host of *Fasciola hepatica*. Prev. Vet. Med., 1991, 11, 201-220.
- ZWARENSTEIN M., KRIGE D., WOLFF B., The use of a geographical information system for hospital catchment area research in Natal/Zulu. S. African Med. J., 1991, 80, 497-500.

C. Applications de la télédétection en santé : références générales

- ARAMBULO P.V., ASTUDILLO V., Perspectives on the application of remote sensing and geographic information system to disease control and health management. Prev. Vet. Med. 1991, 11, 345-352.
- BAKER R.D., Identifying space-time disease clusters. Acta tropica. 2004, 91(3), 291-299.
- BARINAGA M., Satellite data rockets disease control efforts into orbit. Science, 1993, 261, 31-32.
- BARNES C.M., An historical perspective on the applications of remote sensing to public health. Prev. Vet. Med., 1991, 11, 163-166.
- BARNES C.M., CIBULA W.G., Some implications of remote sensing technology in insect control programs including mosquitoes. Mosq. News, 1979, 39, 271-282.
- BARNES C.M., FULLER C.E., SCHNEIDER H.J., KENNEDY E.E., MORRISON D.R., JONES H.G., Applications of remote sensing in public health. Proc. Int. Symp. Remote Sensing Environ., Ann Arbor, MI, 2-6/10/1972.
- BECK L.R., LOBITZ B.M., WOOD B.L., Remote sensing and human health: New sensors and new opportunities. Emerg. Infect. Dis., 2000, 6(3), 217-227.
- BECK L.R., WOOD B.L., DISTER S.W., Remote sensing and GIS: New tools for mapping human health. Geo. Info. Systems, 1995, 5(9), 32-37.
- BERGQUIST N.R., Vector-borne parasitic diseases: new trends in data collection and risk assessment. Acta Tropica, 2001, 79(1), 13-20.
- BOS R., Application of remote sensing. Parasitol. today, 1990, 6, 39.
- BRADY J., Seeing flies from space. Nature, 1991, 351, 695.
- CHUCALIN A., NOVIKOV Y., Urban eco-epidemiology with satellite. Sistema Terra, 1994, III, 18-20.
- CLINE B.L., New eyes for epidemiologists: Aerial photography and other remote sensing techniques. Am. J. Epidem., 1970, 92, 85-89.
- CNES. Satellites et suivi des épidémies. In CNES qui se passe ? – Dossier extrait du journal interne du CNES. Paris: CNES, 2001.
- CONNOR S.J., FLASSE S.P., PERRYMAN A.H., THOMSON M.C., The contribution of satellite derived information to malaria stratification, monitoring and early warning. World Health Organization WHO/MAL/97. 1997, 1079.
- CONNOR S.J., THOMSON M.C., FLASSE S.P., PERRYMAN A.H., Environmental information systems in malaria risk mapping and epidemic forecasting. Disasters, 1998, 22(1), 39-56.
- CONNOR S.J., Malaria in Africa: The view from space. Biologist, 1999, 46(1), 22-25.
- CONNOR S.J., THOMSON M.C., MOLYNEUX D.H., 1999. Forecasting and prevention of epidemic malaria: New perspectives on an old problem. Parasitologia 41:439-448.

- CORBLEY K.P., Epidemiologists track virus-bearing mosquitoes. *GIS World*, 1996, 9(3), 52-57.
- CURRAN P.J., ATKINSON P.M., FOODY G.M., MILTON E.J., Linking remote sensing, land cover and disease. *Adv. Parasit.*, 2000, 47, 37-80
- DALE P.E., RITCHIE S.A., TERRITO B.M., MORRIS C.D., MUHAR A., KAY B.H., An overview of remote sensing and GIS for surveillance of mosquito vector habitats and risk assessment. *J. Vector Ecol.*, 1998, 23(1), 54-61.
- DEERING, D.W., ROUSE, J.W., HAAS, R.H., SCHELL J.A., , Measuring forage production of grazing units from Landsat MSS data, *Proceedings of Tenth International Symposium on Remote Sensing of Environment*. Ann Arbor, ERIM, 2, 1975, 1169-1178.
- EPSTEIN P.R., Health applications of remote sensing and climate modeling. *The Earth Observer*, 1995, 7-10.
- EPSTEIN P.R., Health applications of remote sensing and climate modeling. In *People and Pixels: Linking remote sensing and social science*. National Academy Press, 1998, 197-207.
- EPSTEIN P.R., ROGERS D.J., SLOOFF R., Satellite imaging and vector-borne disease. *The Lancet*, 1993, 341, 1404-1406.
- GEWIN V., Disease control: virtual plagues get real. *Nature*, 2004, 427, 774-775.
- GOETZ S.J., PRINCE S.D., SMALL J., Advances in satellite remote sensing of environmental variables for epidemiological applications. *Adv. Parasit.*, 2000, 47, 289-307.
- GRAHAM A.J., ATKINSON P.M. DANSON F.M., Spatial analysis for epidemiology. *Acta tropica*, 2004, 91(3), 219-225.
- GREEN R.M., HAY S.I., The potential of Pathfinder AVHRR data for providing surrogate climatic variables across Africa and Europe for epidemiological applications. *Remote Sens. Environ.* 2002, 79(2-3), 166-175.
- HACKER C.S., ROBERTS D.R., Public health applications of satellite remote sensing. *Sistema Terra Year*, 1994, III, 34-36.
- HAY S., TUCKER C., ROGERS D., PACKER M., Remotely sensed surrogates of meteorological data for the study of the distribution and abundance of arthropod vectors of disease. *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, 1996, 90(1), 1-19.
- HAY S.I., PACKER M.J., ROGERS D.J., The impact of remote sensing on the study and control of invertebrate intermediate hosts and vectors for disease. *Int. J. Remote Sens.*, 1997, 18(14), 2899-2930.
- HAY S.I., Remote sensing and disease control: Past, present and future. *Trans. Royal Soc. Trop. Med. Hyg.*, 1997, 91, 105-106.
- HAY S.I., LENNON J.J., Deriving meteorological variables across Africa for the study and control of vector-borne disease: A comparison of remote sensing and spatial interpolation of climate. *Trop. Med. Int. Health*, 1999, 4(1), 58-71.
- HAY S.I., An overview of remote sensing and geodesy for epidemiology and public health application. *Adv. Parasit.*, 2000, 47, 1-35.
- HERBRETEAU V., SALEM G., SOURIS M., HUGOT J-P., GONZALEZ J-P., Sizing up human health through Remote Sensing: uses and misuses. *Parassitologia*, 2005, 47, 1, 63-79.
- HERBRETEAU V., SALEM G., SOURIS M., HUGOT J.P., GONZALEZ J.P., Thirty years of use and improvement of remote sensing, applied to epidemiology: from early promises to lasting frustration. *Health and Place*, 2007, 13(2):400-403.
- HOTYAT M., Remote sensing and combining data with the objective of struggling against pathogens. *Médecine et Maladies Infectieuses*, 1999, 29, 5, 314-317.
- HOTYAT M., Intérêt de la télédétection et de la fusion de données pour lutter contre les agents pathogènes. *Médecine et maladies infectieuses*, 1999, 29, 5, 314-317.
- HUGH-JONES M., Applications of remote sensing to the identification of the habitats of parasites and disease vectors. *Parasitol. Today*, 1989, 5(8), 244-251.

- HUGH-JONES M., Satellite imaging as a technique for obtaining disease-related data. *Revue Scientifique et Technique de l'Office International Epizooties*, 1991, 10, 197-204.
- HUH O.K., MALONE J.B., New tools: Potential medical applications of data from new and old environmental satellites. *Acta Tropica*, 2001, 79, 35-47.
- JAMES M.E., KALLURI S.N.V., 1994. The pathfinder AVHRR land data set – an improved coarse resolution data set for terrestrial monitoring. *Int J Remote Sens*; 15:3347-3363.
- JOVANOVIC P., Satellite technology and the control of environmental diseases. In *Space Policy*, 1987, 3(2), 149-150.
- JOVANOVIC P., Remote sensing of environmental factors affecting health. *Adv. Space Res.*, 1987, 7(3), 11-18.
- JOVANOVIC P., Satellite remote sensing imagery in public health. *Acta Astronautica*, 1987, 15, 951-953.
- KLEINER K., Satellites wage war on disease. *New Scientist*, 1995, 148, 9.
- LAWLESS J.G., Remote sensing: An innovative tool for achieving global human health. *Space Times*, 1994, 3-5.
- LINTHICUM K.J., BAILEY C.L., ANGLEBERGER D.R., CANNON T., LOGAN T.M., GIBBS P.H., TUCKER C.J., NICKESON J., Towards real-time prediction of Rift Valley fever epidemics in Africa. *Prev. Vet. Med.*, 1991, 11, 325-334.
- MALONE J.B., BERGQUIST N.R., HUH O.K., et al., A global network for the control of snail-borne disease using satellite surveillance and geographic information systems. *Acta Tropica*, 2001, 79, 7-12.
- MANGUIN S., BOUSSINESQ M., Remote sensing in public health: applications to malaria and other diseases. *Médecine et Maladies Infectieuses*, 1999, 29(5), 318-324.
- PATZ J., Satellite remote sensing can improve chances of achieving sustainable health. *Environ. Health Persp.*, 2005, 113(2), A84-A85.
- RILEY J.R., Remote sensing in entomology. *Ann. Rev. Entomol.*, 1989, 34, 247-271.
- ROCHON H.S., RANDALL A., BREKKEN D., PARSONS M., Combination of laboratory research and remote sensing applications toward mitigation of trypanosomiasis in Africa. *Proc. International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2002.
- RUSH M., VERNON S., Remote sensing and urban public health. *Photogram. Eng. Rem. S.*, 1975, 41, 1149-1155.
- SANNIER C.A.D., TAYLOR J.C., CAMPBELL K., Compatibility of FAO-ARTEMIS and NASA Pathfinder AVHRR Land NDVI data archives for the African continent. *Int. J. Remote sens.* 1998, 19(17), 3441-3450.
- SCHOFIELD C.J., Remote sensing: No escape for the elusive vectors? *TDR News* 33:11.
- SENIOR K., Satellites spy on infectious disease. *The Lancet Infectious Diseases*, 2002, 2(4), 200.
- TATEM A.J., HAY S.I., Measuring Urbanization Pattern and Extent for Malaria Research: A Review of Remote Sensing Approaches. *J. Urban Health*, 2004, 81, 363-376.
- PETERSON A.T., BAUER J.T., MILLS J.N., Ecologic and geographic distribution of Filovirus disease. *Emerg. Inf. Dis.*, 2004, 10(1), 40-47.
- TRAVIS J., Spying diseases from the sky: Satellite data may predict where infectious microbes will strike. *Sci. News*, 1997, 152(5), 72-73.
- WASHINO R.K., WOOD B.L., Application of remote sensing to vector arthropod surveillance and control. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1993, 50, 134-144.
- WOOD B.L., BECK L.R., LAWLESS J.G., VESECKY J.F., Preliminary considerations for a small satellite to monitor environmental change associated with vector-borne disease. *J. Imaging Science Tech.*, 1992, 36, 431-439.
- WOOD B.L., BECK L.R., DISTER S.W., SPANNER M.A., The global monitoring and disease prediction program. *Sistema Terra*, 1994, III, 38-39.

WOOD B.L., BECK L.R., LOBITZ B.M., BOBO M.R., Education, outreach and the future of remote sensing in human health. *Adv. Parasit.*, 2000, 47, 332-344.

D. Applications de la télédétection en santé : études de cas

ABEKU T.A., HAY S.I., OCHOLA S.A., LANGI P., BEARD B., DE VLAS S.J., COX J., Malaria epidemic early warning and detection in African highlands. *Trends Parasitol.*, 2004, 20(9), 400-405.

AHEARN S.C., DE ROOY C., Monitoring the effects of dracunculiasis remediation on agricultural productivity using satellite data. *Int. J. Remote Sens.*, 1996, 17, 917-929.

ANYAMBA A., LINTHICUM K.J., MAHONEY R., TUCKER C.J., KELLEY P.W., Mapping potential risk of Rift Valley Fever outbreaks in African savannas using vegetation index time series data. *Photogramm. Eng. Rem.*, 2002, S68(2), 137-145.

BAKER R.H.A., ABDLNUR O.M., Localized onchocerciasis vector control in the Bahr El Ghazal Region of south-western Sudan. I. Precontrol. *Trop. Med. Parasitol.*, 1986a, 37, 135-142.

BAKER R.H.A., ABDLNUR O.M., Localized onchocerciasis vector control in the Bahr El Ghazal Region of south-western Sudan. II. Control. *Trop. Med. Parasitol.*, 1986b, 37, 135-142.

BAVIA M.E., MALONE J.B., HALE L., DANTAS A., MARRONI L., REIS R., Use of thermal and vegetation index data from earth observing satellites to evaluate the risk of schistosomiasis in Bahia, Brazil. *Acta Tropica*, 2001, 79, 79-85.

BEASLEY M., BROOKER S., NDINAROMTAN M., MADJIOUROUM E.M., BABOGUEL M., DJENGUINABE E., BUNDY D.A.P., First nationwide survey of the health of schoolchildren in Chad. *Trop. Med. Int. Health*, 2002, 7(7), 625-630.

BECK L.R., RODRIGUEZ M.H., DISTER S.W., RODRIGUEZ A.D., REJMANKOVA E., ULLOA A., MEZA R.A., ROBERTS D.R., PARIS J.F., SPANNER M.A., WASHINO R.K., HACKER C., LEGTERS L.J., Remote Sensing as a landscape epidemiologic tool to identify villages at high risk for malaria transmission. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1994, 51(3), 271-280.

BECK L.R., RODRIGUEZ M.H., DISTER S.W., RODRIGUEZ A.D., WASHINO R.K., ROBERTS D.R., SPANNER M.A., Assessment of a Remote Sensing-based model for predicting malaria transmission risk in villages of Chiapas, Mexico. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1997, 56(1), 99-106.

BOONE J.D., MCGWIRE K.C., OTTESON E.W., DE BACA R.S., KUHN E.A., VILLARD P., BRUSSARD P.F., ST JEOR S.C., Remote Sensing and Geographic Information Systems: Charting Sin Nombre Virus Infections in Deer Mice. *Emerg. Infect. Dis.*, 2000, 6(3), 248-258.

BROOKER S., HAY S.I., ISSAE W., HALL A., KIHAMIA C.M., LWAMBO N.J.S., WINT W., ROGERS D.J., BUNDY D.A.P., Predicting the distribution of urinary schistosomiasis in Tanzania using satellite sensor data. *Trop. Med. Int. Health*, 2001, 6(12), 998-1007.

BROOKER S., BEASLEY M., NDINAROMTAN M., MADJIOUROUM E.M., BABOGUEL M., DJENGUINABE E., HAY S.I., BUNDY D.A.P., Use of remote sensing and a geographic information system in a national helminth control programme in Chad. *Bull. World Health Organ.*, 2002, 80, 783-789.

BROOKER S., HAY S.I., TCHUEM TCHUENTÉ L-A., RATARD R., Using NOAA AVHRR data to model human helminth distributions in planning disease control in Cameroon, West Africa. *Photogramm. Eng. Rem.*, 2002, S68(2), 175-179.

BROOKER S., Schistosomes, snails, and satellites. *Acta Tropica*. 2002, 84, 209-216.

BROOKER S., HAY S.I., BUNDY D.A.P., Tools from ecology: Useful for evaluating infection risk models? *Trends in Parasitol.*, 2002, 18, 70-74.

BROOKER S., HAY S.I., TCHUENTE L.T., RATARD R., Using NOAA-AVHRR data to model human helminth distributions on planning disease control in Cameroon, West Africa. *Photogram. Eng. Remote Sensing*, 2002, 68(2), 175-179.

BROOKER S., SINGHASIVANON P., WAIKAGUL J., SUPAVEJ S., KOJIMA S., TAKEUCHI T., LUONG T.V., LOOAREESUWAN S., Mapping soil-transmitted helminths in Southeast Asia and implications for parasite control. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*, 2003, 34(1), 24-36.

- BROOKER S., CLARKE S., NJAGI J.K., POLACK S., MUGO B., ESTAMBALE B., MUCHIRI E., MAGNUSSEN P., COX J., Spatial clustering of malaria and associated risk factors during an epidemic in a highland area of western Kenya. *Trop. Med. Int. Health*, 2004, 9(7), 757-766.
- BRYCESON K.P., WRIGHT D.E., An analysis of the 1984 Locust plague in Australia using multitemporal Landsat Multispectral data and a simulation model of Locust development. *Agr. Ecosys. Environ.*, 1986, 16, 87-102.
- BURT P.J.A., COLVIN J., SMITH S.M., Remote sensing of rainfall by satellite as an aid to *Oedaleus senegalensis* (Orthoptera: Acrididae) control in the Sahel. *Bul. Entomol. Res.*, 1995, 85, 455-462.
- CALVETE C., ESTRADA R., LUCIENTES J., ESTRADA A., Ectoparasite ticks and chewing lice of red-legged partridge, *Alectoris rufa*, in Spain. *Med. Vet. Entomol.*, 2003, 17(1), 33-37.
- CHEN S., HU J., Geo-ecological zones and endemic diseases in China - A sample study by remote sensing. *Prev. Vet. Med.*, 1991, 11, 235-244.
- CLABORN D.M., MASUOKA P.M., KLEIN T.A., HOOPER T., LEE A., ANDRE R.G., A cost comparison of two malaria control methods in Kyunggi Province, Republic of Korea, using remote sensing and geographic information systems. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 2002, 66, 680-685.
- CLARKE K.C., OSLEEB J.R., SHERRY J.M., MEERT J.P., LARSSON R.W., 1991. The use of remote sensing and geographic information systems in UNICEF's dracunculiasis (Guinea worm) eradication effort. *Prev Vet Med* 11: 229-235
- CROSS E.R., PERRINE R., SHEFFIELD C., PAZZAGLIA L.T.G., 1984. Predicting areas endemic for schistosomiasis using weather variables and a Landsat data base. *Military medicine* 149: 542-4
- CROSS E.R., NEWCOMB W.W., TUCKER C.J., 1996. Use of weather data and remote sensing to predict the geographic and seasonal distribution of *Phlebotomus papatasi* in southwest Asia. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 54(5), 530-536.
- DALE P.E.R., MORRIS C.D., *Culex annulirostris* breeding sites in urban areas: using remote sensing and digital image analysis to develop a rapid predictor of potential breeding areas. *J. Am. Mosquito Contr. Ass.*, 1996, 12(2), 316-320.
- DANIEL M., KOLAR J., Using satellite data to forecast the occurrence of the common tick *Ixodes ricinus*. *J. Hyg. Epidem. Microbiol. Immunol.*, 1990, 34(3), 243-252.
- DANIEL M., KOLAR J., ZEMAN P., PAVELKA K., SADLO J., Predictive map of *Ixodes ricinus* high-incidence habitats and a tickborne encephalitis risk assessment using satellite data. *Experimental & Applied Acarology*, 1998, 22, 417-433.
- DANIEL M., KOLAR J., ZEMAN P., PAVELKA K., SADLO J., Tickborne encephalitis and Lyme borreliosis: comparison of habitat risk assessments using satellite data (an experience from the central bohemian region of the Czech Republic). *Centr. Eur. J. pub. Hlth.*, 1999, 7(1), 35-39.
- DAVIS G.M., WU W.P., CHEN H.G., LIU H.Y., GUO J.G., LIN D.D., LU S.B., WILLIAMS G., SLEIGH A., FENG Z., MC MANUS D.P., A baseline study of importance of bovines for human *Schistosoma japonicum* infections around Poyang Lake, China: villages studied and snail sampling strategy. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 2002, 66, 359-371.
- DISTER S.W., FISH D., BROS S.M., FRANK D.H., WOOD B.L., Landscape characterization of peridomestic risk for Lyme disease using satellite imagery. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 1997, 57(6), 687-692.
- ELNAIEM D.A., SCHORSCHER J., BENDALL A., OBSOMER V., OSMAN M.E., MEKKAWI A.M., CONNOR S.J., ASHFORD R.W., THOMSON M.C., Risk mapping of visceral leishmaniasis: the role of local variation in rainfall and altitude on the presence and incidence of Kala-Azar in Eastern Sudan. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 2003, 68, 10-17.
- ESTRADA-PEÑA A., Geostatistics and remote sensing using NOAA-AVHRR satellite imagery as predictive tools in tick distribution and habitat suitability estimations for *Boophilus microplus* (Acari : Ixodae) in South America. *Vet. Parasitol.*, 1999, 81, 73-82.
- ESTRADA-PEÑA A., Forecasting habitat suitability for ticks and prevention of tick-borne diseases. *Vet. Parasitol.*, 2001, 98(1-3), 111-132.
- ESTRADA-PEÑA A., Increasing habitat suitability in the United States for the tick that transmits Lyme disease: a remote sensing approach. *Environ. Health Persp.*, 2002, 110(7), 635-640.

- FLEETWOOD S.C., CHAMBERS M.D., TERRACINA C., An effective and economical mapping system for the monitoring of *Psorophora columbiae* in rice and fallow fields in south-western Louisiana. Mosq. News, 1981, 41, 174-177.
- FRANCK D.H., FISH D., MOY F.H., Landscape features associated with Lyme disease risk in a suburban residential environment. Landscape Ecology, 1998, 13, 27-36.
- FUENTES M.V., MALONE J.B., MAS-COMA S., Validation of a mapping and prediction model for human fasciolosis transmission in Andean very high altitude endemic areas using remote sensing data. Acta Tropica, 2001, 79, 87-95.
- GEBRE-MICHAEL T., MALONE J.B., BALKEW M., ALI A., BERHE N., HAILU A., HERZI A.A., Mapping the potential distribution of *Phlebotomus martini* and *P. orientalis* (Diptera: Psychodidae), vectors of kala-azar in East Africa by use of geographic information systems. Acta Tropica, 2004, 90(1), 73-86.
- GIDDINGS L.E., Remote sensing for the control of tsetse flies. Technical memorandum, Health Applications Office, Lyndon B. Johnson Space Center, NASA, Texas, USA, 1976.
- GLASS E.G., CHEEK J.E., PATZ J.A., SHIELDS T.M., DOYLE T.J., THOROUGHMAN D.A., HUNT D.K., ENSCORE R.E., GAGE K.L., IRLAND C., PETERS C.J., BRYAN R., Using remotely sensed data to identify areas at risk for Hantavirus Pulmonary Syndrome. Emerg. Infect. Dis., 2000, 6(3), 238-247.
- GLASS G.E., YATES T.L., FINE J.B., SHIELDS T.M., KENDALL J.B., HOPE A.G., PARMENTER C.A., PETERS C.J., KSIAZEK T.G., LI C.S., PATZ J.A., MILLS J.N., Satellite imagery characterizes local animal reservoir populations of Sin Nombre virus in the southwestern United States. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2002, 99:16817-16822.
- GRAHAM A.J., DANSON F.M., GIRAUDOUX P., CRAIG P.S., Ecological epidemiology: landscape metrics and human alveolar echinococcosis. Acta tropica, 2004, 91(3), 267-278.
- GUERRA M., WALKER E., JONES C., PASKEWITZ S., CORTINAS M.R., STANCIL A., BECK L., BOBO M., KITRON U., Predicting the Risk of Lyme Disease: Habitat Suitability for *Ixodes scapularis* in the North Central United States. Emerg. Inf. Dis., 2002, 8 (3), 289-297.
- GUO J.G., VOUNATSOU P., CAO C.L., UTZINGER J., ZHU H.Q., ANDEREGG D., ZHU R., H.E. Z.Y., LI D., HU F., CHEN M.G., TANNER M., A geographic information and remote sensing based model for prediction of *Oncomelania hupensis* habitats in the Poyang Lake area, China. Acta Tropica, 2005, 96(2-3), 213-222.
- HASSAN A.N., BECK L.R., DISTER S., Predictions of villages at risk for filariasis transmission in the Nile delta using remote sensing and geographic information system technologies. J. Egyptian Soc. Parasitol., 1998, 28(1), 75-87.
- HAY S.I., SNOW R.W., ROGERS D.J., From predicting mosquito habitat to malaria seasons using remotely sensed data: Practice, problems and perspectives. Parasitol. Today, 1998a, 14(8), 306-313.
- HAY S.I., SNOW R.W., ROGERS D.J., Predicting malaria seasons in Kenya using multitemporal meteorological satellite sensor data. Trans. Royal Soc. Trop. Med. Hyg., 1998b, 92, 12-20.
- HAY S.I., LENNON J.J., Deriving meteorological variables across Africa for the study and control of vector-borne disease: a comparison of remote sensing and spatial interpolation of climate. Trop. Med. Int. Health, 1999, 4(1), 58-71.
- HAY S.I., RENSHAW M., OCHOLA S.A., NOOR A.M., SNOW R.W., Performance of forecasting, warning and detection of malaria epidemics in the highlands of western Kenya. Trends Parasitol., 2003, 19(9), 394-399.
- HAYES R.O., MAXWELL E.L., MITCHELL C.J., WOODZICK T.L., Detection, identification and classification of mosquito larval habitats using remote sensing scanners in earth-orbiting satellites. Bull. World Health Organ., 1985, 63(2), 361-374.
- HUGH-JONES M., BARRE N., NELSON G., WEHNES C., WARNER J., GARRIS G., HUBBERT W., Remote recognition of *Amblyomma variegatum* habitats in Guadeloupe using Landsat-TM imagery. Acta Vet. Scand., 1988, 259-261.
- HUGH-JONES M., The remote recognition of tick habitats. J. Agric. Entomol., 1991, 8, 309-315.

- HUGH-JONES M., BARRE N., NELSON G., WEHNES K., WARNER J., GARVIN J., Landsat-TM identification of *Amblyomma variegatum* (Acari: Ixodidae) habitats in Guadeloupe. *Remote Sens. Environ.*, 1992, 40(1), 43-55.
- KABATEREINE N.B., BROOKER S., TUKAHEBWA E.M., KAZIBWE F., ONAPA A.W., Epidemiology and geography of *Schistosoma mansoni* in Uganda: implications for planning control. *Trop. Med. Int. Health*, 2004, 9(3), 372-380.
- KITRON U., KAZMIERCZAK J.J., Spatial analysis of the distribution of Lyme disease in Wisconsin. *Am. J. Epidemiol.*, 1993, 145, 558-566.
- KITRON U., OTIENO L.H., HUNGERFORD L.L., ODULAJA A., BRIGHAM W.U., OKELLO O.O., et al., 1996. Spatial analysis of the distribution of tsetse flies in the Lambwe Valley, Kenya, using Landsat TM satellite imagery and GIS. *Journal of Animal Ecology* 65:371-380
- KITRON U., MICHAEL J., SWANSON J., HARAMIS L., 1997. Spatial analysis of the distribution of La Crosse encephalitis in Illinois, using a geographic information system and local and global spatial statistics. *Am J Trop Med Hyg* 54(3):469-475
- KLEINSCHMIDT I., OMUMBO J., BRIËT O., VAN DE GIESEN N., SOGOBA N., MENSAH N.K., WINDMEIJER P., MOUSSA M., TEUSCHER T. 2001. An empirical malaria distribution map for West Africa. *Trop. Med. Int. Health*, 6(10), 779-786.
- KRISTENSEN T.K., MALONE J.B., MC CARROLL J.C., Use of satellite remote sensing and geographic information systems to model the distribution and abundance of snail intermediate hosts in Africa: a preliminary model for *Biomphalaria pfeifferi* in Ethiopia. *Acta Tropica*, 2001, 79, 73-78.
- LINTHICUM K.J., BAILEY C.H., DAVIES F.G., TUCKER C.J., Detection of Rift Valley Fever viral activity in Kenya by satellite remote sensing imagery. *Science*, 1987, 235, 1656-1659.
- LINTHICUM K.J., BAILEY C.L., TUCKER C.J., MITCHELL K.D., LOGAN T.M., DAVIES F.G., KAMAU C.W., THANDE P.C., WAGATEH J.N., Applications of polar-orbiting, meteorological satellite data to detect flooding in Rift Valley fever virus vector mosquito habitats in Kenya. *Med. Vet. Entomol.*, 1990, 4, 433-438.
- LINTHICUM K.J., BAILEY C.H., TUCKER C.J., GORDON S.W., LOGAN T.M., PETERS C.J., et al., Man-made ecological alterations of Senegal River basin on Rift Valley Fever transmission. *Sistema Terra*, 1994, 45-47.
- LINTHICUM K.J., ANYAMBA A., TUCKER C.J., KELLEY P.W., MYERS M.F., PETERS C.J., Climate and satellite indicators to forecast RVF epidemics in Kenya. *Science*, 1999, 285, 397-400.
- LOBITZ B., BECK L., HUQ B., FUCHS G., FARUQUE A.S.G., COLWELL R., Climate and infectious disease: Use of remote sensing for detection of vibrio cholerae by indirect measurement. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 2000, 97(4), 1438-1443.
- LOINTIER M., TRUC P., DRAPEAU L., NANGA S., TAREK M., Méthodologie de détermination de zones à risque de maladie du sommeil en Côte d'Ivoire par approche spatialisée. *Médecine tropicale*, 2001, 61, 390-396.
- MALONE J.B., FEHLER D.P., LOYACANO A.F., ZUKOWSKI S.H., Use of LANDSAT MSS imagery and soil type in a Geographic Information System to assess site-specific risk of Fascioliasis on Red River Basin farms in Louisiana. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1992, 653, 389-397.
- MALONE J.B., HUH O.K., FEHLER D.P., WILSON P.A., WILENSKY D.E., HOLMES R.A., ELMAGDOUB A.I., Temperature data from satellite imagery and the distribution of schistosomiasis in Egypt. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1994, 51(3), 714-722.
- MALONE J.B., ABDEL-RAHMAN M.S., EL BAHY M.M., HUH O.K., SHAFIK M., BAVIA M., Geographic Information Systems and the distribution of *Schistosoma mansoni* in the Nile Delta. *Parasitol. Today*, 1997, 13(3), 112-119.
- MALONE J.B., YILMA J.M., MC CARROLL J.C., ERKO B., MUKARATIRWA S., ZHOU X., Satellite climatology and the environmental risk of *Schistosoma mansoni* in Ethiopia and east Africa. *Acta Tropica*, 2001, 79, 59-72.
- MICHEL V., DE LA ROCQUE S., MICHEL J.F., DE WISPELAERE G., TOURE I., AUGUSSEAU X., CUISANCE D., Modélisation de "paysages épidémiologiquement dangereux" par télédétection et SIG. *L'information géographique*, 2001, 1, 73-80.

- MIRANDA C., MARQUES C.C., MASSA J.L., Satellite remote sensing as a tool for the analysis of the occurrence of American cutaneous leishmaniasis in an urban area of southeastern Brazil. *Rev. Saude Publica*, 1998, 32(5), 455-463.
- MOLONEY J.M., SKELLY C., WEINSTEIN P., MAGUIRE M., RITCHIE S., Domestic *Aedes aegypti* breeding site surveillance: limitations of remote sensing as a predictive surveillance tool. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1998, 59(2), 261-264.
- NJEMANZE P.C., ANOZIE J., IHENACHO J.O., RUSSELL M.J., UWAEZIOZI A.B., Application of risk analysis and Geographic Information System technologies to the prevention of diarrheal diseases in Nigeria. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1999, 61(3), 356-360.
- OMUMBO J.A., HAY S.I., GOETZ S.J., SNOW R.W., ROGERS D.J., Updating historical maps of malaria transmission intensity in East Africa using remote sensing. *Photogramm. Eng. Rem. S.*, 2002, 68(2), 161-166.
- PATZ J.A., Predicting key malaria transmission factors, biting and entomological inoculation rates, using modelled soil moisture in Kenya. *Trop. Med. Int. Health*, 1998, 3(10), 818-827.
- PERRY B.D., KRUSKA R., LESSARD P., NORVAL R.A.I., KUNDERT K., Estimating the distribution and abundance of *Rhipicephalus appendiculatus* in Africa. *Prev. Vet. Med.* 1991, 11, 261-268.
- POPE K.O., SHEFFNER E.J., LINTHICUM K.J., BAILEY C.L., LOGAN T.M., KASISCHKE E.S., BIRNEY K., NJOGU A.R., ROBERTS D.R., Identification of Central Kenyan Rift Valley Virus vector habitats with Landsat TM and evaluation of their flooding status with airborne imaging radar. *Remote Sens. Environ.*, 1992, 40(3), 185-196.
- POPE K.O., REJMANKOVA E., SAVAGE H.M., ARREDONDO-JIMENEZ J.I., RODRIGUEZ M.H., ROBERTS D.R., Remote sensing of tropical wetlands for malaria control in Chiapas, Mexico. *Ecological Applications*, 1993, 4, 81-90.
- RANDOLPH S.E., Climate, satellite imagery and the seasonal abundance of the tick *Rhipicephalus appendiculatus* in southern Africa: a new perspective. *Med. Vet. Entomol.*, 1993, 7, 243-258.
- RANDOLPH S.E., Population dynamics and density dependent seasonal mortality indices of the tick *Rhipicephalus appendiculatus* in eastern and southern Africa. *Med. Vet. Entomol.*, 1994, 8, 351-368.
- RANDOLPH S.E., Ticks and tick-borne disease systems in space and from space. *Adv. Parasit.*, 2000, 47, 217-243.
- RANDOLPH S.E., Epidemiological uses of a population model for the tick *Rhipicephalus appendiculatus*. *Trop. Med. Int. Health*, 1999, 4(9), A34-A42.
- REJMANKOVA E., SAVAGE H., REJMANEK M.H., ROBERTS D.R., ARREDONDO-JIMENEZ J.I., Multivariate analysis of relationships between habitats, environmental factors and occurrence of anophelene mosquito larvae (*Anopheles albimanus* and *A. pseudopunctipennis*) in southern Chiapas, Mexico. *J. Appl. Ecol.*, 1991, 28, 827-841.
- REJMANKOVA E., SAVAGE H., RODRIGUEZ M.H., ROBERTS D.R., REJMANEK M.H., Aquatic vegetation as a basis for classification of *Anopheles albimanus* Wiedermann (Diptera: Culicidae) larval habitats. *Environ. Entomol.*, 1992, 21, 598-603.
- REJMANKOVA E., ROBERTS D.R., PAWLEY A., MANGUIN S., POLANCO J., Predictions of adult *Anopheles albimanus* densities in villages based on distances to remotely sensed larval habitats. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1995, 53(5), 482-488.
- ROBERTS D.R., SAVAGE H., LEGTERS L.J., RODRÍGUEZ M.H., RODRÍGUEZ-RAMÍREZ A., REJMÁNKOVÁ E., POPE K., WOOD B., SALUTE J., Overview of field studies for the application of remote sensing to the study of malaria transmission in Tapachula, Mexico. *Prev. Vet. Med.*, 1991, 11, 269-278.
- ROBERTS D.R., RODRÍGUEZ M.H., The environment, remote sensing, and malaria control. Disease in evolution: Global changes and emergence of infectious diseases. *Ann. New York Acad. Sci.*, 1994, 740, 396-402.
- ROBERTS D.R., PARIS J.F., MANGUIN S., HARBACH R.E., WOODRUFF R., REJMANKOVA E., POLANCO J., WULLSCHLEGER B., LEGTERS L.J., Predictions of malaria vector distribution in Belize based on multispectral satellite data. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1996, 54(3), 304-308.

- ROBINSON T.P., ROGERS D.J., WILLIAMS B., Mapping tsetse habitat suitability in the common fly belt of Southern Africa using multivariate analysis of climate and remotely sensed data. *Med. Vet. Entomol.*, 1997a, 11, 235-245.
- ROBINSON T.P., ROGERS D.J., WILLIAMS B., Univariate analysis of tsetse habitat in the common fly belt of Southern Africa using climate and remotely sensed vegetation data. *Med. Vet. Entomol.*, 1997b, 11, 223-234.
- ROBINSON T.P., Geographic Information Systems and the selection of priority areas for control of tsetse-transmitted trypanosomiasis in Africa. *Parasitol. Today*, 1998, 14(11), 457-460.
- RODRÍGUEZ A.D., RODRÍGUEZ M.H., HERNÁNDEZ J.E., DISTER S.W., BECK L.R., REJMÁNKOVÁ E., ROBERTS D.R., Landscape surrounding human settlements and malaria mosquito abundance in southern Chiapas, Mexico. *J. Med. Entomol.*, 1996, 33(1), 39-48.
- ROGERS D.J., Satellite imagery, tsetse and trypanosomiasis in Africa. *Prev. Vet. Med.*, 1991, 11, 201-220.
- ROGERS D.J., RANDOLPH S.E., Mortality rates and population density of tsetse flies correlated with satellite imagery. *Nature*, 1991, 351, 739-741.
- ROGERS D.J., Remote sensing and the changing distribution of tsetse flies in Africa. *Insects in a Changing Environment*, Eds. Harrington R. and Stork N., 1993, 178-193.
- ROGERS D.J., RANDOLPH S.E., Distribution of tsetse and ticks in Africa, past, present and future. *Parasitol. Today*, 1993, 9, 266-271.
- ROGERS D.J., WILLIAMS B.G., Monitoring trypanosomiasis in space and time. *Parasitology*, 1993, 106, 877-892.
- ROGERS D.J., RANDOLPH S.E., Satellite imagery, tsetse flies and sleeping sickness in Africa. *Sistema Terra*, 1994, III, 40-43.
- ROGERS D.J., HAY S.I., PACKER M.J., Predicting the distribution of tsetse flies in West Africa using temporal Fourier processed meteorological satellite data. *Ann. Trop. Med. Parasit.*, 1996, 90(3), 225-241.
- ROGERS D.J., Satellites, space, time and the African trypanosomiasis. *Adv. Parasit.*, 2000, 47, 129-171.
- ROGERS D.J., RANDOLPH S.E., SNOW R.W., HAY S.I., Satellite imagery in the study and forecast of malaria. *Nature*, 2002, 415, 710-715.
- SERVAT E., LAPETITE J.-M., BADER J.-C., BOYER J.-F., Satellite data transmission and hydrological forecasting in the fight against Onchocerciasis in west Africa. *J. Hydrol.*, 1990, 117(1-4), 187-198.
- SETO E., XU B., LIANG S., GONG P., WU W., DAVIS G., QUI D., GU X., SPEAR R., The use of remote sensing for predictive modeling of schistosomiasis in China. *Photogramm. Eng. Rem. S.*, 2002, 68(2), 167-174.
- SHARMA V.P., NAGPAL B.N., SRIVASTAVA A., ADIGA S., MANAVALAN P., Estimation of larval production in Sanjay lake and his surrounding ponds in Delhi, India using remote sensing technology. *Southeast Asian J. Trop. Med. Publ. Health*, 1996, 27(4), 834-840.
- SHARMA V.P., DHIMAN R.C., ANSARI M.A., NAGPAL B.N., SRIVASTAVA A., MANAVALAN P., ADIGA S., RADHAKRISHNAN K., CHANRASEKHAR M.G., Study of the feasibility of delineating mosquitogenic conditions in and around Delhi using Indian Remote Sensing satellite data. *Indian J. Malariology*, 1996, 33, 107-125.
- THOMAS C.J., LINDSAY S.W., Local-scale variation in malaria infection amongst rural Gambian children estimated by satellite remote sensing. *Transactions of the Royal Society of Trop. Med. Hyg.* 2000, 94, 159-163.
- THOMPSON D.F., MALONE J.B., HARB M., FARIS R., HUH O.K., BUCK A.A., et al., Bancroftian filariasis distribution and diurnal temperature differences in the southern Nile Delta. *Emerg. Infect. Dis.*, 1996, 2, 234-235.
- THOMPSON R.A., DE OLIVEIRA LIMA J.W., MAGUIRE J.H., BRAUD D.H., SCHOLL D.T., Climatic and demographic determinants of American visceral leishmaniasis in northeastern Brazil using remote sensing technology for environmental categorization of rain and region influences on leishmaniasis. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 2002, 67, 648-655.

- THOMSON M.C., CONNOR S.J., MILLIGAN P.J.M., The ecology of malaria -as seen from Earth-observation satellites. *Ann. Trop. Med. Parasit.*, 1996, 90(3), 243-264.
- THOMSON M.C., CONNOR S.J., MILLIGAN P.J.M., FLASSE S.P., Mapping malaria risk in Africa: what can satellite data contribute? *Parasitol. Today*, 1997, 13(8), 313-318.
- THOMSON M.C., OBSOMER V., DUNNE M., CONNOR S.J., MOLYNEUX D.H., Satellite mapping of Loa loa prevalence in relation to ivermectin use in west and central Africa. *The Lancet*, 2000, 356(9235), 1077-1078.
- TRAN A., GARDON J., WEBER S., POLIDORI L., Mapping disease incidence in suburban areas using remotely sensed data. *Am. J. Epidemiol.*, 2002, 156, 662-668.
- TRAN A., GAIDET N., L'AMBERT G., BALENGHIEN T., BALANÇA G., CHEVALIER V., SOTI V., IVANES C., ETTER E., SCHAFFNER F., BALDET T. AND DE LA ROCQUE S., The use of remote sensing for the ecological description of multi-host disease systems: a case study on West Nile virus in southern France, *Veterinaria Italiana*, 2007, 43(3):687-697.
- TUCKER C.J., WILSON J.M., MAHONEY R., ANYAMBA A., LINTHICUM K.J., MYERS M., Climatic and ecological context of the 1994-1996 Ebola Outbreaks. *Photogramm. Eng. Rem. S.*, 2002, 68(2), 147-152.
- WAGNER V.E., HILL-ROWLEY R., NARLOCK S.A., NEWSON H.D., Remote sensing: A rapid and accurate method of data acquisition for a newly formed mosquito control district. *Mosq. News*, 1979, 39, 282-287.
- WARD M., NUCKOLS J., et al., Identifying populations potentially exposed to agricultural pesticides using remote sensing and a geographic information system. *Environ. Health Persp.*, 2000, 108, 5-12.
- WELCH J.B., OLSON J.K., HART W.G., INGLE S.G., DAVIS M.R., Use of aerial color-infrared photography as a survey technique for *Psorophora columbiae* oviposition habitats in Texas ricelands. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 1989a, 5, 147-160.
- WELCH J.B., OLSON J.K., YATES M.M, BENTON A.R. JR., BAKER R.D., Conceptual model for the use of aerial color-infrared photography by mosquito control districts as a survey technique for *Psorophora columbiae* oviposition habitats in Texas ricelands. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 1989b, 5, 369-373.
- WOOD B.L., BECK L.R., HIBBARD K.A., SALUTE J., SEBESTA P., WASHINO R., PITCAIRN M., REJMÁNKOVÁ E., ROBERTS D., LEGTERS L., PARIS J., HACKER C., Distinguishing high and low anopheline-producing rice fields using remote sensing and GIS technologies. *Prev. Vet. Med.*, 1991a, 11, 269-276.
- WOOD B.L., BECK L.R., WASHINO R.K., PALCHICK S., SEBESTA P., Spectral and spatial characteristics of rice field mosquito habitat. *Int. J. Remote Sens.*, 1991b, 12, 621-626.
- WOOD B.L., BECK L.R., WASHINO R.K., HIBBARD K.A., SALUTE J.S., Estimating high mosquito-producing rice fields using spectral and spatial data. *Int. J. Remote Sens.*, 1992, 13(15), 2813-2826.
- ZHOU X, MALONE J.B., KRISTENSEN T.K., BERGQUIST N.R., Application of geographic information systems and remote sensing to schistosomiasis control in China. *Acta Tropica*, 2001, 79, 97-106.
- ZHOU X., DANDAN L., HUIMING Y., HONGGEN C., LEPING S., GUOJING, Y., QINGBIAO H., BROWN L., MALONE J.B., Use of landsat TM satellite surveillance data to measure the impact of the 1998 flood on snail intermediate host dispersal in the lower Yangtze River Basin. *Acta tropica*, 2002, 82(2), 199-205.
- ZHOU G., MINAKAWA N., GITHEKO A.K., YAN G., Association between climate variability and malaria epidemics in the East African highlands. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 2004, 101(8), 2375-2380.

E. Applications de la télédétection en santé animale

- BAYLIS M., BOUAYOUNE H., TOUTI J., EL HASNAOUI H., Use of climatic data and satellite imagery to model the abundance of *Culicoides imicola*, the vector of African horse sickness virus, in Morocco. *Med. Vet. Entomol.*, 1998, 12, 255-266.

- CAPELA R., PURSE B.V., PENA I., WITTMAN E.J., MARGARITA Y., CAPELA M., ROMÃO L., MELLOR P. S., BAYLIS M., Spatial distribution of *Culicoides* species in Portugal in relation to the transmission of African horse sickness and bluetongue viruses. *Med. Vet. Entomol.*, 2003, 17, 2, 165-177.
- FLASSE S., WALKER C., BIGGS H., STEPHENSON P., HUTCHINSON P., Using remote sensing to predict outbreaks of *Oestrus ovis* in Namibia. *Prev. Vet. Med.*, 1998, 33, 31-38.
- FREIER J.W., Eastern equine encephalomyelitis. *Lancet*, 1993, 342, 1281-1283.
- GLEISER R.M., GORLA D.E., LUDUENA ALMEIDA F.F., Monitoring the abundance of *Aedes (ochlerotatus) albifasciatus* (Macqart 1838) (Diptera : Culicidae) to the south of Mar Chiquita Lake, Central Argentina, with the aid of remote sensing. *Ann. Trop. Med. Parasitol.* 1997, 91, 8, 917-926.
- GLEISER R.M., SCHELOTTO G., GORLA D.E., Spatial pattern of abundance of the mosquito, *Ochlerotatus albifasciatus*, in relation to habitat characteristics. *Med. Vet. Entomol.*, 2002, 16, 4, 364-371.
- HERBRETEAU V., DEMORAES F., HUGOT J.P., KITTAYAPONG P., SALEM G., SOURIS M. AND GONZALEZ J.P., Perspectives on Applied Spatial Analysis to Animal Health: a Case of Rodents in Thailand. *Ann NY Acad Sci*, 2006, 1081:17-29.
- MC KENZIE J.S., MORRIS R.S., PFEIFFER D.U., DYMOND J.R., Application of remote sensing to enhance the control of wildlife associated *Mycobacterium bovis* infection. *Photogramm. Eng. Rem. S.*, 2002, 68, 2, 153-159.
- MONCAYO A.C., EDMAN J.D., FINN J.T., Application of geographic information technology in determining risk of eastern equine encephalomyelitis virus transmission. *Journal of the Am. Mosq. Control Assoc.*, 2000, 16, 1, 28-35.
- PURSE B.V., TATEM A.J., CARACAPPA S., ROGERS D.J., MELLOR P.S., BAYLIS M., TORINA A., Modelling the distributions of *Culicoides* bluetongue virus vectors in Sicily in relation to satellite-derived climate variables. *Med. Vet. Entomol.*, 2004, 18, 2, 90-101.
- TATEM A.J., BAYLIS M., MELLOR P.S., PURSE B.V., CAPELA R., PENA I., ROGERS D.J., rediction of bluetongue vector distribution in Europe and north Africa using satellite imagery. *Vet. Microbiol.*, 2003, P 7, 13-2.
- WINT G.R.W., ROBINSON T.P., BOURN D.M., DURR P.A., HAY S.I., RANDOLPH S.E., ROGERS D.J., Mapping bovine tuberculosis in Great Britain using environmental data. *Trends Microbiol.*, 2002, 10, 10, 441-444.

F. Techniques de la télédétection : références générales

- ANDERSON J.R., HARDY E.E., ROACH J.T., WITMER R.E., A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data. Washington D.C.: U.S. Government Printing Office, 1976, 36 pp.
- CEC, CORINE land cover, technical guide. Luxembourg: Office for Officials Publications of the European Communities, 1994.
- COCQUEREZ J.P., PHILIPP S. ; Analyse d'images : filtrage et segmentation, Paris : Masson, 1995.
- De SHERBININ A., Balk D., CIESIN thematic guide to social science applications to remote sensing. New-York: CIESIN, Columbia University, 2002, 69 pp.
- De SHERBININ A., A guide to land-use and land-cover change (LUCC). A collaborative effort of SEDAC and the IGBP/IHDP LUCC Project, New-York: CIESIN, Columbia University, 2002.
- FREEMAN P.H., FOX R. Satellite mapping of tropical forest cover and deforestation: A review with recommendations for USAID. Arlington, VA: Environment and Natural Resources Information Center, DATEX, 1994.
- SNIDJERS F.L., Rainfall monitoring based on Meteosat data – a comparison of techniques applied to the Western Sahel. *Int. J. Remote Sens.*, 1991, 12, 1331-1347.

- SRIVASTAVA S.K., JAYARAMAN V., NAGESWARA RAO P.P., MANIKIAM B., CHANDRASEKHAR M.G., Interlinkages of NOAA/AVHRR derived integrated NDVI to seasonal precipitation and transpiration in dryland tropics. *Int. J. Remote Sens.*, 1997, 18, 14, 2931-2952.
- TURNER W., SPECTOR S., GARDINER N., FLADELAND M., STERLING E. STEININGER M., Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 2003, 18(6):306-314

G. Techniques de la télédétection : les indices de végétation

- BARET F., GUYOT G., MAJOR D., TSAVI: a vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI or APAR estimation. 12th Canadian Symposium on Remote Sensing and IGARSS 1990, Vancouver, Canada, 1989.
- CLEVERS J.G.P.W., The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of leaf area index. *Remote Sens. Environ.*, 1988, 35, 53-70.
- CRIPPEN R.E., Calculating the vegetation index faster. *Remote Sens. Environ.*, 1990, 34, 71-73.
- HUETE A.R., JACKSON R.D., POST D.F., Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. *Remote Sens. Environ.*, 1985, 17, 37-53.
- HUETE A.R., A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sens. Environ.*, 1988, 25, 295-309.
- HUH O.K., Limitations and capabilities of the NOAA satellite advanced very high resolution radiometer (AVHRR) for remote sensing of the Earth's surface. *Prev. Vet. Med.*, 1991, 11, 167-183.
- JACKSON R.D., HUETE A.R., Interpreting vegetation indices. *Prev. Vet. Med.* 1991, 11, 185-200.
- JORDAN C.F., Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor. *Ecology* 1969, 50, 663-666.
- KAUFMAN Y. J., TANRE D., Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS, I.E.E.E. T. *geosci. remote*, 1992, 30, 2, 261-270.
- KAUTH R.J., THOMAS G.S., The tasseled cap – A graphic description of the spectral temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. *Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data*, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1976, 41-51.
- LILLESAND T.M., KIEFER R.W., *Remote sensing and image interpretation*, 2nd edition, New-York: John Wiley and Sons, 1987, 721 p.
- PINTY B., VERSTRAETE M.M., GEMI: a non-linear index to monitor global vegetation from satellites. *Vegetation*, 1992, 101, 15-20.
- QI J., CHEHBOUNI A., HUETE A.R., KERR Y.H., Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI). *Remote Sens. Environ.*, 1994, 48, 119-126.
- QI J., KERR Y., CHEHBOUNI A., External factor consideration in vegetation index development. *Proc. of Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing*, ISPRS, 1994, 723-730.
- RICHARDSON A.J., WEIGAN C.L., Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogramm. Eng. Rem. S.*, 1977, 43, 1541-1552.
- ROUSE J.W., HAAS R.H., SCHELL J.A., DEERING D.W., Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *Third ERTS Symposium*, NASA SP-351. 1973, 1, 309-317.
- SPENCER C.H., SPRY K.E., A comparison of slope-based vegetation indices for agricultural applications. *Conference Proceedings, 17th Biennial Workshop on Color Photography and Videography in Resource Assessment*, Reno, Nevada, 1999, 6 p.
- TUCKER C.J., Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.*, 1979, 8, 127-150.

II. RONGEURS ET ZOONOSES

A. Rongeurs

- ABE H., Variation and taxonomy of *Niviventer fulvescens* and notes on *Niviventer* group of rats in Thailand. *Journal of the Mammalogical Society of Japan*, 1983, 9:151-161.
- AGOSTA W.G., Chemical communication: the language of pheromones. New York: Scientific American Library, 1992.
- AGRAWAL V.C., CHAKRABORTY S., Revision of the subspecies of the lesser bandicoot rat *Bandicota bengalensis* (Gray) (Rodentia: Muridae). *Records of the Zoological Survey of India*, 1976, 69:267-274.
- APLIN K.P., BROWN P.R., JACOB J., KREBS C.J., SINGLETON G.R., Field methods for rodent studies in Asia and the Indo-Pacific. ACIAR Monograph No. 100, Canberra: ACIAR, 2003, 223 p.
- ATALLAH S.I., A new species of spiny mouse (*Acomys*) from Jordan. *Journal of Mammalogy*, 1967, 48:258-261.
- AUFFRAY J.-C., TCHERNOV E., NEVO E., Origine du commensalisme de la souris domestique (*Mus musculus domesticus*) vis-à-vis de l'homme. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences (Paris)*, ser. 3, 1988, 307(9):517-522.
- AUFFRAY J.-C., BELKHIR K., CASSAING J., BRITTON-DAVIDIAN J., CROSET H., Outdoor occurrence in robertsonian and standard populations of the house mouse. *Vie et Milieu*, 1990a, 40:111-118.
- AUFFRAY J.-C., TCHERNOV E., BONHOMME F., HETH G., SIMSON S., NEVO E., Presence and ecological distribution of *Mus "spretoides"* and *Mus musculus domesticus* in Israel. Circum-Mediterranean vicariance in the genus *Mus*. *Zeitschrift für Säugetierkunde*, 1990b, 55:1-10.
- AUFFRAY J.-C., VANLERBERGHE F., BRITTON-DAVIDIAN J., The house mouse progression in Eurasia: a palaeontological and archaeozoological approach. *Biological Journal of the Linnean Society*, 1990c, 41:13-25.
- AUFFRAY J.C., ORTH A., CATALAN J., GONZALEZ J.P., DESMARAIS E., BONHOMME F., Phylogenetic position and description of a new species of subgenus *Mus* (Rodentia, Mammalia) from Thailand. *Zool. Scr.*, 2003, 32, 2, 119-127.
- AUGUST P.V. The role of habitat complexity and heterogeneity in structuring tropical mammal communities. *Ecology*, 1983, 64(6), 1495-1507.
- BAILLIE J., *Rattus sikkimensis*. In: IUCN 2004. 2004 IUCN Red List of Threatened Species. 1996, <www.iucnredlist.org>.
- BIRKE L.I.A., Scent-marking and the oestrous cycle of the female rat. *Animal Behaviour*, 1978, 26, 1165-1166.
- BIRKE L.I., SADLER D., Scent-marking behaviour in response to conspecific odours by the rat, *Rattus norvegicus*. *Animal Behaviour*, 1984, 32, 493-500.
- BOND W., FERGUSON M. AND FORSYTH G., Small mammals and habitat structure along altitudinal gradients in the Southern Cape Mountains. *South African Journal of Zoology*, 1980, 15, 34-43.
- BONHOMME F.J., Evolutionary relationships in the genus *Mus*. Pp. 19-34, In: Potter M., Nadeau J.H., Cancro M.P. (Eds.). *Current topics in microbiology and immunology*, 1986, Vol. 127. Berlin: Springer-Verlag, 395 pp.
- BONHOMME F., CATALAN J., BRITTON-DAVIDIAN J., CHAPMAN V.M., MORIWAKI K., NEVO E., THALER L., Biochemical diversity and evolution in the genus *Mus*. *Biochemical Genetics*, 1984, 22:275-303.
- BONHOMME F., ISKANDAR D., THALER L., PETTER F., Electromorphs and phylogeny in muroid rodents. Pp. 671-683, In: Lockett W.P., Hartenberger J.-L. (Eds.). *Evolutionary relationships among rodents, a multidisciplinary analysis*. New-York: Plenum Press, 1985, 721 pp.
- BONHOMME F., MIYASHITA N., BOURSOT P., CATALAN J., MORIWAKI K., Genetical variation and polyphyletic origin in Japanese *Mus musculus*. *Heredity*, 1989, 63:299-308.

- BOONSONG L., McNEELY J.A., MARSHALL J.T., Mammals of Thailand, Bangkok: Association for the Conservation of Wildlife, 1988, 758 p.
- BRADBURY J.W., VEHCAMP S.L., Principles of animal communication. Sunderland: Sinauer Associates, Inc., 1998.
- BRENNAN P.A., The vomeronasal system. Cell. Mol. Life Sci., 2001, 58, 4, 546-555.
- BROWN R.E., Object-directed urine-marking by male rats. Behavioral Biology, 1975, 15, 251-254.
- BUFFON G.L.L., COMTE DE., Natural history, general and particular, by the Count de Buffon, illustrated with above six hundred copper plates, the history of man and quadrupeds, translated into English with notes and observations by William Smellie. First ed. vol. 7 (Natural history of animals). T. Cadell and W. Davies, London, 1781, 452 pp.
- BUFFON G.L.L., COMTE DE, DAUBENTON L.J.M., Histoire naturelle, générale et particulière, avec la description du cabinet du Roi. L'Imprimerie Royale, Paris, 1763, 10(Quadrupeds):1-6 (unnumbered) + 368 pp., 57 pls.
- CALHOUN J.B., The ecology and sociology of the Norway rat. U.S. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, Public Health Service Publication No. 1008, 1963.
- CAO VAN-SUNG, TRAN V.M., Karyotypes et systématiques des rats (genre *Rattus Fisher*) du Vietnam. Mammalia, 1984, 48:557-564.
- CARLETON M.D., Introduction to rodents. In: Orders and Families of Recent Mammals of the World. ANDERSON S., JONES JR. J.K. (Eds). New-York: John Wiley and Sons, 1984, 255-265.
- CARLETON M.D., MUSSER G.G., Muroid rodents. In: Orders and Families of Recent Mammals of the World. ANDERSON S., JONES JR. J.K. (Eds). New-York: John Wiley and Sons, 1984, 289-379.
- CHAIMANEE Y., Plio-Pleistocene Rodents of Thailand. Bangkok: Biodiversity Research and Training Program-National Center for Genetic Engineering and Biotechnology, 1998, 303 p.
- CHALINE J., Les rongeurs du Pleistocène moyen et supérieur de France (Systématique-biostratigraphie-paléoclimatologie). Cahiers de Paléontologie, Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, 1972, 410 pp.
- CHALINE J., MEIN P., Les rongeurs et l'évolution. Doin Editeurs, Paris, 1979, 235 pp.
- CHALINE J., MEIN P., PETTER F., Les grandes lignes d'une classification évolutive des Muroidea. Mammalia, 1977, 41:245-252.
- CHASEN F.N., A handlist of Malaysian mammals: A systematic list of the mammals of the Malay Peninsula, Sumatra, Borneo, and Java, including the adjacent small islands. Bulletin of the Raffles Museum (Singapore), 1940, 15:1-209.
- CHASEN F.N., KLOSS C.B., Mammals from the lowlands and islands of North Borneo. Bulletin of the Raffles Museum, Singapore, Straits Settlements, 1932, 6:1-82.
- CHEVRET P.D., VEYRUNES F., BRITTON-DAVIDIAN J., Molecular phylogeny of the genus *Mus* (Rodentia: Murinae) based on mitochondrial and nuclear data. Biol. J. Linn. Soc. Lond., 2005, 84(3):417-427.
- CHINEN A.A., SUZUKI H., APLIN K.P., TSUCHIYA K., SUZUKI S., Preliminary genetic characterization of two lineages of black rats (*Rattus rattus sensu lato*) in Japan, with evidence for introgression at several localities. Genes & Genetic Systems, 2005, 80(5):367-375.
- CORBET G.B., HILL J.E., A world list of mammalian species, 3rd edition. London and Oxford, U.K.: Natural History Museum Publications and Oxford University Press, 1991.
- CORBET G.B., HILL J.E., Mammals of the Indomalayan Region: a systematic review. London and Oxford, U.K.: Natural History Museum Publications and Oxford University Press, 1992, 488 pp.
- COX M.P.G., DICKMAN C.R., W.G. COX, Use of habitat by the black rat (*Rattus rattus*) at North Head, New South Wales: an observational and experimental study. Austral. Ecol. 2000, 25, 4, 375-385.
- CRISTALDI M., AMORI G., Perspectives pour une interprétation historique des populations éoliennes de rongeurs. Bulletin d'Ecologie, 1988, 19(2-3):171-176.
- DAWSON M.R., MARIVAUX L., LI C.K., BEARD K.C., METAIS G., Laonastes and the "Lazarus effect" in recent mammals. Science, 2006, 311(5766):1456-1458.

- DE ROGUIN L., Données historiques nouvelles sur la présence du rat noir *Rattus rattus* (L.) en Europe Occidentale. Pp. 323-325, In: Le Berre M., Le Guelte L. (Eds.). 1989. Le rongeur et l'espace, Actes du Colloque International, Lyon, Raymond Chabaud, Paris, 1991.
- DENYS C., MICHAUX J., CATZEFLIS F., DUCROCQ S., CHEVRET P., Morphological and molecular data against the monophyly of Dendromurinae (Muridae: Rodentia). *Bonner Zoologische Beitrage*, 1995, 45(3-4):173-190.
- DOUNGCHAWEE G., KHOAPRASERT Y., KONGTIM S., THAMAVIT W., TAJIMA K., MOORE M.A., TSUDA H., Use of wild rodents for environmental monitoring – Comparison of rats in Bangkok and rural areas of Thailand. *Asian Pacific J. Cancer Prev.*, 2002, 3, 367-368.
- DUBEY D.D., RAMAN R., Mammalian sex chromosomes. IV. Replication heterogeneity in the late replicating facultative-and constitutive-heterochromatic regions in the X chromosomes of the mole rats, *Bandicota bengalensis* and *Nesokia indica*. *Hereditas*, 1992, 115:275-282.
- DUCKWORTH J.W., PINE R.H., English names for a world list of mammals, exemplified by species of Indochina. *Mammal Rev.*, 2003, 33, 2, 151-173.
- DUCKWORTH J.W., SALTER R.E., KHOUNBOLINE K. (compilers), Wildlife in Lao PDR: 1999 Status Report. Vientiane: IUCN-The World Conservation Union / Wildlife Conservation Society / Centre for Protected Areas and Watershed Management. 1999, 275 pp.
- DUNCAN J.F., VAN PEENEN P.F.D., Karyotypes of ten rats (Rodentia: Muridae) from Southeast Asia. *Caryologia*, 1971, 24:331-346.
- DUPLANTIER J.M., GRANJON L., MATHIEU E., BONHOMME F., Structures génétiques comparées de trois espèces de rongeurs africains du genre *Mastomys* au Sénégal. *Genetica*, 1990, 81:179-192.
- DUPLANTIER J.-M., GRANJON L., ADAM F., BA K., Répartition actuelle du rat noir (*Rattus rattus*) au Sénégal: facteurs historiques et écologiques. Pp. 339-346, in Le rongeur et l'espace, Actes du Colloque International, Lyon, 1989. Raymond Chabaud, Paris, 1991.
- DUPLANTIER J.M., CATALAN J., ORTH A., GROLLEAU B., BRITTON-DAVIDIAN J., Systematics of the black rat in Madagascar: consequences for the transmission and distribution of plague. *Biol. J. Linn. Soc.*, 2003, 78, 3, 335-341.
- ELLERMAN J.R., The families and genera of living rodents. Vol. I. Rodents other than Muridae. London: Trustees of the British Museum (Natural History), 1940, 689 pp.
- ELLERMAN J.R., The families and genera of living rodents. Vol. II. Family Muridae. London: British Museum (Natural History), 1941, 690 pp.
- ELLERMAN J.R., A key to the Rodentia inhabiting India, Ceylon, and Burma, based on collections in the British Museum. *Journal of Mammalogy*, 1947, 28:249-278; 357-387.
- ELLERMAN J.R., Notes on some Asiatic rodents in the British Museum. *Proceedings of the Zoological Society of London*, 1947-1948, 117:259-271.
- ELLERMAN J.R., MORRISON-SCOTT T.C.S., Supplement to Chasen (1940) A handlist of Malaysian mammals, containing a generic synonymy and a complete index. London: British Museum (Natural History), 1955, 66 pp.
- EVANS E.P., Karyotype of the house mouse. *Symposia of the Zoological Society of London*, 1981, 47:127-139.
- FAY R.R., Hearing in Vertebrates: a Psychophysics Databook. Winnetka: Hill-Fay Associates, 1988.
- FELDHAMER G.A., DRICKAMER L.C., VESSEY S.H., MERRITT J.F., Mammalogy. Adaptation, Diversity, and Ecology. Boston: WCB McGraw-Hill, 1999, 563 pp.
- FERREIRA S.M., VAN AARDE R.J., Maintaining diversity through intermediate disturbances: evidence from rodents colonizing rehabilitating coastal dunes. *Afr. J. Ecol.*, 2000, 38, 4, 286-294.
- FLANNERY T.F., *Pogonomys championi* n. sp., a new murid (Rodentia) from montane western Papua New Guinea. *Records of the Australian Museum*, 1988, 40:333-341.
- FLANNERY T.F., *Microhydromys musseri* n. sp., a new murid (Mammalia) from the Torricelli Mountains, Papua New Guinea. *Proceedings of the Linnean Society of New South Wales*, 1989, 111:215-222.
- FLANNERY T.F., Mammals of New Guinea. Robert Brown and Associates, 1990, 439 pp.

- FLOWERDEW J.R., SHORE R.F., POULTON S.M.C., SPARKS T.H., Live trapping to monitor small mammals in Britain. *Mammal Rev.* 2004, 34, 1-2, 31-50.
- FRANCIS C.M., Order Rodentia, Family Muridae. In: *Wildlife in Lao PDR: 1999 Status Report*. DUCKWORTH J.W., SALTER R.E., KHOUNBOLINE K. (Eds). Vientiane: IUCN-The World Conservation Union / Wildlife Conservation Society / Centre for Protected Areas and Watershed Management. 1999. 237-252.
- GADI I.K., SHARMA T., Cytogenetic relationships in *Rattus*, *Cremnomys*, *Millardia*, *Nesokia* and *Bandicota*. *Genetica*, 1983, 61:21-40.
- GALEF B.G., BECK M., Aversive and attractive marking of toxic and safe foods by Norway rats. *Behavioral and neural biology*. 1985, 43:298-310.
- GARRETT H.B., Notes on some traps made by the hill peoples of Siam. *J. Siam Soc. Nat. Hist. Suppl.* 1929, 8, 23-24+plates1-17.
- GAUSE G.F., *The struggle for existence*. Williams and Wilkins, Baltimore. (reprinted 1964 by Hafner N.Y.), 1934.
- GERASIMOV S., NIKOLOV H., MIHAILOVA V., AUFRAY J.-C., BONHOMME F., Morphometric stepwise discriminant analysis of the five genetically determined European taxa of the genus *Mus*. *Biological Journal of the Linnean Society*, 1990, 41:47-64.
- GIAGIA E.B., FRAGUEDAKIS-TSOLIS S.E., CHONDROPOULOS B.P., Contribution to the study of the taxonomy and zoogeography of wild house mouse, genus *Mus L.* (Mammalia, Rodentia, Muridae) in Greece. II. Karyological study of two populations from southern Greece. *Mammalia*, 1987, 51:111-116.
- GORECKI A., MECZEVA R., PIS T., GERASIMOV S., WALKOWA W., Geographical variation of thermoregulation in wild populations of *Mus musculus* and *Mus spretus*. *Acta Theriologica*, 1990, 35:209-214.
- GOROG A.J., SINAGA M.H. ENGSTROM M.D., Vicariance or dispersal? Historical biogeography of three Sunda shelf murine rodents (*Maxomys surifer*, *Leopoldamys sabanus* and *Maxomys whiteheadi*). *Biol. J. Linn. Soc.*, 2004, 81, 1, 91-109.
- GRANJON L., DOBIGNY G., The importance of cytotaxonomy in understanding the biogeography of African rodents: Lake Chad murids as an example. *Mammal Rev.* 2003, 33, 1, 77-91.
- GRANT E.C., MACKINTOSH J.H., A comparison of the social postures of some common laboratory rodents. *Behaviour*, 1963, 21, 246-259.
- GREENE E.C., *Anatomy of the rat*. Transactions of the American Philosophical Society, New Series, 1935, 27:1-370.
- GROVES C.P., FLANNERY T.F., Revision of the families and genera of bandicoots. Pp. 1-11, In: SEEBECK J.H., WALLIS R.L., BROWN P.R., KEMPER C.M. (Eds.). *Bandicoots and bilbies*. Sydney: Surrey Beatty and Sons Pty. Ltd., 1990, 392 pp.
- HARPER F., The nomenclature and type localities of certain Old World mammals. *Journal of Mammalogy*, 1940, 21:191-203; 322-332.
- HARRISON J.L., Records of bandicoot rats (Bandicota, Rodentia, Muridae) new to the fauna of Malaya and Thailand. *Bulletin of the Raffles Museum (Singapore)*, 1956, 27:27-31.
- HEANEY L.R., Biogeography of mammals in SE Asia: estimates of rates of colonization, extinction and speciation. *Biological Journal of the Linnean Society*, 1986, 28:127-165.
- HERBRETEAU V., GONZALEZ J.P., ANDRIANASOLO H., KITTAYAPONG P., HUGOT J.P., Mapping the potential distribution of *Bandicota indica*, vector of zoonoses in Thailand, by use of Remote Sensing and Geographical Information Systems (a case of Nakhon Pathom province). *The Natural History Journal of Chulalongkorn University*, 2005, 5(2):61-67.
- HERBRETEAU V., NICOLAS V., CORNETTE R., HUGOT J.P., Une récente découverte au Laos : le Khanou, rongeur énigmatique. *Le Courrier de la Nature*, 2006, 230:28-33.
- HILL M.J., VEL T., SHAH N.J., The morphology, distribution and conservation implications of introduced rats, *Rattus spp.* in the granitic Seychelles. *Afr. J. Ecol.*, 2003, 41, 2, 179-186.

- HINTON M.A.C., Scientific results from the mammal survey. No. 34. The house rats of Nepal. Journal of the Bombay Natural History Society, 1922, 28:1056-1066.
- HINTON M.A.C., Preliminary diagnosis of five new murine rodents from New Guinea. Annals and Magazine of Natural History, 1943, ser. 11, 10:552-557.
- HOLLISTER N., The type species of *Rattus*. Proceedings of the Biological Society of Washington, 1916, 29:206-207.
- HOPP S.L., TIMBERLAKE W., Odor cue determinants of urine marking in male rats *Rattus norvegicus*. Behavioral and Neural Biology, 1983, 37, 1, 162-172.
- HUTCHINS M., KLEIMAN D.G., GEIST V., MCDADE M.C. 2003. Grzimek's Animal Life Encyclopedia, 2nd edition. Vol. 16, Mammals V, Farmington Hills, MI: Gale Group, 588 pp.
- HSU F.H., LIN F.J., LIN Y.S., Phylogeographic Variation in Mitochondrial DNA of Formosan White-bellied Rat *Niviventer culturatus*. Zoological Studies, 2000, 39(1):38-46.
- IUCN, 2004 IUCN Red List of Threatened Species (On-line). 2004, <www.redlist.org>.
- JACOBS L.L., Fossil rodents (Rhizomyidae & Muridae) from Neogene Siwalik deposits, Pakistan. Museum of Northern Arizona Press, Bulletin Series, 1978, 52:1-103.
- JAEGER J.-J., TONG H., DENYS C., Age de la divergence *Mus-Rattus*: comparaison des données paléontologiques et moléculaires. Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences (Paris), 1986, 302, ser. 2:917-922.
- JANECEK L.L., SCHLITTER D.A., RAUTENBACH I.L., A genic comparison of spiny mice, genus *Acomys*. Journal of Mammalogy, 1991, 72:542-552.
- JANSA S., WEKSLER M., Phylogeny of muroid rodents: relationships within and among major lineages as determined by IRBP gene sequences. Mol. Phyl. Evol., 2004, 31:256-276.
- JANSA S.A., BARKER F.K., HEANEY L.R., The Pattern and Timing of Diversification of Philippine Endemic Rodents: Evidence from Mitochondrial and Nuclear Gene Sequences. Systematic Biology, 2006, 55(1):73-88.
- JENKINS P.D., KILPATRICK C.W., ROBINSON M.F., TIMMINS R.J., Morphological and molecular investigations of a new family, genus and species of rodent (Mammalia: Rodentia: Hystricognatha) from Lao PDR. Syst. Biodiv., 2005, 2, 4, 419-454.
- JOHNSON D.H., Two new murine rodents. Proceedings of the Biological Society of Washington, 1962, 75:317-319.
- JOHNSON S., PAUW A., MIDGELY J., Rodent pollination in the African lily *Massonia depressa* (Hyacinthaceae). Am. J. Botany, 2001, 88(10), 1768-1773.
- KANCHANASAKHA B., SIMCHAROEN S., TIN THAN U., Carnivores of mainland South-East Asia. Bangkok: Endangered Species Unit, WWF-Thailand Project Office. 1998, 236 p.
- KANG Y.S., KOH H.S., Karyotype studies on three species of the family Muridae. Korean Journal of Zoology, 1976, 19:101-112.
- KANJANAVANIT O., The Mammal Tracks of Thailand. Bangkok: Green World Foundation. 1997, 96 p.
- KASANGAKI A., KITYO R., KERBIS J., Diversity of rodents and shrews along an elevational gradient in Bwindi Impenetrable National Park, south-western Uganda. Afr. J. Ecol., 2003, 41, 2, 115-123.
- KHAJURIA H., A new bandicoot rat, *Erythronesokia bunnii* gen. et sp. nov. (Rodentia: Muridae), from Iraq. Bulletin of the Natural History Research Centre, 1981, 7:157-164.
- KITCHENER D.J., HOW R.A., MAHARADATUNKAMSI., *Paulamys* sp. cf. *P. naso* (Musser, 1981) (Rodentia: Muridae) from Flores Island, Nusa Tenggara, Indonesia-- description from a modern specimen and a consideration of its phylogenetic affinities. Records of the Western Australian Museum, 1991, 15:171-189.
- KITCHENER D.J., APLIN K.P., BOEADI., A new species of *Rattus* from Gunung Mutis, South West Timor Island, Indonesia. Records of the Western Australian Museum, 1991, 15:445-461.
- KITCHENER D.J., HOW R.A., MAHARADATUNKAMSI., A new species of *Rattus* from the mountains of West Flores, Indonesia. Records of the Western Australian Museum, 1991, 15:611-626.

- KOCK D., NADER I.A., BANAJA A.A., *Bandicota bengalensis* (Gray and Hardwicke, 1833) new to Saudi Arabia (Mammalia: Rodentia: Muridae). Fauna of Saudi Arabia, 1990, 11:323-328.
- LIDLAW R.K., Effects of Habitat Disturbance and Protected Areas on Mammals of Peninsular Malaysia. Conserv. Biol., 2000, 14, 6, 1639-1648.
- LALAND K.N., PLOTKIN H.C., Excretory deposits surrounding food sites facilitate social learning about food preferences in Norway rats. Animal Behaviour, 1991, 41, 997-1005.
- LEKAGUL B., MCNEELY J.A., Mammals of Thailand, 2nd Ed. Association for the Conservation of Wildlife, Sahakarnbhat Co., Bangkok, 1988, 758 pp.
- LEKAGUL B., FELTEN H., Remarks on the genus *Bandicota* in Thailand (Rodentia: Muridae). Thai Journal of Agricultural Science, 1989, 22, 197-211.
- LEVAN G., KLINGA K., SZPIRER C., SZPIRER J., Gene map of the rat (*Rattus norvegicus*) 2N=42. Isozyme Bulletin, 1990, 23:34-42.
- LIDICKER W.Z. JR., A phylogeny of New Guinea rodent genera based on phallic morphology. Journal of Mammalogy, 1968, 49:609-643.
- LUNDE D., TRUONG SON N. An Identification Guide to the Rodents of Vietnam. New York: Center for Biodiversity and Conservation, American Museum of Natural History, 2001. 80 p.
- MAKONKAWKEYOON S., Role of rodents in the transmission of infectious diseases in Chiangmai. Master thesis. Mahidol University, 1966, 51 p.
- MARDON D.K., DURDEN L. A., New species of the fleas *Farhangia* and *Nestivalius*, from endemic rodents in Sulawesi, Indonesia. Med. Vet. Entomol., 2003, 17, 1, 75-86.
- MARYANTO I., Taxonomic status of the ricefield rat *Rattus argentiventer* (Robinson and Kloss, 1916) (Rodentia) from Thailand, Malaysia and Indonesia based on morphological variation. Records of the Western Australian Museum, 2003, 22:47-65.
- MARIVAUX L., VIANEY-LIAUD M., WELCOMME J.L., JAEGER J.J., The role of Asia in the origin and diversification of hystricognathous rodents. Zool. Scr., 2002, 31, 3, 225-239.
- MARSH R.E., Roof rats. Prevention and control of wildlife damage, Lincoln: University of Nebraska, 1994, B105-B120 p..
- MARKVONG A., MARSHALL J., GROPP A., Chromosomes of rats and mice of Thailand. Natural History Bulletin of the Siam Society, 1973, 25:23-40.
- MARSHALL J.T. JR., Family Muridae: Rats and mice. In: LEKAGUL B., MCNEELY J.A. (Eds.), Mammals of Thailand. Bangkok: Association for the Conservation of Wildlife, Sahakarnbhat Co., 1977a, pp. 396-487.
- MARSHALL J.T. JR., A synopsis of Asian species of *Mus* (Rodentia, Muridae). Bulletin of the American Museum of Natural History, 1977b, 158:173-220.
- MARSHALL J.T. JR. Taxonomy. In: FOSTER H.L., SMALL J.D., FOX J.G., (Eds.), The mouse in biomedical research, Vol. I, History, genetics, and wild mice. American College of Laboratory Animal Medicine Series, New-York: Academic Press, 1981, pp. 17-26.
- MARSHALL J.T. JR., Systematics of the genus *Mus*. In: POTTER M., NADEAU J.H., CANCRO M.P. (Eds.), The wild mouse in immunology. Current Topics in Microbiology and Immunology, 1986, 127:1-395.
- MARSHALL J.T. JR., SAGE R.D., Taxonomy of the house mouse. Symposia of the Zoological Society of London, 1981, 47:15-25.
- M'CLOSKEY R.T., Patterns of microhabitat use and seed collection within populations of heteromyid rodents. Canadian Journal of Zoology, 1985, 63, 325-330.
- MEDWAY L., Comments on the status of *Rattus inas* (Bonhote), with observations on the distribution of this and related rats in the Sunda Subregion. Federation Museums Journal, 1964, 9:95-101.
- MEDWAY L., Mammals of Borneo. Malaysian Branch of the Royal Asiatic Society, Singapore, 1965, 193 pp.
- MEDWAY L., Mammals of Borneo: Field keys and an annotated checklist. Second ed. Monograph, Malay Branch of the Royal Asiatic Society, 1977, 7:1-172.

- MEDWAY L., The wild mammals of Malaya (Peninsular Malaysia) and Singapore. Oxford University Press, Kuala Lumpur, 1978, 128 pp.
- MEDWAY L., YONG H.S., Problems in the systematics of the rats (Muridae) of peninsular Malaysia. Malaysian Journal of Science, 1976, 4(A):43-53.
- MEIJAARD E., Mammals of south-east Asian islands and their Late Pleistocene environments. J. Biogeogr. 2003, 30, 8, 1245-1257.
- MEIN P., GINSBURG L., RATANASTHIEN B., Nouveaux rongeurs du Miocène de Li (Thaïlande). Comptes Rendus de l'Académie des Sciences (Paris), 1990, ser. 2, 310(6):861-865.
- MENZIES J.I., DENNIS E., Handbook of New Guinea rodents. Handbook, Wau Ecology Institute, 1979, 6:1-68.
- MICHAUX J., REYES A., CATZEFLIS F., Evolutionary history of the most speciose mammals: Molecular phylogeny of murid rodents. Molecular Biology and Evolution, 2001, 18(11):2017-2031.
- MILAZZO C., GOÛY de BELLOCQ J., CAGNIN M., CASANOVA J.C., di BELLA C., FELIU C., FONS R., MORAND S., SANTALLAC F., Helminths and Ectoparasites of *Rattus rattus* and *Mus musculus* from Sicily, Italy. Comp. Parasitol., 2003, 70, 2, 199-204.
- MILLS J.N., CHILDS J.E., KSIAZEK T.G., PETERS C.J., VELLECA W.M., Methods for trapping and sampling small mammals for virologic testing. Atlanta: U.S. Department of Health and Human Services - Centers for Disease Control and Prevention. 1995, 61 p.
- MILLS J.N., CHILDS J.E., Ecologic studies of rodent reservoirs: their relevance for human health. Emerg. Infect. Dis., 1998, 4, 4, 95-104.
- MUSSER G.G., Identities of taxa associated with *Rattus rattus* (Rodentia, Muridae) of Sumba Island, Indonesia. Journal of Mammalogy, 1972, 53:861-865.
- MUSSER G.G., Zoogeographical significance of the ricefield rat, *Rattus argentiventer*, on Celebes and New Guinea and the identity of *Rattus pestivulus*. American Museum Novitates, 1973a, 2511:1-30.
- MUSSER G.G., Species-limits of *Rattus cremoriventer* and *Rattus langbianis*, murid rodents of Southeast Asia and the Greater Sunda Islands. American Museum Novitates, 1973b, 2525:1-65.
- MUSSER G.G., Results of the Archbold Expeditions. No. 100. Notes on the Philippine rat, *Limnomys*, and the identity of *Limnomys picinus*, a composite. American Museum Novitates, 1977, 2636:1-14.
- MUSSER G.G., Results of the Archbold Expeditions. No. 102. The species of *Chiropodomys*, arboreal mice of Indochina and the Malay Archipelago. Bull. Amer. Mus. Nat. Hist., 1979, 162, 377-445.
- MUSSER G.G., MARSHALL JR. J.T., BOEADI, Definition and contents of the Sundaic genus *Maxomys* (Rodentia, Muridae). Journal of Mammalogy, 1979, 60:592-606.
- MUSSER G.G., CHIU S., Notes on taxonomy of *Rattus andersoni* and *R. excelsior*, murids endemic to Western China. Journal of Mammalogy, 1979, 60:581-592.
- MUSSER G.G., BOEADI., A new genus of murid rodent from the Komodo islands in Nusatenggara, Indonesia. Journal of Mammalogy, 1980, 61:395-413.
- MUSSER G.G., Results of the Archbold Expeditions. No. 105. Notes on systematics of Indo-Malayan murid rodents, and descriptions of new genera and species from Ceylon, Sulawesi, and the Philippines. Bulletin of the American Museum of Natural History, 1981, 168:225-334.
- MUSSER G.G., Results of the Archbold Expeditions. No. 107. A new genus of arboreal rat from Luzon Island in the Philippines. American Museum Novitates, 1982, 2730:1-23.
- MUSSER G.G., NEWCOMB C., Definitions of Indochinese *Rattus losea* and a new species from Vietnam. American Museum Novitates, 1985, 1814:1-32.
- MUSSER G.G., HEANEY L.R., Philippine *Rattus*: a new species from the Sulu Archipelago. Amer. Mus. Novit., 1985, 2818:1-32.
- MUSSER G.G., Sundaic *Rattus*: Definitions of *Rattus baluensis* and *Rattus korinchi*. American Museum Novitates, 1986, 2862:1-24.
- MUSSER G.G., HEANEY L.R., Philippine rodents: Definitions of *Tarsomys* and *Limnomys* plus a preliminary assessment of phylogenetic patterns among native Philippine murines (Murinae, Muridae). Bulletin of the American Museum of Natural History, 1992, 211:1-138.

- MUSSER G.G., CARLETON M.D., Family Muridae. In: Mammal Species of the World a Taxonomic and Geographic Reference. Eds: Wilson D.E. and Reeder D.M. Washington D.C.: Smithsonian Institution Press, 1993, 501-755.
- MUSSER G.G., BROTHERS E.M., Identification of bandicoot rats from Thailand (*Bandicota*, Muridae, Rodentia). American Museum Novitates, 1994, 3110:1-56.
- MUSSER G.G., CARLETON M.D., Superfamily Muroidea. In: Mammal Species of the World. WILSON D.E., REEDER D.M. (Eds.). Washington, DC: Smithsonian Institution Press. 2005.
- MYERS P., Rodentia (On-line), Animal Diversity Web. 2000.
<<http://animaldiversity.ummz.umich.edu/site/accounts/information/Rodentia.html>>.
- NISHIOKA Y., LAMOTHE E., The *Mus musculus musculus* Y chromosome predominates in Asian house mice. Genetical Research (Cambridge), 1987, 50:195-198.
- NOR S., Elevational diversity patterns of small mammals on Mount Kinabalu, Sabah, Malaysia. Global Ecol. Biogeogr., 2001, 10, 1, 41-62.
- NOWAK R.M., PARDISO J.L., Walker's Mammals of the world, 5th edition, Baltimore and Boston: The John's Hopkins University Press, 1991, 1:1-642; 2:643-1629.
- PAKANSERI L., Mammals of Sakaerat. Bangkok: Thailand Institute of Scientific and Technological Research, 2001, 119 p.
- PAYNE J., FRANCIS C.M., PHILLIPPS K., A field guide to the mammals of Borneo. Kuala Lumpur: The Sabah society with WWF Malaysia. 1985, 332 p.
- PRADHAN M.S., MONDAL A., AGRAWAL V.C., Proposal of an additional species in the genus *Bandicota* Gray (order: Rodentia; fam: Muridae) from India. Mammalia, 1989, 53(3):369-376.
- RISHI K.K., PURI U., Chromosomes of *Rattus cutchicus cutchicus* and its systematic position. Folia Biologia (Krakow), 1984, 32:209-212.
- ROBERTS M., Origin, dispersal routes, and geographic distribution of *Rattus exulans*, with special reference to New Zealand. Pacific Science, 1991, 45:123-130.
- ROBERTS T.J., The mammals of Pakistan. Ernest Benn Limited, London, 1977, 361 pp.
- ROBINSON H.C., KLOSS C.B. 1922. New mammals from French Indo-China and Siam. Annals and Magazine of Natural History, ser. 9, 9:87-99.
- ROSENWEIG M.L., WINAKUR J., Population ecology of desert rodent communities: Habitats and environmental complexity. Ecology, 1979, 59(4), 558-572.
- SAVAGE R.J.G., LONG M.R., Mammal Evolution, an Illustrated Guide. New-York: Facts of File Publications, 1986, 259 pp.
- SCHWARZ E., SCHWARZ H.K., The wild and commensal stocks of the house mouse, *Mus musculus Linnaeus*. Journal of Mammalogy, 1943, 24:59-72.
- SEMBA K., EGGER MD., The facial "motor" nerve of the rat: control of vibrissal movement and examination of motor and sensory components. J. Comp. Neurol., 1986, 247, 2, 144-158.
- SHARMA T., CHEONG N., SEN P., SEN S., Constitutive heterochromatin and evolutionary divergence of *Mus dunni*, *M. booduga* and *M. musculus*. pp. 35-44, In: POTTER M., NADEAU J.H., CANCRO M.P. (Eds.). Current topics in microbiology and immunology, Vol. 127, Berlin: Springer-Verlag, 1986, 395 pp.
- SHE J.X., BONHOMME F., BOURSOT P., THALER L., CATZEFLIS F., Molecular phylogenies in the genus *Mus*: comparative analysis of electrophoretic, scnDNA hybridization, and mtDNA RFLP data. Biological Journal of the Linnean Society, 1990, 41:83-103.
- SHIMADA T., APLIN K.P., JOGAHARA T., LIN L.-K., HERBRETEAU V., GONZALEZ J.-P. AND SUZUKI H., Complex phylogeographic structuring in a continental small mammal from East Asia, the rice field mouse, *Mus caroli* (Rodentia, Muridae). Mammal Study, 2007, 32:49-62.
- SINGLETON G.R., HINDS L.A., KREBS C.J., SPRATT D.M., Rats, mice and people: rodent biology and management. ACIAR Monograph, 2003, ,96, 564 pp.
- SMITH A.L., ROBINSON M.F. WEBBER M., Muridae (Rodentia) from the Khammouan Limestone and Xe Pian National Biodiversity Conservation Areas, Lao PDR. Mammalia, 2004, 68(2-3):167-173.

- SODY H.J.V., On a collection of rats from the Indo-Malayan and Indo-Australian regions (with descriptions of 43 new genera, species and subspecies). *Treubia*, 1941, 18:255-325.
- SRIKOSAMATARA S., HANSEL T., Mammals of Khao Yai National Park. Bangkok: Green World Foundation. 2000, 120 p.
- STEPPAN S., ADKINS R., ANDERSON J., Phylogeny and divergence-date estimates of rapid radiations in Muroid rodents based on multiple nuclear genes. *Syst. Biol.*, 2004, 53(4):533-553.
- STEPPAN S.J., ADKINS R.M., SPINKS P.Q., HALE C., Multigene phylogeny of the Old World mice, Murinae, reveals distinct geographic lineages and the declining utility of mitochondrial genes compared to nuclear genes. *Mol. Phylogenet. Evol.*, 2005, 37(2):370-88.
- SUZUKI H., SATO J.J., TSUCHIYA K., LUO J., ZHANG Y., WANG Y., JIANG X., Molecular phylogeny of wood mice (*Apodemus*, Muridae) in East Asia. *Biol. J. Linn. Soc.*, 2003, 80, 3, 469.
- SUZUKI H., SHIMADA T., TERASHIMA M., TSUCHIYA K., APLIN K., Temporal, spatial, and ecological modes of evolution of Eurasian *Mus* based on mitochondrial and nuclear gene sequences. *Mol. Phylogenet. Evol.*, 2004, 33, 3, 626-646.
- TATE G.H.H., Results of the Archbold Expeditions. No. 13. Some Muidae of the Indo-Australian region. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 1936, 72:501-728.
- TATE G.H.H., ARCHBOLD R., Results of the Archbold Expeditions. No. 3. Twelve apparently new forms of Muridae other than *Rattus* from the Indo-Australian region. *American Museum Novitates*, 1935, 803:1-9.
- TAYLOR J.M., CALABY J.H., *Rattus fuscipes*. *Mammalian Species*, 1988a, 298:1-8.
- TAYLOR J.M., CALABY J.H., *Rattus lutreolus*. *Mammalian Species*, 1988b, 299:1-7.
- TAYLOR J.M., CALABY J.H., VAN DEUSEN H.M., A revision of the genus *Rattus* (Rodentia, Muridae) in the New Guinean region. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 1982, 173:177-336.
- TERASHIMA M., SUYANTO A., TSUCHIYA K., MORIWAKI K., JIN M-L., SUZUKI H., Geographic variation of *Mus caroli* from East and Southeast Asia based on mitochondrial cytochrome *b* gene sequences. *Mammal Study*, 2003, 28, 67-72 p.
- THOMAS O., New Asiatic and Australasian bats, and a new bandicoot. *Annals and Magazine of Natural History*, 1914. ser. 8, 13:439-444.
- TIMM R.M., Norway rats. Prevention and control of wildlife damage, Lincoln: University of Nebraska, 1994, B105-B120 p.
- TRINH K., STORM D.R., Vomeronasal organ detects odorants in absence of signaling through main olfactory epithelium. *Nat. Neurosci.*, 2003, 6, 5, 519-525.
- TSUCHIYA K., YOSIDA T.H., MORIWAKI K., OHTANI S., KULTA-UTHAI S., SUDTO P., Karyotypes of twelve species of small mammals from Thailand. Report of the Hokaido Institute of Public Health, 1979, 29:26-29.
- TURCHIN P., HANSKI I., Contrasting alternative hypotheses about rodent cycles by translating them into parameterized models. *Ecol. Lett.*, 2001, 4, 3, 267-276.
- TWIGG G.I., The black rat *Rattus rattus* in the United Kingdom in 1989. *Mammal Review*, 1992, 22:33-42.
- VAUGHAN T.A., RYAN J.M., CZAPLEWSKI N.J., *Mammalogy*. Fourth Edition. Philadelphia: Saunders College Publishing, 2000, 565 pp.
- VERHEYEN W.N., Contribution à l'étude systématique de *Mus sorella* (Thomas, 1909). *Revue de Zoologie et de Botanique Africaines*, 1965, 71:194-212.
- VERNEAU O., CATZEFLIS F., FURANO A.V. Determination of the Evolutionary Relationships in *Rattus* sensu lato (Rodentia : Muridae) Using L1 (LINE-1) Amplification Events, *J. Mol. Evol.*, 1997, 45(4):424-436.
- VERNEAU O., CATZEFLIS F., FURANO A.V. Determining and dating recent rodent speciation events by using L1 (LINE-1) retrotransposons. *PNAS*, 1998, 95:11284-11289.
- VIEGAS-PEQUIGNOT E., DUTRILLAUX B., PROD'HOMME M., PETTER F., Chromosomal phylogeny of Muridae: a study of 10 genera. *Cytogenetics and Cell Genetics*, 1983, 35:269-278.

- WILSON D.E., REEDER D.M., Eds. 2005. Mammal Species of the World. 3rd ed. Johns Hopkins University Press, 2005, 2142 pp.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, Ecology and control of rodents of public health importance. Report of a WHO scientific group. Technical report series 553, Geneva: WHO, 1974, 42 p.
- WROUGHTON R.C., Notes on the classification of the bandicoots. Journal of the Bombay Natural History Society, 1908, 18:736-752.
- YOM-TOV Y., YOM-TOV S., MOLLER H., Competition, coexistence, and adaptation amongst rodent invaders to Pacific and New Zealand islands. J. Biogeogr. 1999, 26, 5, 947-958.
- YONG H.S., Karyotypes of Malayan rats (Rodentia-Muridae, genus *Rattus Fischer*). Chromosoma, 1969, 27:245-267.
- YONG H.S., Chromosomes of the pencil-tailed tree-mouse *Chiropodomys gliroides*. Malayan Nature Journal, 1973, 26:159-162.
- YONG H.S., Heterochromatin blocks in the karyotype of the pencil-tailed tree-mouse, *Chiropodomys gliroides* (Rodentia, Muridae). Experientia, 1983, 39:1039-1040.
- YOSIDA T.H., Cytogenetics of the black rat: Karyotype evolution and species differentiation. Tokyo: University of Tokyo Press, 1980, 256 pp.
- YOSIDA T.H., HARADA M., A population survey of the chromosome polymorphism in the black rats (*Rattus rattus*) collected in the Osaka-city, Japan. Proceedings of the Japanese Academy, 1985, ser. B, 61:208-211.
- YOSIDA T.H., UDAGAWA T., ISHIBASHI M., MORIWAKI K., YABE T., HAMADA T., Studies on the karyotypes of the black rats distributed in the Pacific and South Pacific islands, with special regard to the border line of the Asian and Oceanian type black rats on the Pacific Ocean. Proceedings of the Japan Academy, 1985, 61, ser. B:71-74.

B. Zoonoses transmises par les rongeurs

1. Références générales

- ACHA P.N., SZYFRES B., Zoonoses and communicable diseases common to man and animals. Pan American Health Organization. 1980, 693 p.
- ASHFORD R.W., When Is a Reservoir Not a Reservoir? Emerg. Infect. Dis. 2003, 9, 11, 1495-1496
- CHIVIAN E, Biodiversity: its importance to human health. Harvard Medical School, Boston, 2003.
- CURTIS A., Using a spatial filter and a geographic information system to improve rabies surveillance data. Emerg. Inf. Dis., 1999, 5, 5, 603-606.
- DAVIS S, CALVET E., Fluctuating rodent populations and risk to humans from rodent-borne zoonoses. Vector Borne Zoonotic Dis., 2005, 5(4):305-314.
- GITHEKO A.K., LINDSAY S.W., CONFALONIERI U.E., PATZ J. A., Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis. B. World Health Organ., 2000, 78, 9, 1136-1147.
- GONZALEZ J.P., Arénavirus du nouveau monde : virus en evolution et maladies émergentes. Feuilles de biologie, 2002, XXXXIII, 247, 23-32.
- GONZALEZ J.P., BARBAZAN P., BAILLON F., CAPELLE J., CHEVALLIER D., CORNET J.P., FOURNET F., HERBRETEAU V., HUGOT J.P., LE GOUILH M., LEROY E., MONDET B., NITATPATTANA N., RICAN S., SALEM G., TUNTRAPASARAT W. AND SOURIS M., Fundamentals, Domains, and Diffusion of Disease Emergence: Tools and Strategies for a New Paradigm. In: Tibayrenc M. (Ed.), Encyclopedia of infectious diseases: Modern methodologies. John Wiley & Sons, 2007, 525-568.
- KEESING F., HOLT R.D., OSTFELD R.S., Effects of species diversity on disease risk. Ecology Letters, 2006, 9(4):485-498.
- Mc SWEEGAN E., The infectious diseases impact statement: a mechanism for addressing emerging diseases, Emerg. Inf. Dis., 1996, 2, 2, 103-108.

- MORAND S., KRASNOV B.R., POULIN R., Global change, biodiversity and the future of mammals-parasite interactions. In: MORAND S., KRASNOV B.R., POULIN R. (Eds) Micro-mammals and macroparasites: from evolutionary ecology to management. Tokyo: Springer-Verlag, 2006, pp. 617-635.
- OSTFELD R.S., KEESING F., Biodiversity and disease risk: The case of Lyme disease. *Cons. Biol.*, 2000, 14:722-728.
- RUPPEL A., DOENHOFF M. J. Vector Biology and the Control of Parasitic Diseases. *Parasitol. Today*, 1998, 14, 8, 299-300.
- SAUNDERS L.Z., Virchow's contributions to veterinary medicine: celebrated then, forgotten now. *Vet. Pathol.*, 2000, 37(3):199-207.
- SUTHERST R.W., INGRAM J.S.I., SCHERM H., Global Change and Vector-borne Diseases. *Parasitol. Today* 1998, 14, 8, 297-299.
- WELLS K, SMALES L.R., KALKO E.K.V., PFEIFFER M., Impact of rain-forest logging on helminth assemblages in small mammals (Muridae, Tupaiidae) from Borneo. *J. Trop. Ecol.*, 2007, 23:1-9.
- WOOLHOUSE M.E.J. et al., Biological and biomedical implications of the co-evolution of pathogens and their hosts. *Nature Genetics*, 2002, 32: 569-577.
- WOOLHOUSE M.E.J., HAYDON D.T., ANTIA R., Emerging pathogens: The epidemiology and evolution of species jumps. *Trends Ecol. Evol.*, 2005, 20: 238-44.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, Environmental management for vector control. Fourth report of the WHO Expert Committee on Vector Biology and Control. WHO Technical Report Series, 1980, 649, 84 p.

2. Babésiose

- DANTRAKOOL A., SOMBOON P., HASHIMOTO T., SAITO-ITO A., Identification of a new type of Babesia species in wild rats (*Bandicota indica*) in Chiang Mai Province, Thailand. *J Clin Microbiol.*, 2004, 42, 2, 850-854.
- SAITO-ITO A., YANO Y., DANTRAKOOL A., HASHIMOTO T., TAKADA N., Survey of rodents and ticks in human babesiosis emergence area in Japan: first detection of Babesia microti-like parasites in *Ixodes ovatus*. *J. Clin. Microbiol.*, 2004, 42, 5, 2268-2270.

3. Bartonella

- BOULOUIS H.J., CHANGB C.C., HENNC J.B., KASTENC R.W., CHOMELC B.B., Factors associated with the rapid emergence of zoonotic Bartonella infections. *Vet. Res.*, 2005, 36:383-410.
- CASTLE K.T., KOSOY M. LERDTHUSNEE K., PHELAN L., BAI Y., GAGE K.L., LEEPITAKRAT W., MONKANNA T., KHLAIMANEE N., CHANDRANOI K., JONES J.W., COLEMAN R.E., Prevalence and diversity of *Bartonella* in rodents of northern Thailand: a comparison with *Bartonella* in rodents from southern China. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 2004, 70, 4, 429-433.
- MARUYAMA S., SAKAI T., MORITA Y., TANAKA S., KABEYA H., BOONMAR S., POAPOLATHEP A., CHALARMCHAIKIT T., CHANG C.C., KASTEN R.W., CHOMEL B.B., KATSUBE Y. Prevalence of Bartonella species and 16s rRNA gene types of Bartonella henselae from domestic cats in Thailand. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 2001, 65:783-787.
- PAROLA, P., SANOGO, O. Y., LERDTHUSNEE, K., ZEAITER, Z., CHAUVANCY, G., GONZALEZ, J. P., MILLER, R. S., TELFORD, S. R., III, WONGSRICHANALAI, C., RAOULT, D. Identification of Rickettsia spp. and Bartonella spp. in Fleas from the Thai-Myanmar Border. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 2003, 990:173-181.

4. Bilharziöse

- DUPLANTIER J.M., SÈNE M., Rodents as reservoir hosts in the transmission of Schistosoma mansoni in Richard-Toll, Senegal, West Africa. *J. Helminthology*, 2000, 74, 129-135.

Théron A. and Pointier J. P., 1995. Ecology, dynamics, genetics and divergence of trematode populations heterogenous environments: the model of *Shistosoma mansoni* in the insular focus of Guadaloupe. *Research and Review in Parasitology*. 55: 49-64

5. Borréliose

Trape J.F., Duplantier J.M., Bouganali H., Godeluck B., Legros F., Cornet J. P. and Camicas J. L. 1991. Tick-borne borreliosis in West Africa. *The Lancet*. 337: 473-475.

Trape J.F., Godeluck B., Diatta G., Rogier C., Legros F., Albergel J., Pépin Y. and Duplantier J.-M. 1996. The spread of tick-borne borreliosis in West Africa and its relation to sub-saharan drought. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 54: 289-293.

6. Echinococcose

GIRAUDOUX P., DELATTRE P., TAKAHASHI K., RAOUL F., QUÉRÉ J. P., CRAIG P., VUITTON D., Transmission ecology of *Echinococcus multilocularis* in wildlife: what can be learned from comparative studies and multi-scale approaches? In: *Cestode Zoonoses: echinococcosis and cysticercosis*, Eds. Craig P., Pawlowski Z., Amsterdam: IOS Press, 2002, 251-266 p.

GIRAUDOUX P., RAOUL F., BARDONNET K., VUILLAUME P., TOURNEUX F., CLIQUET F., DELATTRE P., VUITTON D., Alveolar echinococcosis: characteristics of a possible emergence and new perspectives in epidemiosurveillance. *Médecine et Maladies Infectieuses*, 2001, 31, 247-256.

7. Hantaviroses et arénaviroses

AUYTHAYA P.I., Hantavirus among urban rats from slum areas in Bangkok. Master thesis. Mahidol University, 1991, 91 p.

BOONE J. D., McGWIRE K. C., OTTESON E. W., DEBACA R. S., KUHN E. A., VILLARD P., BRUSSARD P. F., St-JEOR S. C., Remote sensing and geographic information systems: charting Sin Nombre Virus infections in deer mice. *Emerg. Infect. Dis.*, 2000, 6, 3, 248-258.

BUSCH M., CAVIA R., CARBAJO A.E., BELLOMO C., GONZALEZ CAPRIA S., PADULA P., Spatial and temporal analysis of the distribution of hantavirus pulmonary syndrome in Buenos Aires Province, and its relation to rodent distribution, agricultural and demographic variables. *Trop. Med. Int. Health*, 2004, 9, 4, 508-519.

CAREY D.E., REUBEN R., PANICKER K.N., SHOPE R.E., MYERS R.M., Thottapalayam virus: a presumptive arbovirus isolated from a shrew in Indian. *J. Med. Res.*, 1971, 59, 1758-1760.

DESMOULINS C., El Niño pourrait être responsable d'une épidémie d'infection à hantavirus. *Le quotidien médecin*, 1998, 6343, p.13.

ELLIOT R.M., SCHMALJOHN C.S., COLLETT M.S., *Bunyaviridae* genome structure and gene expression. *Curr. Top. Microbiol. Immunol.*, 1991, 69, 91-141.

ELWELL M.R., WARD G.S., TINGPALAPONG M., LEDUC J.W., Serologic evidence of Hantaan-like virus in rodents and man in Thailand. *Southeast Asian J. trop. Med. Public Health*, 1985, 16, 349-354.

GLASS G. E., CHEEK J. E., PATZ J. A., SHIELDS T.M., DOYLE T.J., THOROUGHMAN D.A., HUNT D.K., ENSCORE R.E., GAGE K.L., IRLAND C., PETERS C.J., BRYAN R., Using remotely sensed data to identify areas at risk for hantavirus pulmonary syndrome. *Emerg. Infect. Dis.*, 2000, 6, 3, 238-247.

GONZALEZ J.P., McCORMICK J.B., BAUDON D., GAUTUN J.P., MEUNIER D.Y., DOURNON E., GEORGES A.J., Serological evidence for Hantaan-related virus in Africa. *The Lancet*, 1984, 324, 1036-1037.

HERBRETEAU V., GONZALEZ J.P., SUPUTTAMONGKOL Y., HUGOT J.P., Is human hantaviriosis underestimated in South Asia? *Mammal Study*, 2005, 30(sp1):S83-S85.

- HERBRETEAU V., GONZALEZ J.P., HUGOT J.P., Implication of Phylogenetic Systematics of Rodent-borne Hantaviruses on their Distribution. *Ann NY Acad Sci*, 2006, 1081:39-56.
- HERBRETEAU V., HENTTONEN H., YOSHIMATSU K., GONZALEZ J.P., SUPUTTAMONGKOL Y., AND HUGOT J.P., Hantavirus coevolution with their rodent hosts. In: Tibayrenc M. (Ed.), *Encyclopedia of infectious diseases: Modern methodologies*. John Wiley & Sons, 2007, 243-264.
- HINSON E.R., SHONE S.M., ZINK C., GLASS G.E., KLEIN S.L., Wounding: the primary mode of Seoul virus transmission among male Norway rats. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 2004, 70, 3, 310-317.
- HJELLE B., JENISON S.A., GOADE D.E., GREEN W.B., FEDDERSEN R.M., SCOTT A.A., Hantaviruses: clinical, microbiologic and epidemiologic aspects, *Crit. Rev. Clin. Lab. Sci.*, 1995, 32469–508.
- HUGOT J.P., PLYUSNINA A., HERBRETEAU V., NEMIROV K., LAAKKONEN J., LUNDKVIST A., SUPUTTAMONGKOL Y., HENTTONEN H., PLYUSNIN A. Genetic analysis of Thailand hantavirus in *Bandicota indica* trapped in Thailand. *Virology Journal*, 2006, 3(1):72.
- KANTAKAMALAKUL W., SIRITANTIKORN S., THONGCHAROEN P., SINGCHAI C., PUTHAVATHANA P., Prevalence of rabies virus and Hantaan virus infections in commensal rodents and shrews trapped in Bangkok. *J. Med. Assoc. Thai*. 2003, 86, 11, 1008-1014.
- KARIWA H., YOSHIMATSU K., SAWABE J. et al. Genetic diversities of Hantaviruses among rodents in Hokkaido, Japan and Far East Russia. *Virus Res.*, 1999, 59, 219-228.
- LeDUC J.W., SMITH G.A., CHILDS J.E., PINHEIRO F.P., MAIZTEGUI J.I., NIKLASSON B., ANTONIADES A., ROBINSON D.M., KHIN M., SHORTRIDGE K.F., WOOSTER M.T., ELWELL M.R., ILBERY P.L.T., KOECH D., ROSA E.S.T., ROSEN L., Global survey of antibody to Hantaan-related viruses among peridomestic rodents. *Bull. WHO*, 1986, 64, 1, 139-144.
- NITATPATTANA N., CHAUVANCY G., DARDAINE J., POBLAP T., JUMRONSAWAT K., TANGKANAKUL W., POONSUKSOMBAT D., YOKSAN S., GONZALEZ J.P., Serological study of hantavirus in the rodent population of Nakhon Pathom and Nakhon Ratchasima provinces Thailand. *Southeast Asian J. Trop. Med. Pub. Health*, 2000, 31, 2, 277-282.
- NITATPATTANA N., HENRICH T., PALABODEEWAT S., TANGKANAKUL W., POONSUKSOMBAT D., CHAUVANCY G., BARBAZAN P., YOKSAN S., GONZALEZ J.P., Hantaan virus antibody prevalence in rodent populations of several provinces of north-eastern Thailand. *Trop. Med. Int. Health*. 2002, 7, 7, 1-6.
- OKUMURA M., YOSHIMATSU K., KUMPERASART S., NAKAMURA I., OGINO M., TARUISHI M., SUNGDEE A., PATTAMADILOK S., IBRAHIM I.N., ERLINA S., AGUI T., YANAGIHARA R., ARIKAWA J., Development of Serological Assays for Thottapalayam Virus, an Insectivore-Borne Hantavirus, *Clin. Vaccine Immunol.*, 2007, 14:173-181.
- PATTAMADILOK S., LEE B.H., KUMPERASART S., YOSHIMATSU K., OKUMURA M., NAKAMURA I., ARAKI K., KHOPRASERT Y., DANGSUPA P., PANLAR P., JANDRIG B., KRUGER D.H., KLEMPA B., JAKEL T., SCHMIDT J., ULRICH R., KARIWA H., ARIKAWA J., Geographical distribution of hantaviruses in Thailand and potential human health significance of Thailand virus. *Am J Trop Med Hyg.*, 2006, 75(5):994-1002.
- PINI N., LEVIS S., CALDERON G., RAMIREZ J., BRAVO D., LOZANO E., et al., Hantavirus infection in humans and rodents, northwestern Argentina. *Emerg. Infect. Dis.*, 2003, 9, 9, 1070-1076.
- PLYUSNIN A, VAPALAHTI O, VAHERI A., Hantaviruses: genome structure, expression and evolution. *J. Gen. Virol.*, 1996, 77, 2677–2687.
- PLYUSNIN A., MORZUNOV S.P., Virus evolution and genetic diversity of hantaviruses and their rodent hosts, *Curr. Top. Microbiol. Immunol.*, 2001, 256, 47–75.
- REYNES J.M., SOARES J.L., HUE T., BOULOY M., SUN S., KRUY S.L., SAINTE MARIE F.F., ZELLER H., Evidence of the presence of Seoul virus in Cambodia. *Microbes Infect.*, 2003, 5 ; 9, 769-773.
- SALAZAR-BRAVO J., DRAGOO J. W., BOWEN M. D., PETERS C. J., KSIAZEK T. G., YATES T. L., Natural nidality in Bolivian hemorrhagic fever and the systematics of the reservoir species. *Infect. Genet. Evol.*, 2002, 1, 191-199.

- SAUVAGE F., LANGLAIS M., YOCCOZ N.G., PONTIER D. Modelling Hantavirus in fluctuating populations of bank voles: the role of indirect transmission on virus persistence. *J. Animal Ecol.*, 2003, 72, 1–13.
- SAWASDIKOSOL S., TAMURA M., JAMJIT P., Antibody to hemorrhagic fever with renal syndrome in man and rat in Thailand. *Bull. Dept. Med. Sci.*, 1989, 31, 125-130.
- SCHMALJOHN C., HJELLE B., Hantaviruses: a global disease problem. *Emerg. Infect. Dis.*, 1997, 3, 2, 95-104.
- SUPUTTHAMONGKOL Y., NITATPATTANA N., CHAYAKULKEEREE M., PALABODEEWAT S., YOKSAN S., GONZALEZ J.P., Hantavirus infection in Thailand: first clinical case report. *Southeast Asian J. Trop. Med. Pub. Health*, 2005, 36, 1, 217-220.
- TANTIVANICH S., CHONGSA-NGUAN M., IMPAND P., POTHU U., IMLARP S., Serological studies of hantaan virus among Thai people and urban rats. *J. Parasito. Trop. Med. Ass. Thai.*, 1988, 11, 76.
- TANTIVANICH S., AYUTHAYA P.I., USAWATTANAKUL W., IMPHAND P., Hantaanvirus among urban rats from a slum area in Bangkok *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health.*, 1992, 23, 3, 504-509
- TORREZ-PÉREZ F., NAVARRETE-DROGUETT J., ALDUNATE R., YATES T.L., MERTZ G.J., VIAL P.A., FERRÉS M., MARQUET P.A., PALMA R.E., Peridomestic small mammals associated with confirmed cases of human hantavirus disease in Southcentral Chile. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 2004, 70, 3, 305-309.
- YATES T.L., MILLS J.N., PARMENTER C.A., KSIAZEK T.G., PARMENTER R.R., VANDE CASTLE J.R., CALISHER C.H., NICHOL S.T., ABBOTT K.D., YOUNG J.C., MORRISON M.L., BEATY B.J., DUNNUM J.L., BAKER R.J., SALAZAR-BRAVO J., PETERS C.J., The ecology and evolutionary history of an emergent disease: Hantavirus pulmonary syndrome. *Bioscience*, 2002, 52:989-998.

8. Hépatite E

- FAVOROV M.O., KOSOY M.Y., TSAREV S.A., CHILDS J.E., MARGOLIS H.S., Prevalence of Antibody to Hepatitis E Virus among Rodents in the United States, *J. Infect. Dis.*, 2000, 181:449-455.
- HE J., INNIS B.L., SHRESTHA M.P., CLAYSON E.T., SCOTT R.M., LINTHICUM K.J., MUSSER G.G., GIGLIOTTI S.C., BINN L.N., KUSCHNER R.A., VAUGHN D.W. Evidence that Rodents Are a Reservoir of Hepatitis E Virus for Humans in Nepal. *J. Clin. Microbiol.* 2006, 44: 1208 retracted.
- SCHMIDT-CHANASIT J., KHOPRASERT Y., NITSCHKE A., SCHAEFER S., CONRATHS F.J., DOERR H.W., JÄKEL T., ULRICH R. Evidence for Hepatitis E Virus infection among rodents in Thailand. *MEEGID VIII*, Bangkok, 2006.

9. Leishmaniose

- FICHET-CALVET E., JOMAA I., ZAAFOURI B., ASHFORD R.W., BEN-ISMAIL R., DELATTRE P., The spatio-temporal distribution of a rodent reservoir host of cutaneous leishmaniasis. *J. Applied Ecol.*, 2000, 37, 4, 603-615.
- FICHET-CALVET E., JOMAA I., BEN ISMAIL R. ASHFORD R.W., *Leishmania major* infection in the fat sand rat *Psammomys obesus* in Tunisia: interaction of host and parasite populations. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, 2003, 97, 6, 593-603.
- RIOUX J.A., Trente ans de coopération franco-marocaine sur les leishmanioses : dépistage et analyse des foyers. Facteurs de risque. Changements climatiques et dynamique noso-géographique. Association des anciens élèves de l'Institut Pasteur, 2001, 168, 90-101.

10. Leptospirose

- ARIMITSU Y., KOBAYASHI S., MATUHASI T., SUZUKI H., YAMAJI Y., SUPRASERT S., SUPAWADEE J., Epidemiological studies on leptospirosis in Chiang Mai (Thailand). *Epidemiol. Infect.*, 1987, 98, 1, 97-100.

- ARIYAPRUCHYA B., SUNGKANUPARPH S., DUMRONGKITCHAIPORN S., Clinical presentation and medical complication in 59 cases of laboratory-confirmed leptospirosis in Bangkok. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health.*; 2003, 34, 1, 159-164.
- BARCELLOS C., LAMMERHIRT C.B., ALMEIDA M.A.B. et al., Spatial distribution of leptospirosis in Rio Grande do Sul, Brazil: recovering the ecology of ecological studies. *Cad. Saúde Pública*, 2003, 19, 5, 1283-1292.
- BARCELLOS C., SABROZA P.C., The place behind the case: leptospirosis risks and associated environmental conditions in a flood-related outbreak in Rio de Janeiro. *Cad Saude Publica*, 2001, 17 Suppl, 59-67.
- BARCELLOS C., SABROZA P.C., Socio-environmental determinants of the leptospirosis outbreak of 1996 in western Rio de Janeiro: a geographical approach. *Int. J. Environ. Health Res.*, 2000, 10, 4, 301-13.
- BHARTI A.R., NALLY J.E., RICARDI J.N., MATTHIAS M.A., DIAZ M.M., LOVETT M.A., LEVETT P.N., GILMAN R.H., WILLIG M.R., GOTUZZO E., VINETZ J.M., Leptospirosis: a zoonotic disease of global importance. *Lancet Infect Dis.* 2003, 12, 757-771.
- BOONYOD D., TANJATHAN S., LUPPANAKUL P., KIATVITCHUKUL C., JITTAWIKUL T., Leptospira in patients sera in the lower north. *J. Health Sci. (Thai)*, 2001, 10, 3, 508-515.
- BOONPACKNAVIG S., HARINASUTA C., POTHA U., Studies on leptospirosis in rats in Bangkok. *J. Med. Ass. Thailand*, 1965, 48:352.
- BORIRAJ V., KAMSAWAT S., PETKANCHANAPONG W., WANGROONGSARB P., NAIGOWIT P., Application of Immunofluorescent antibody Technique for Rapid Diagnosis of leptospirosis. *Bull. Dept. Med. Sci.*, 1998, 40, 1, 57-65.
- BRENNER D.J., KAUFMANN A.F., SULZER K.R., STEIGERWALT A.G., ROGERS F.C., WEYANT R.S., Further determination of DNA relatedness between serogroups and serovars in the family Leptospiraceae with a proposal for *Leptospira alexanderi* sp. nov. and four new *Leptospira* genomospecies. *Int. J. Syst. Bacteriol.*, 1999, 49:839-858.
- BUNNAG T., POTHA U., THIRACHANDRA S., IMPAND P., Leptospirosis in man and rodents in North and Northeast Thailand. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*, 1983, 14, 4, 481-487.
- CALEY P., RAMSEY, D., Estimating disease transmission in wildlife, with emphasis on leptospirosis and bovine tuberculosis in possums, and effects of fertility control. *J. Applied Ecology*, 2001, 38, 6, 1362-1370.
- CHAROENRATANAKUL S., Tropical infection and the lung. *Monaldi Arch. Chest. Dis.*, 1997, 52, 4, 376-379.
- CHAROONRUANGRIT S., BOONPACKNAVIG S., Leptospirosis at Chulalongkorn Hospital: a report of 54 cases. *J. Med. Ass. Thailand*, 1964, 47:653.
- DEEPRADIT S., Development of simple immunoassays for human leptospirosis using endemic leptospiral antigens. Bangkok: Mahidol University, Faculty of graduate studies (Public health). 2002, 135 p.
- DEUMTAN W. 2003. Serosurvey of leptospirosis among domestic animals in Bangkok and the northeast of Thailand. Bangkok: Mahidol University, Faculty of graduate studies (Tropical medicine). 123 p.
- DOUGLIN C.P., JORDAN C., ROCK R., HURLEY A., LEVETT P.N., Risk factors for severe Leptospirosis in the Parish of St. Andrew, Barbados. *Emerg. Infect. Dis.*, 1997, 3, 1, 78-80.
- DOUNGCHAWEE G., PHULSUKSOMBAT D., NAIGOWIT P., KHOAPRASERT Y., SANGJUN N., KONGTIM S., SMYTHE L. Survey of leptospirosis of small mammals in Thailand. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*, 2005, 36(6):1516-22.
- FAINE S., ADLER B., BOLIN C., PEROLAT P., Text-book of *Leptospira* and Leptospirosis, 2nd edition. Melbourne: MediSci. 1999.
- GANOZA C.A., MATTHIAS M.A., COLLINS-RICHARDS D., BROUWER K.C., CUNNINGHAM C.B., SEGURA E.R., GILMAN R.H., GOTUZZO E., VINETZ J.M., Determining risk for severe leptospirosis by molecular analysis of environmental surface waters for pathogenic *Leptospira*. *PLoS Med.*, 2006, 3(8):e308.
- HEISEY G.B., NIMMANITYA S., KARNCHANACHETANEE C., TINGPALAPONG M., SAMRANSAMRUAJKIT S., HANSUKJARIYA P., ELWELL M.R., WARD G.S., Epidemiology

- and characterization of leptospirosis at an urban and provincial site in Thailand. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*, 1988, 19, 2, 317-322.
- HENRY R.A., JOHNSON R.C., BOHLOOL B.B., SCHMIDT E.L., Detection of *Leptospira* in soil and water by immunofluorescence staining. *Applied Microbiol.*, 1971, 21, 5, 953-956.
- HENRY R.A., JOHNSON R.C., Distribution of the Genus *Leptospira* in soil and water. *Applied Environ Microb*, 1978, 35, 3, 492-499
- HERBRETEAU V., DEMORAES F., KHAUNGAEW W., HUGOT J.P., GONZALEZ J.P., KITTAYAPONG P., SOURIS M., Use of geographic information system and remote sensing for assessing environment influence on leptospirosis incidence, Phrae province, Thailand. *International Journal of Geoinformatics*, 2006, 2(4)43-49.
- IMVITHAYA A., WARACHIT P., NAIGOWIT P., JENJITTIKUL M., PATTAMADILOK S., WOOTTA W., PETKANJANAPONG W., WANGRUNGSARB P., PANGJAI D., KARNPIRASART S., PANYARUGGIT P., YASEANG S., THERMSAREKUL S., ARMINJAREARN P., Survey of Host Reservoir of Rodent-Borne Diseases in Endemic Areas, Thailand 1999. *J. Health Sci. (Thai)*, 2001, 10, 3, 526-532.
- KAGER P.A., VanGORP E.C., VanTHIEL P.P., [Fever and chills due to leptospirosis after travel to Thailand]. *Ned Tijdschr Geneesk*, 2001, 27, 145, 4, 184-186.
- KAMSAWAT S., PETKAJANAPONG V., WANGROONSAUB P., NAIGOWIT P., KUSUM M., BORIRAJ V., Serosurveillance for Leptospirosis in 1991 - 1993. *Bull Dept Med Sci*, 1996, 35, 2, 307-315.
- KARIV R., KLEMPFNER R., BARNEA A., SIDI Y.I., SCHWARTZ E., The changing epidemiology of Leptospirosis in Israel. *Emerg. Infect. Dis.*, 2001., 7, 6, 990-992.
- KHAIRANI-BEJO S., BAHAMAN A.R., ZAMRI-SAAD M., MUTALIB A. R., 2004 The Survival of *Leptospira interrogans* Serovar Hardjo in the Malaysian Environment. *J. Anim. Vet. Adv.* 3, 3, 123-129.
- KIATBOONSRI S., VATHESATOGIT P., CHAROENPAN P., Adult respiratory distress syndrome in Thai medical patients. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*, 1995, 26, 4, 774-780.
- KOLLARS T.M. Jr, PHULSUKSOMBATI D., KINGNATE D., PRACHUMSRI J., RACHPHAEW N., MONKANNA T., GETTAYAKAMIN M., Antibodies to leptospirosis in rodents from Thailand using a modified human diagnostic assay. *J. Med. Assoc. Thai*, 2002, 85, 1, 67-70.
- KOSITANONT U., NAIGOWIT P., IMVITHAYA A., SINGCHAI C., PUTHAVATHANA P., Prevalence of antibodies to *Leptospira* serovars in rodents and shrews trapped in low and high endemic areas in Thailand. *J. Med. Assoc. Thai*, 2003, 86, 2, 136-42.
- KUPEK E., de SOUSA SANTOS FAVERSANI M.C., de SOUZA PHILIPPI J.M., The relationship between rainfall and human leptospirosis in Florianopolis, Brazil, 1991-1996. *Braz. J. Infect. Dis.*, 2000, 4, 3, 131-134.
- KUSUM M., BOONSARTHORN N., BIAKLANG M., SINA U., SAWANPANYALERT P, NAIGOWIT P, Comparison of leptospiral serovars identification by serology and cultivation in northeastern region, Thailand. *J. Med. Assoc. Thai*, 2005, 88(8):1098-1102.
- LEELARASAMEE A., CHUPAPRAWAN C., CHENCHITTIKUL M., UDOMPANTHURAT S., Etiologies of acute undifferentiated febrile illness in Thailand. *J. Med. Assoc. Thai*, 2004, 87, 5, 464-472.
- LEVETT P.N., Leptospirosis. *Clinical microbiology reviews*, 2001, 14, 2, 296-326.
- MATTHIAS M.A., DÍAZ M.M., CAMPOS K.J., CALDERON M., WILLIG M.R., PACHECO V., GOTUZZO E., GILMAN R.H., VINETZ J.M. Diversity of bat-associated *Leptospira* in the Peruvian Amazon inferred by bayesian phylogenetic analysis of 16S ribosomal DNA sequences. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 2005, 73(5):964-974.
- MEITES E., JAY M.T., DERESINSKI S., Reemerging leptospirosis, California. *Emerg. Infect. Dis.*, 2004, 10, 3, 406-412.
- MILLER D.A., WILSON M.A., BERAN G.W., Relationship between prevalence of *Leptospira interrogans* in cattle, and regional, climatic, and seasonal factors. *Am. J. Vet. Res.*, 1991, 52, 1766-1768.
- MONTIAN-ARSANA S., KUSUM M., NAIGOWIT P., KAMASWAT S., Epidemics of Leptospirosis in North Eastern Provinces of Thailand in 1996. *J. Health Sci. (Thai)*, 1997, 6, 2, 241-248.

- MYINT K.S.A., GIBBONS R.V., MURRAY C.K., RUNGSIMANPHAIBOON K., SUPORNUN, W., SITHIPRASASNA R., GRAY M.R., PIMGATE C., MAMMEN M.P.JR., HOSPENTHAL D.R., Leptospirosis in Kamphaeng Phet Thailand. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 2007, 76:135-138.
- NAIGOWIT P., WANGROONGSARB P., PETKANCHANAPONG W., LUEPAKTRA O., WARACHIT P., A comparative evaluation of different methods for the serological diagnosis of leptospirosis. *J. Trop. Med. Parasitol.*, 2000, 23, 59-65.
- NASCIMENTO A.L., KO A.I., MARTINS E.A., ET AL., Comparative genomics of two *Leptospira interrogans* serovars reveals novel insights into physiology and pathogenesis. *J. Bacteriol.*, 2004, 186(7):2164-2172.
- NIWATTAYAKUL K., HOMVIJITKUL J., KHOW O., SITPRIJA V., Leptospirosis in northeastern Thailand: hypotension and complications. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*, 2002, 33, 1, 155-160
- NIWATTAYAKUL K., HOMVIJITKUL J., NIWATTAYAKUL S., KHOW O., SITPRIJA V., Hypotension, renal failure, and pulmonary complications in leptospirosis. *Ren. Fail.*, 2002, 24, 3, 297-305.
- NIWETPATHOMWAT A., DOUNGCHAWEE G., An investigation of rodent leptospirosis in Bangkok, Thailand, *Online Journal of Veterinary Research*, 2005, 9, 2, 95-100.
- NIWETPATHOMWAT A., NIWATTAYAKUL K., DOUNGCHAWEE G. Surveillance of leptospirosis after flooding at Loei Province, Thailand by year 2002. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*. 2005, 36(Suppl 4):202-205.
- ONI O., SUJIT K., KASEMSUWAN S., SAKPUARAM T., PFEIFFER D.U. Seroprevalence of leptospirosis in domesticated Asian elephants (*Elephas maximus*) in north and west Thailand in 2004. *Vet. Rec.*, 2007, 160:368-371.
- PANAPHUT T., DOMRONGKITCHAIPORN S., VIBHAGOOOL A., THINKAMROP B., SUSAENGRAT W., Ceftriaxone compared with sodium penicillin G for treatment of severe leptospirosis. *Clin. Infect. Dis.*, 2003, 36, 12, 1507-1513.
- PANAPHUT T., DOMRONGKITCHAIPORN S., THINKAMROP B., Prognostic factors of death in leptospirosis: a prospective cohort study in Khon Kaen, Thailand. *Int. J. Infect. Dis.*, 2002, 6, 1, 52-59.
- PAPPACHAN M.J., SHEELA M., ARAVINDAN K.P., Relation of rainfall pattern and epidemic leptospirosis in the Indian state of Kerala. *J. Epidemiol. Community Health*, 2004, 58, 12, 1054.
- PAPPACHAN M.J., MATHEW S., ARAVINDAN K.P., KHADER A., BHARGHAVAN P.V., KAREEM M.M., TUTEJA U., SHUKLA J., BATRA H.V., Risk factors for mortality in patients with leptospirosis during an epidemic in northern Kerala. *Natl. Med. J. India*, 2004, 17, 5, 240-242.
- PASARJ S., TANGKANAKUL W., WANICHAPOL S., CHUNSUTTIWAT S., Leptospirosis in Sakon Nakhon Province. *J. Health Sci.*, 2000, 9, 4, 538-543.
- PETCHCLAI B., SRISARIN A., POTHU U., HIRANRAS S., WONGPAITON V., Evaluation of two screening tests for human leptospirosis. *J. Med. Assoc. Thai*, 1990, 73, 2, 64-7.
- PETCHCLAI B., HIRANRAS S., KUNAKORN M., POTHU U., LIEMSUWAN C., Enzyme-linked immunosorbent assay for leptospirosis immunoglobulin M specific antibody using surface antigen from a pathogenic *Leptospira*: a comparison with indirect hemagglutination and microagglutination tests. *J. Med. Assoc. Thai*, 1992, 75 Suppl. 1, 203-208.
- PHRAISUWAN P., WHITNEY E.A., THARMAPHORNPILAS P., GUHARAT S., THONGKAMSAMUT S., ARESAGIG S., et al., Leptospirosis: skin wounds and control strategies, Thailand, 1999. *Emerg. Infect. Dis.*, 2002, 8, 12, 1455-1459.
- PHULSUKSOMBATI D., TANGKANAKUL W., SANGJUN N., KINGNATE D., KHOPRASERT Y., HAMARIT K., Isolation of *Leptospira* from rodents in Nakhonratchasima province, 1998. *J. Health Sci. (Thai)*, 1999, 8, 3, 360-369.
- PHULSUKSOMBATI D., SANGJUN N., KHOPRASERT Y., KINGNATE D., TANGKANAKUL W., *Leptospira* in rodent, northeastern region 1999-2000. *J. Health Sci. (Thai)*, 2001, 10, 3, 516-525.
- PLANK R., DEAN D., Overview of the epidemiology, microbiology, and pathogenesis of *Leptospira* spp. in humans. *Microbes Infect.*, 2000, 2, 1265-1276.

- PORNSIRIPONGSE S., MUANGKLIANG R., USUPARAT P., TANGKANAKUL W., KINGNATE D., CHANPOSRI D., CHUNSUTTIWAT S., Knowledge about Leptospirosis among High Risk Group. *J. Health Sci. (Thai)*, 2001, 10, 2, 253-261.
- PORNSIRIPONGSE S., MUANGKLIANG R., USUPARAT P., TANGKANAKUL W., Chanposri D., CHUNSUTTIWAT S., Socio-cultural risk factors affecting Leptospirosis in Changwat Nakhon Ratchasima. *J. Health Sci. (Thai)*, 2001, 10, 1, 104-115.
- PRADUTKANCHANA J., PRADUTKANCHANA S., KEMAPANMANUS M., WUTHIPUM N., SILPAPOJAKUL K., The etiology of acute pyrexia of unknown origin in children after a flood. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*, 2003, 34, 1, 175-178.
- RATANASANG P., TANGKANAKUL W., NAMRIT S., KAEWHANAM B., Leptospirosis Outbreak in Kosumpisai District, Maharakam Province, 1998. *J. Health Sci. (Thai)*, 2002 11, 225-233.
- SARKAR U., NASCIMENTO S.F., BARBOSA R., MARTINS R., NUEVO H., KALAFANOS I., GRUNSTEIN I., FLANNERY B., DIAS J., RILEY L.W., REIS M.G., KO A.I., Population-based case-control investigation of risk factors for leptospirosis during an urban epidemic. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 2002, 66, 605-610.
- SETHI S, SOOD A, POOJA, SHARMA S, SENGUPTA C, SHARMA M., Leptospirosis in northern India: a clinical and serological study. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*. 2003, 34, 4, 822-825.
- SEJVAR J., BANCROFT E., WINTHROP K., BETTINGER J., BAJANI M., BRAGG S., et al., Leptospirosis in "Eco- Challenge" athletes, Malaysian Borneo, 2000. *Emerg. Infect. Dis.*, 2003, 9, 6, 702-707.
- SEJVAR J., TANGKANAKUL W., RATANASANG P., DOWELL S.F., SANGJUN N., BRAGG S., ASHFORD D., TAPPERO J., An outbreak of leptospirosis, Thailand--the importance of the laboratory. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*, 2005, 36(2):289-295.
- SMITH D.J.W., SELF H.R.M., Observations on the survival of *Leptospira australis* A in soil and water. *J. Hyg.*, 1955, 53, 436-444.
- SMITH C.E.G., TURNER L.H., The effect of pH on the survival of leptospires in water. *Bull. W.H.O.*, 1961, 24, 35-43.
- SMITS H.L., van der HOORN M.A., GORIS M.G., GUSSENHOVEN G.C., YERSIN C., SASAKI D.M., TERPSTRA W.J., HARTSKEERL R.A., Simple latex agglutination assay for rapid serodiagnosis of human leptospirosis. *J. Clin. Microbiol.*, 2000, 38, 3, 1272-1275.
- SUNDHARAGIATI B., HARINASUTA C., POTHA U., Human leptospirosis in Thailand. *Trans. Roy. Soc. Trop. Med. Hyg.*, 1966, 60:361.
- SUPUTTAMONGKOL Y., SARAWISH S., SILPASAKORN S., POTHA U., SILPAPOJAKUL K., NAIGOWIT P., Microcapsule agglutination test for the diagnosis of leptospirosis in Thailand. *Ann, Trop, Med, Parasitol.*, 1998, 92, 7, 797-801.
- SUPUTTAMONGKOL Y., NIWATTAYAKUL K., SUTTINONT C., LOSUWANALUK., LIMPAIBOON R., CHIERAKUL W., WUTHIEKANUN V., TRIENGRIM S., CHENCHITTIKUL M., WHITE N.J., An open, randomized, controlled trial of penicillin, doxycycline, and cefotaxime for patients with severe leptospirosis. *Clin. Infect. Dis.*, 2004, 39, 10, 1417-1424.
- TANGKANAKUL W., KINGNATE D., Leptospirosis epidemic in northeastern provinces, 1997. (a review) *J Health Sci (Thai)*, 1998, 7, 3, 386-395.
- TANGKANAKUL W., YANGKAO K., SROYSRANOI N., SUTHINON C., Risk factors associated with leptospirosis infection among North-eastern Thai villagers. *J. Health Sci.*, 1999, 8, 3, 351-359.
- TANGKANAKUL W., THARMAPHORNPIL P., PLIKAYTIS B.D., BRAGG S., POONSUKSOMBAT D., CHOOMKASIEN P., KINGNATE D., ASHFORD D.A., Risk factors associated with leptospirosis in northeastern Thailand, 1998. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 2000, 63, 3-4, 204-208.
- TANGKANAKUL W., NAIGOWIT P., SMITHSUWAN P., KAEWMALANG P., KHOPRASERT Y., PHULSUKSOMBATI D., Prevalence of asymptomatic Leptospirosis infection among high risk group 1998. *J. Health Sci. (Thai)*, 2000, 9, 1, 56-62.
- TANGKANAKUL W., CHAICHANA S., HAMARIT G., YANGKAO K., UNGCHUSAK K., CHUNSUTTIWAT S., Geographic information related to *leptospire*s infection in wild rodents and human. *J. Health Sci. (Thai)*, 2000, 9, 4, 524-531.

- TANGKANAKUL W., SUTHINON C., Leptospirosis Suspects and Immunological Evaluation. *J. Health Sci.*, 2000, 9, 4, 532–537.
- TANGKANAKUL W., et al., Clinical manifestation of leptospirosis in Sakon Nakorn, 2000. *Journal of the North Eastern Regional Epidemiology*, 2000, 5, 3, 20-25.
- TANGKANAKUL W., SIRIARAYAPORN P., POOL T., UNGCHUSAK K., CHUNSUTTIWAT S., Environmental and travel factors related to leptospirosis in Thailand. *J. Med. Assoc. Thai*; 2001, 84, 12, 1674-1680.
- TANGKANAKUL W., RATANASANG P., Epidemiology of Noticeable Rodent-borne Diseases in 506 Report. *J. Health Sci. (Thai)*, 2003, 12, 6, 1002-1010.
- TANGKANAKUL W., SMITS H.L., JATANASEN S., ASHFORD D.A., Leptospirosis: an emerging health problem in Thailand. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*, 2005, 36, 2, 281-288.
- TANJATHAM S., KHAUNGAEW W., BOONYOD D., Serological survey on *Leptospira* in animals and patients, Prachinburi province. *J. Health Sci.*, 2003, 12, 2, 265-272.
- TANTITANAWAT S., TANJATHAM S. 2003. Prognostic factors associated with severe leptospirosis. *J Med Assoc Thai*; 86(10):925-31.
- van CREVEL R., SPEELMAN P., GRAVEKAMP C., TERPSTRA W.J. 1994. Leptospirosis in travelers. *Clin Infect Dis*, 19, 1, 132-134.
- VONOK L., Sensitivity and specificity of WHO criteria for the diagnosis of leptospirosis in rural Thailand. Bangkok: Mahidol University, Faculty of graduate studies (Epidemiology), 2001, 62 p.
- WANGROONGSARB P., PETKANACHANAPONG W., YASAENG S., IMVITHAYA A., NAIGOWIT P., Survey of leptospirosis among rodents in epidemic areas of Thailand. *J. Trop. Med. Parasitol.*, 2002, 25, 55-58.
- WARD M.P., Clustering of reported cases of leptospirosis among dogs in the United States and Canada. *Preventive Veterinary Medicine*. 2002, 56, 3, 215-226.
- WARD M.P., Seasonality of canine leptospirosis in the United States and Canada and its association with rainfall. *Preventive Veterinary Medicine*. 2002, 56, 3, 203-213.
- WILSON R., FUJIOKA R., Development of a method to selectively isolate pathogenic *Leptospira* from environmental samples. *Water Science and Technology*, 1995, 31, 5-6, 275–282.
- VINETZ J.M., Leptospirosis. *Curr. Opin. Infect. Dis.*, 2001, 14(5):527-538.
- WIWANITKIT V., A note from a survey of some knowledge aspects of leptospirosis among a sample of rural villagers in the highly endemic area, Thailand. *Rural Remote Health*, 2006, 6(1):526.
- WONGSRICHANALAI C., MURRAY C.K., GRAY M., MILLER R.S., McDANIEL P., LIAO W.J., PICKARD A.L., MAGILL A.J., Co-infection with malaria and leptospirosis. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 2003, 68, 5, 583-585.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, Human leptospirosis: guidance for diagnosis, surveillance and control. Geneva: WHO, 2003, 109 p.
- WUTHIEKANUN V., AMORNCHAI P., CHIERAKUL W., CHENG A.C., WHITE N.J., PEACOCK S.J., DAY N.P., Evaluation of immunoglobulin M (IgM) and IgG rapid cassette test kits for diagnosis of melioidosis in an area of endemicity. *J. Clin. Microbiol.*, 2004, 42, 8, 3435-3437.
- WUTHIEKANUN V., SIRISUKKARN N., DAENG SUPA P., SAKARASERANE P., SANGKAKAM A., CHIERAKUL W., SMYTHE L.D., SYMONDS M.L., DOHNT M.F., SLACK A.T., DAY N.P., PEACOCK S.J. Clinical diagnosis and geographic distribution of leptospirosis, Thailand. *Emerg. Infect. Dis.*, 2007, 13(1):124-126.

11. Mélioiïdose

- BRETT P.J., WOODS D.E., Pathogenesis of and immunity to melioidosis. *Acta Trop.* 2000, 74, 201–210.
- CHAOWAGUL W., SUPUTTAMONGKOU Y., DANCE D.A.B., RAJCHANUVANG A., PATTARA-ARECHACHAI J., WHITE N.J. Relapsa in melioidosis: incidence and risk factors. *J. Inf. Dis.*, 1993, 168, 1181-1185.
- CHAOWAGUL W., Recent advance in treatment of severe melioidosis. *Acta Trop.* 2000, 74, 133–137.

- CHAOWAGUL W., WHITE N.J., DANCE D.A., WATTANAGOON Y., NAIGOWIT P., DAVIS T.M., et al., Melioidosis: a major cause of community-acquired septicemia in northeastern Thailand. *J. Infect. Dis.*, 1989, 159, 890–899.
- CHARUCHAIMONTRI C., SUPUTTAMONGKOL Y., NILAKUL C., CHAOWAGUL W., CHETCHOTISAKD P., LERTPATANASUWUN N., et al., Antilipopolsaccharide II : an antibody protective against fatal melioidosis. *Clin. Infect. Dis.*, 1999, 29, 813–818.
- DANCE D.A., Ecology of *Burkholderia pseudomallei* and the interactions between environmental *Burkholderia* spp. and human-animal hosts. *Acta Trop.*, 2000, 74, 159–168.
- DANCE D.A., Melioidosis as an emerging global problem. *Acta Trop.*, 2000, 74, 115–119.
- DANCE D.A., Melioidosis: the tip of the iceberg ? *Clin. Microbiol. Rev.*, 1991, 4, 52–60.
- DHARAKUL T., SONGSIVILAI S., The many facets of melioidosis. *Trends Microbiol.*, 1999, 7, 138–140.
- DODIN A., GALIMAND M., Mélioidose. *Encycl. Med. Chir., Maladies Infectieuses*, Paris, 8036–C–10, 1985.
- GALIMAND M., DODIN A., Le point sur la mélioidose dans le monde. *Bull. Soc. Path. Exot.*, 1982, 75, 375–380.
- GALIMAND M., Le bacille de Whitmore : caractérisation de *Pseudomonas pseudomallei* et physiopathologie de la mélioidose. Thèse de doctorat ès sciences, Université Paris 7, 1986, 210 p.
- HANDA R., BHATIA S., WALI J.P. Melioidosis: a rare but not forgotten cause of fever of unknown origin. *Br. J. Clin. Pract.*, 1996, 50, 116–117.
- HOUSSAINT C. Mélioidose, maladie tropicale émergente. Observation d'un cas dramatique en France. Thèse de doctorat en médecine, Université Paris Val-de-Marne, 2003.
- HOVETTE P., AUBRON C., Mélioidose. *Encycl. Med. Chir., Maladies infectieuses*. Paris : Éditions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS, 8–036–c–10, 2001, 8p.
- IP M., OSTERBERG L.G., CHAU P.Y., RAFFIN T.A., Pulmonary melioidosis. *Chest.*, 1995, 108, 1420–1424.
- ISSACK M.I., BUNDHUN C.D., GOKHOOL H., Mélioidosis in Mauritius. *Emerg. Infect. Dis.*, 2005, 11, 139–140.
- LEELARASAMEE A., Melioidosis in Southeast Asia. *Acta Trop.*, 2000, 74, 129–132.
- LEELARASAMEE A., BOVORNKITTI S., Melioidosis: review and update. *Rev. Infect. Dis.*, 1989, 11, 413–425.
- MAHARJAN B., CHANTRATITA N., VESARATCHAVEST M., CHENG A., WUTHIEKANUN V., CHIERAKUL W., CHAOWAGUL W., DAY N.P.J., PEACOCK S.J., Recurrent Melioidosis in patients in northeast Thailand is frequently due to reinfection rather than relapse. *J. Clin. Microbiol.*, 2005, 43(12):6032–6034.
- McCORMICK J.B., SEXTON D.J., MCMURRAY J.G., CAREY E., HAYES P., FELDMAN R.A., Human-to-human transmission of *Pseudomonas pseudomallei*. *Ann. Intern. Med.* 1975, 83, 512–513.
- MOLLARET H.H., « L'affaire du jardin des plantes » ou comment la mélioidose fit son apparition en France. *Med. Mal. infect.*, 1988, (spécial Novembre), 643–654.
- PARRY C.M., WUTHIEKANUN V., HOA N.T., DIEP T.S., THAO L.T., LOC P.V., et al. Melioidosis in Southern Vietnam: clinical surveillance and environmental sampling. *Clin. Infect. Dis.*, 1999, 29, 1323–1326.
- PERRET J.L., La mélioidose : une bombe à retardement tropicale » en voie de dissémination. *Med. Top.*, 1997, 57, 195–201.
- PHETSOUVANH R., PHONGMANY S., NEWTON P., MAYXAY M., RAMSAY A., WUTHIEKANUN V., et al. Melioidosis and Pandora's box in the Lao People's Democratic Republic. *Clin. Infect. Dis.*, 2001, 32, 653–654.
- ROLIM D.B., VILAR D.C.F.L., SOUSA A.Q., MIRALLES I.S., DE OLIVEIRA D.C.A., HARNETT G., O'REILLY L., HOWARD K., SAMPSON I., INGLIS T.J.J., Melioidosis, northeastern Brazil. *Emerg. Infect. Dis.*, 2005, 11, 9, 1458–1460.

- SANDFORD J.P., *Pseudomonas* species (including melioidosis and glanders) in Mandel G.L., Bennet J.E., Dolin R., Principles and practice of infectious diseases. 4^{ème} éd., vol. 2, New-York: Churchill Livingstone, 1995, 2003–2006.
- SUPUTTAMONGKOL Y., HALL A.J., DANCE D.A., CHAOWAGUL W., RAJCHANUVONG A., SMITH M.D. et al. The epidemiology of melioidosis in Ubon Ratchatani, northeast Thailand. *Int J Epidemiol.* 1994, 23, 1082–1090.
- SUPUTTAMONGKOL Y., RAJCHANUVONG A., CHAOWAGUL W., DANCE D.A., SMITH M.D., WUTHIEKANUN V. et al., Ceftazidime vs. amoxicillin/clavulanate in the treatment of severe melioidosis. *Clin. Infect. Dis.*, 1994, 19, 846–853.
- SUPUTTAMONGKOL Y., CHAOWAGUL W., CHETCHOTISAKD P., LERTPATANASUWUN N., INTARANONGPAI S., RUCHUTRAKOOL T. et al. Risk factors for melioidosis and bacteremic melioidosis. *Clin. Infect. Dis.*, 1999, 29, 408–413.
- THOMAS A.D., FORBES–FAULKNER J.C., Persistence of *Pseudomonas pseudomallei* in soil. *Aust. Vet. J.*, 1981, 57, 535–536.
- TIANGPITAYAKORN C., SONGSIVILAI S., PIYASANGTHONG N., DHARAKUL T., Speed of detection of *Burkholderia pseudomallei* in blood cultures and its correlation with the clinical outcome. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1997, 57, 96–99.
- VAN PHUNG L., QUYNH H.T., YABUUCHI E., DANCE D.A., Pilot study of exposure to *Pseudomonas pseudomallei* in northern Vietnam. *Trans. R. Soc. Trop. Med Hyg.*, 1993, 87, 416.
- WALSH A.L., SMITH M.D., WUTHIEKANUN V., SUPUTTAMONGKOL Y., CHAOWAGUL W., DANCE D.A. et al. Prognostic significance of quantitative bacteremia in septicemic melioidosis. *Clin. Infect. Dis.*, 1995, 21, 1498–1500.
- WALSH A.L., WUTHIEKANUN V., The laboratory diagnosis of melioidosis. *Br. J. Biomed. Sci.*, 1996, 53, 249–253.
- WHITE N.J., Melioidosis. *Zbl. Bakt.*, 1994, 280, 439–443.
- WHITE N.J., Melioidosis. *Lancet*, 2003, 361, 1715–1722.
- WHITMORE A., KRISHNASWAMI C.S., An account of the discovery of a hitherto undescribed infective disease occurring among the population of Rangoon. *The Indian Medical Gazette.* 1912, 47, 262–267.
- WUTHIEKANUN V., SUPUTTAMONGKOL Y., SIMPSON A.J., KANAPHUN P., WHITE N.J. Value of throat swab in diagnosis of melioidosis. *J. Clin. Microbiol.*, 2001, 39, 3801–3802.
- YABUUCHI E, KOSAKO Y, OYAIZU H, YANO I, HOTTA H, HASHIMOTO Y, ET AL., Proposal of *Burkholderia* gen. nov. and transfer of seven species of the genus *Pseudomonas* homology group II to the new genus, with the type species *Burkholderia cepacia* (Palleroni and Holmes 1981) comb. nov. *Microbiol. Immunol.*, 1992, 36, 1251–1275.

12. Peste

- CHANTEAU S., RATSITORAHINA M., RAHALISON L., RASOAMANANA B., CHAN F., BOISIER P., RABESON D., ROUX J., Current epidemiology of human plague in Madagascar. *Microbes and infection.* 2000, 2, 25-31.
- KILONZO B.S., MVENA Z.S.K., MACHANGU R.S., MBISE T.J., Preliminary observations on factors responsible for long persistence and continued outbreaks of plague in Lushoto district, Tanzania. *Acta Tropica*, 1997, 68, 215-227.
- TITBALL R.W., WILLIAMSON E.D., Vaccination against bubonic and pneumonic plague. *Vaccine*, 2001, 19, 30, 4175-4184.

13. Rage

- BADILLA X., PÉREZ-HERRA V., QUIRÓS L., MORICE A., JIMÉNEZ E., SÁENZ E., et al., Human rabies: a reemerging disease in Costa Rica? *Emerg. Infect. Dis.*, 2003, 9, 6, 721-723.

NANAYAKKARA S., SMITH J.S., RUPPRECHT C.E., Rabies in Sri Lanka: splendid isolation. *Emerg. Infect. Dis.*, 2003, 9, 3, 368-371.

14. Rickettsioses

GAYWEE J, SUNYAKUMTHORN P, RODKVAMTOOK W, RUANG-AREERATE T, MASON CJ, SIRISOPANA N. Human infection with *Rickettsia* sp. related to *R. japonica*, Thailand. *Emerg. Infect. Dis.*, 2007, 13(4):671-673.

HIRUNKANOKPUN S., KITTAYAPONG P., CORNET J.-P., GONZALEZ J.-P.. Molecular evidence for novel tick-associated spotted fever group rickettsiae from Thailand. *J. Med. Entomol.*, 2003, 40, 230–237.

JIANG J., SANGKASUWAN V., LERDTHUSNEE K., SUKWIT S., CHUENCHITRA T., ROZMAJZL P.G., EAMSILA C., JONES J.W., RICHARDS A.L., Human infection with *Rickettsia honei*, Thailand. *Emerg. Infect. Dis.*, 2005, 11, 9, 1473-1475.

KOLLARS T.M. JR., TIPPAYACHAI B., BODHIDATTA D. Short report: Thai tick typhus, *Rickettsia honei*, and a unique rickettsia detected in *Ixodes granulatus* (Ixodidae: Acari) from Thailand. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 2001, 65, 535–537.

OKABAYASHI T., TSUTIYA K., MURAMATSU Y., UENO H., MORITA C. Serological survey of spotted fever group rickettsia in wild rats in Thailand in the 1970s. *Microbiol. Immunol.*, 1996, 40, 895–898.

PAROLA P., CORNET J.-P., SANOGO Y.O., MILLER R.S., THIEN H.V. GONZALEZ J.-P., RAOULT D., TELFORD III S.R., WONGSRICHANALAI C. Detection of *Ehrlichia* spp., *Rickettsia* spp., and other eubacteria in ticks from the Thai-Myanmar border and Vietnam. *J. Clin. Microbiol.* 2003, 41:1600–1608.

PAROLA P., MILLER R.S., McDANIEL P., TELFORD S.R. III, ROLAIN J.-M., WONGSRICHANALAI C, RAOULT D., Emerging rickettsioses of the Thai-Myanmar border. *Emerg. Infect. Dis.*, 2003, 9, 5, 592-595.

SIRISANTHANA T., PINYOPORNPANIT V., SIRISANTHANA V., STRICKMAN D., KELLY D.J., DASCH G.A. First cases of spotted fever group rickettsiosis in Thailand. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 1994, 50, 682–686.

SUPUTTAMONGKOL Y., ROLAIN J.-M., LOSUWANARUK K., NIWATAYAKUL K., SUTHINONT C., CHIERAKUL W., PIMDA K., RAOULT D., Q fever in Thailand. *Emerg. Infect. Dis.*, 2003, 9, 9, 1186-1188.

STRICKMAN D., TANSKUL P., EAMSILA C., KELLY D.J. Prevalence of antibodies to rickettsiae in the human population of suburban Bangkok. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1994, 51, 149–153.

TAKADA N., FUJITA H., YANO Y., HUANG W.-H., KHAMBOONRUANG C. Serosurveys of spotted fever and murine typhus in local residents of Taiwan and Thailand compared with Japan. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*, 1993, 24, 354–356.

15. SRAS

LI W., SHI Z., YU M., REN W., SMITH C., EPSTEIN J.H., WANG H., CRAMERI G., HU Z., ZHANG H., ZHANG J., MCEACHERN J., FIELD H., DASZAK P., EATON B.T., ZHANG S., WANG L.-F., Bats Are Natural Reservoirs of SARS-Like Coronaviruses, *Scienceexpress*, 2005, 1118391.

NORMILE D., Researchers tie deadly SARS virus to bats. *Science*, 2005, 309, 2154-2155

WANG LIN-FA, SARS-CoV and its animal link. 8th STVM, Vietnam: Hanoi, proceedings, 2005.

16. Toxoplasmosis et trypanosomiasis

DUBEY J.P. AND BEATTIE C.P., *Toxoplasmosis of animals and man*. Boca Raton, Florida, CRC Press Incorporated, 1988.

JITTAPALAPONG S., INPANKAEW T., SARATAPHAN N., HERBRETEAU V., HUGOT J.P., MORAND S., STICH R.W., Molecular detection of divergent trypanosomes among rodents of Thailand. *Infect. Genet. Evol.*, 2007, Aug 25; [Epub ahead of print]

KEAN B.H., Clinical toxoplasmosis-50 years. *Trans. Roy. Soc. Trop. Med. Hyg.*, 1972, 66, 4, 549-571.

LESTER J., Detection of antibodies to *Toxoplasma gondii*: a comparison of three test kits. *Medical Laboratory Science*, 1983, 40(4), 387-389.

17. Typhus des broussailles

BLAIR P.J., SCHOELER G.B., MORON C., ANAYA E., CACEDA R., CESPEDES M., CRUZ C., FELICES V., GUEVARA C., HUAMAN A., LUCKETT R., MENDOZA L., RICHARDS A.L., RIOS Z., SUMMER J.W., VILLASECA P., OLSON J.G., Evidence of rickettsial and leptospira infections in Andean northern Peru. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 2004, 70, 4, 357-363.

CHIMSUMANG S., Indirect immunoperoxidase test for dual serodiagnosis of Scrub typhus and leptospirosis. Bangkok: Mahidol University, Faculty of tropical medicine. 2003, 110 p.

CHING W.M., ROWLAND D., ZHANG Z., BOURGEOIS A.L., KELLY D., DASCH G.A., DEVINE P.L. Early diagnosis of scrub typhus with a rapid flow assay using recombinant major outer membrane protein antigen (r56) of *Orientia tsutsugamushi*. *Clin. Diagn. Lab. Immunol.*, 2001, 8, 409-414.

COLEMAN R.E., MONKANNA T., LINTHICUM K.J., STRICKMAN D.A., FRANCES S.P., TANSKUL P., KOLLARS Jr.T.M., INLAO I., WATCHARAPICHAT P., KHLAIMANEE N., PHULSUKSOMBATI D., SANGJUN N., LERDTHUSNEE K., Occurrence of *Orientia tsutsugamushi* in small mammals from Thailand. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 2003, 69, 5, 519-524.

DUMLER J.S., BARBET A.F., BEKKER C.P.J., DASCH G.A., PALMER G.H., RAY S.C., RIKIHISA Y., RURANGIRWA F.R. Reorganization of genera in the families *Rickettsiaceae* and *Anaplasmataceae* in the order *Rickettsiales*: unification of some species of *Ehrlichia* with *Anaplasma*, *Cowdria* with *Ehrlichia* and *Ehrlichia* with *Neorickettsia*, description of six new species combinations and designation of *Ehrlichia equi* and 'HGE agent' as subjective synonyms of *Ehrlichia phagocytophila*. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 2001, 51, 2145-2165.

KAWAMURA A., TANAKA H., TAMURA A., *Tsutsugamushi* disease. Tokyo: University of Tokyo Press, 1995.

KOLLARS T.M., BODHIDATTA D., PHULSUKSOMBATI D., TIPPAYACHAI B., COLEMAN R.E., Short report: variation in the 56-KD type-specific antigen gene of *Orientia tsutsugamushi* isolated from patients in Thailand. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 2003, 68, 3, 299-300.

FAA A.G., McBRIDE J.H., et al., Scrub typhus in the Torres Strait Islands of North Queensland, Australia. *Emerg. Infect. Dis.*, 2003, 9, 4, 480-481 p.

JIANG J., CHAN T., TEMENAK J.J., DASCH G.A., CHING W., RICHARDS A.L., Development of a quantitative real-time polymerase chain reaction assay specific for *Orientia tsutsugamushi*. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 2004, 70, 4, 351-356 p.

LAND M.V., CHING W.M., DASCH G.A., ZHANG Z., KELLY D.J., GRAVES S.R. et DEVINE P.L. Evaluation of a commercially available recombinant-protein enzyme-linked immunosorbent assay for detection of antibodies produced in scrub typhus rickettsial infections. *J. Clin. Microbiol.*, 2000, 38, 2701-2705.

LEWIS M.D., YOUSUF A.A., LERDTHUSNEE K., RAZEE A., CHANDRANOI K., JONES J.W., Scrub Typhus Reemergence in the Maldives. *Emerg. Infect. Dis.*, 2003, 9, 12, 1638-1641.

ORFILA J. : Rickettsiales. In : L. LE MINOR et M. VÉRON : *Bactériologie Médicale*, 2ème édition, Flammarion Médecine-Sciences, Paris, pp. 1058-1071.

PICKARD A.L., McDANIEL P., MILLER R.S., UTHAIMONGKOL N., BUATHONG N., MURRAY C.K., TELFORD S.R. 3rd, PAROLA P., WONGSRICHANALAI C., A study of febrile illnesses on the Thai-Myanmar border: predictive factors of rickettsioses. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*, 2004, 3, 657-663.

SEONG S.Y., CHOI M.S., KIM I.S. *Orientia tsutsugamushi* infection: overview and immune responses. *Microbes and Infection*, 2001, 3, 11-21.

- SIRISANTHANA V., PUTHANAKIT T., SIRISANTHANA T., Epidemiologic, clinical and laboratory features of scrub typhus in thirty Thai children. *Pediatr. Infect. Dis. J.*, 2003, 22, 341-345.
- STRICKMAN D., SMITH C.D., CORCORAN K.D., NGAMPOCHJANA M., WATCHARAPICHAT P., PHULSUKSOMBATI D., TANSKUL P., DASCH G.A., KELLY D.J., Pathology of *Rickettsia tsutsugamushi* infection in *Bandicota savilei*, a natural host in Thailand. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1994, 51, 4, 416-423.
- STRICKMAN D., SHEER T., SALATA K., HERSHEY J., DASCH G., KELLY D., KUSCHNER R. In vitro effectiveness of azithromycin against doxycycline-resistant and -susceptible strains of *Rickettsia tsutsugamushi*, etiologic agent of scrub typhus. *Antimicrob. Agents Chemother.*, 1995, 39, 2406-2410.
- TAMURA A., OHASHI N., URAKAMI H., MIYAMURA S. Classification of *Rickettsia tsutsugamushi* in a new genus, *Orientia* gen. nov., as *Orientia tsutsugamushi* comb. nov. *Int. J. Syst. Bacteriol.*, 1995, 45, 589-591.
- TAY S.T., KAMALANATHAN M., ROHANI M.Y., Detection of rickettsial antibodies using Weil-Felix (OXD and OX19) antigens and the indirect immunoperoxidase assay. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*, 2003, 34, 1, 171-174.
- TAY S.T., KAMALANATHAN M., ROHANI M.Y., Antibody prevalence of *Orientia tsutsugamushi*, *rickettsia typhi* and TT118 spotted fever group rickettsiae among Malaysian blood donors and febrile patients in urban areas. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*, 2003, 34, 1, 165-170.
- TANSKUL P., LINTHICUM K.J. A new species of *Leptotrombidium* (Acari:Trombiculidae) collected in active rice fields in northern Thailand. *J Med Entomol.*, 1997, 34(3):368-371.
- TANSKUL P., LINTHICUM K.J., WATCHARAPICHAT P., PHULSUKSOMBATI D., MUNGVIRIYA S., RATANATHAM S., SUWANABUN N., SATTABONGKOT J., WATT G., A new ecology for scrub typhus associated with a focus of antibiotic resistance in rice farmers in Thailand. *J. Med. Entomol.*, 1998, 35, 4, 551-555.
- WATT G., KANTIPONG P., JONGSAKUL K., WATCHARAPICHAT P., PHULSUKSOMBATI D. : Azithromycin activities against *Orientia tsutsugamushi* strains isolated in cases of scrub typhus in Northern Thailand. *Antimicrob. Agents Chemother.*, 1999, 11, 2817-2818.
- WATT G., JONGSAKUL K., SUTTINONT C., Possible scrub typhus coinfections in Thai agricultural workers hospitalized with leptospirosis. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 2003, 68, 1, 89-91.
- WATT G., JONGSAKUL K., CHOURIYAGUNE C., PARIS R., Differentiating Dengue virus infection from Scrub typhus in Thai adults with fever. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 2003, 68, 5, 536-538.

18. Viroses (autres)

- DEMBY A. H., INAPOGUI A., KARGBO K., KONINGA J., KOUROUMA K., KANU J., COULIBALY M., WAGONER K. D., KSIAZEK T. G., PETERS C. J., ROLLIN P. E. and BAUSCH D. G., Lassa fever in Guinea: II. Distribution and prevalence of Lassa virus infection in small mammals. *Vector Borne and Zoonotic Diseases*. 2001, 1, 283-296.
- MILLS J.N., ELLIS B.A., McKEE K.T., CALDERON G.E., MAIZTEGUI J.I., NELSON G.O., KSIAZEK T.G., PETERS C.J., CHILDS J., A longitudinal study of Junin virus activity in the rodent reservoir of Argentine hemorrhagic fever. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1992, 47, 749-763.
- MILLS J.N., ELLIS B.A., CHILDS J., McKEE K.T., MAIZTEGUI J.I., PETERS C.J., KSIAZEK T.G., Jahrling P.B., Prevalence of infection with Junin virus in rodent populations in the epidemic area of Argentine hemorrhagic fever *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 1994, 51, 554-562.
- NITATPATTANA N., CHAUVANCY G., JUMRONSAWAT K., POBLAP T., YOKSAN S., GONZALEZ J.P., Preliminary study on potential circulation of arenaviruses in the rodent population of Nakhon Pathom Province, Thailand and their medical importance in an evolving environment. *Southeast Asian J. Trop. Med. Pub. Health*, 2000, 31, 1, 62-65.
- SALUZZO J.F., DODET B., Emergence and control of rodent-borne viral diseases (hantaviral and arenaviral diseases). Paris : Editions scientifiques et médicales Elsevier SAS, 1999.

SUMILO D., ASOKLIENE L., BORMANE A., VASILENKO V., GOLOVLJOVA I., RANDOLPH S.E. Climate Change Cannot Explain the Upsurge of Tick-Borne Encephalitis in the Baltics. PLoS ONE, 2007, 2(6):e500.

III. THAÏLANDE

A. Thaïlande : références générales

- ALPHA RESEARCH Co. Ltd. Thailand public health 2002. Bangkok: Alpha Research. 2002, 438 p.
- ANTHEAUME B., BONNEMAISON J., BRUNEAU M., TAILLARD C. Géographie Universelle, Livre premier : Asie du Sud-Est, Océanie. Paris : Belin-Reclus. 1995, 480 p.
- BARBAZAN P., YOKSAN S., GONZALEZ J.P., Dengue hemorrhagic fever epidemiology in Thailand : description and forecasting of epidemics. Microbes and infection, 2002, 4, 699-705.
- BUREL B., Erosion aratoire sur sol en pente au niveau d'une parcelle expérimentale du bassin versant de Huay Mah Nai au nord de la Thaïlande. Mémoire de fin d'étude : ISTOM, 2002, 132p.
- DOVERT S. (Ed.) et al., Thaïlande contemporaine. Paris : IRASEC-L'Harmattan. 2001, 438 p.
- DUBUS A., REVISE N., Armée du Peuple, armée du Roi. Les militaires face à la société en Indonésie et en Thaïlande. Paris : IRASEC-L'Harmattan, 2002. 256 p.
- GONZALEZ J.P., BARBAZAN P., SOURIS M., Viral encephalitis in Thailand: A spatial approach. In: Factors in the Emergence encephalitis. SALUZZO J.F., DODET B., Eds, Lyon: Fondation Merieux. 2004.
- GRAY D., PIPRELL C., GRAHAM M., National parks of Thailand. Bangkok: Industrial Finance Corporation of Thailand. 1994, 243 p.
- HOOKE J., NOVAK S., JOHNSTON R., Social atlas of the lower Mekong Basin. Phnom Penh: Mekong River Commission. 2003, 154 p.
- KAOSA-ARD M., DORE J. Social challenges for the Mekong region. Bangkok: White Lotus, 2003, 448 p.
- KOSULWAT V. The nutrition and health transition in Thailand. Public Health nutrition, 2002, 5, 1A, 183-189.
- LYTTLETON C., Health and development: knowledge systems and local practice in rural Thailand. Health transition review, 1996, 6, 25-48.
- MOLLE F., SRIJANTR T., Thailand's rice bowl, perspectives on agricultural and social change in the Chao Praya Delta. In Studies in contemporary Thailand No. 12. Bangkok: White Lotus, 2003, 450 p.
- NATIONAL ECONOMIC AND SOCIAL DEVELOPMENT BOARD, Thailand in brief. Bangkok: NESDB Welfare Fund. 2003, 102 p.
- ONGSOMWANG S., The integration of remote sensing system and GIS for forest landuse planning. Bangkok: Royal Forest Department, 1995, 8 p.
- PHONGPAICHIT P., BAKER C. Thailand's boom and bust. Bangkok: Silkworm books, 1998.
- RASMUSSEN J.N., KAOSA-ARD A. et al., For whom and for what? Principles, criteria and indicators for sustainable forest resources management in Thailand. Holte: Danish centre for forest, landscape and planning, 2000, 119 p.
- ROYAL FOREST DEPARTMENT. Forestry Statistics of Thailand 1995. Bangkok: RFD, 1996, 150 p.
- ROYAL FOREST DEPARTMENT. Forestry Statistics of Thailand 1997. Bangkok: RFD, 1998, 150 p.
- ROYAL FOREST DEPARTMENT. Forestry Statistics of Thailand 1998. Bangkok: RFD, 1999, 144 p.
- ROYAL FOREST DEPARTMENT. Forestry Statistics of Thailand 2000. Bangkok: RFD, 2001, 154 p.
- ROYAL FOREST DEPARTMENT. Forestry Statistics of Thailand 2001. Bangkok: RFD, 2002, 156 p.
- ROYAL FOREST DEPARTMENT. Forestry Statistics of Thailand 2002. Bangkok: RFD, 2003, 156 p.

- ROYAL FOREST DEPARTMENT. Forestry Statistics of Thailand 2003. Bangkok: RFD, 2004, 156 p.
- SATIMAI W., Communicable disease control in Thailand. Bangkok: MOPH/Department of communicable disease control, 2000, 114 p.
- SRIBOONPONG S., ALI HUSSIN Y., DeGIER A., Assessment of forest recovery after fire using LANDSAT TM images and GIS techniques: a case study of Mae Wong National Park, Thailand. Singapore: 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 2001, 6 p.
- TRISURAT Y., EIUMNOH A., WEBSTER D. R., DAUGHERTY H.E., The application of remote sensing and GIS for Phu Rua National Park zoning, Loei province, Thailand. Bangkok: Asian Institute of Technology, 1990, 3 p.
- THAILAND HEALTH RESEARCH INSTITUTE. Health system in transition, contemporary health issue No 1/95. Bangkok: Health Systems Research Institute, 1995, 1/95, 96 p.
- THAILAND HEALTH RESEARCH INSTITUTE. Thai drug system, a situation analysis for further development. Bangkok: Health Systems Research Institute, 1995, 48 p.
- THAILAND HEALTH RESEARCH INSTITUTE. Review of the health situation in Thailand priority ranking of diseases. Bangkok: Health Systems Research Institute, 1996, 152 p.
- THAILAND'S NATIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT AGENCY, Science and technology with Thai rice. Bangkok: NSTDA, 2003, 155 p.
- TONTISIRIN K., KACHONDHAM Y., Trends in the development of Thailand's nutrition and health plans and programs. *Asia Pacific J. Clin. Nutr.*, 1992, 1, 231-238.
- UNAIDS/WHO, Epidemiological fact sheets on HIV/AIDS and sexually transmitted infections, Geneva: UNAIDS/WHO, 2000, 15p.
- UNDP/UNFPA/WHO/World Bank Special Programme of Research, Sexual behaviour of young people. In *Progress in Human Reproduction Research*, No. 41, Geneva: WHO, 1997, 8p.
- WORLD BANK, Beyond the crisis: a strategy for renewing rural development in Thailand. Bangkok: World Bank / Rural Development and natural resource sector unit east-Asia and pacific region. 2000, 50 p.
- WORLD BANK. Thailand country dialogue monitor 2000. Bangkok: World Bank group. 2000, 60 p.
- WORLD BANK. Thailand Environment Monitor 2000. Bangkok: World Bank group. 2000, 25 p.

B. Thaïlande : santé publique

- DEVKOTA S.R., Consumer's satisfaction towards health care services provided by health centers in Muang district, loei province, Thailand. Master thesis, Mahidol University, 1997, 96 p.
- FOMAN-EG T.D. Knowledge and attitude of doctors and nurses to the thirty baht health care scheme in the community hospitals in Suphan Buri, Thailand. Bangkok : Mahidol University, Faculty of graduate studies (Public health), 2003, 74 p.
- FRIEL S., MCMICHAEL A.J., KJELLSTROM T., PRAPAMONTOL T. Housing and health transition in Thailand. *Rev. Environ. Health.* 2004, 19(3-4):311-27.
- HARINASUTA C., SORNAMANI S., MIGASENA P., VIVATANASESTH P., PONGPAEW P., INTARAKAO C., VUDHIVAI N., Socio-economic, health and nutritional status of the villagers in the Nong Wai irrigation area, Khon Kaen, Northeast Thailand. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*, 1976, 7, 4, 601-621.
- KASLUNGKA K., Health locus of control, health behavior and life satisfaction in COPD patients: a study at Phrae hospital. Master thesis. Mahidol University, 2000, 109 p.
- LONG S. Unit cost analysis of health centers in 2002 : a case study of Watsuwan health center, Nakhon Pathom province, Thailand. Bangkok : Mahidol University, Faculty of graduate studies (Public health), 2003, 78 p.
- SIRIKANOKWILAI N., Modified population-to-physician ratio method to project future physician requirement in Thailand, *HRDJ*, 1998, 2(3), 197-209.

SIRILIANG B., Health care services utilization among the elderly in Muang district, Loei province. Master thesis. Mahidol University, 1997, 68 p.

WONGSUTHICHOTI L. Health center service utilization among the villagers in Bang Toei subdistrict, Sam Phan district, Nakorn Pathom province, Thailand. Bangkok : Mahidol University, Faculty of graduate studies (Public health), 2001, 73 p.

IV. Autres

APAN, A.A., GIS applications in tropical forestry. Toowoomba: Faculty of Engineering and Surveying, University of Southern Queensland, 1999, 132 p.

BRUNER A.G., GULLISON R.E., RICE R.E., da FONSECA G.A.B., Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. *Science*, 2001, 291, 125-128.

GARCIA-BARROS E., GURREA P., et al., Parsimony analysis of endemism and its application to animal and plant geographical distributions in the Ibero-balearic region (Western Mediterranean). *J. Biogeogr.*, 2002, 29, 109-124.

GOMEZ-POMPA A., VASQUEZ-YANES C., GUEVARA S., The tropical rain forest: a non-renewable resource. *Science*, 1972, 117, 4051, 762-765.

KHUSH G.S., More food and a safe environment. Food comes first for Asia. Parkville (Australia): Crawford Fund for International Agricultural Research, 1993, 31-33.

MAY R.M., How many species are there on Earth? *Science*, 1988, 247, 1441-1449.

PAMORE J. Regression Estimates of Change in fertility, 1955-1960 to 1965-1975, for most Major Nations and Territories, Paper of the East-West Population Institute, Number.58, East-West Population Institute, Honolulu, 1978.

SAUVY A., *Théorie générale de la population*. Paris : PUF. 1952.

SISOUPANTHONG B., TAILLARD C., Atlas of Laos: Spatial structures of the economic and social development of the Lao People's Democratic Republic. Chiang Mai: NIAS – Silworm Books, 2000, 160 p.

STAEDKE S.G., NOTTINGHAM E.W., COX J., KAMYA M.R., ROSENTHAL P.J., DORSEY G., Short report: proximity to mosquito breeding sites as a risk factor for clinical malaria episodes in an urban cohort of Ugandan children. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 2003, 69, 244-246.

Abréviations

ADB	Asian Development Bank (Banque du Développement Asiatique) ;
ADN	Acide désoxyribonucléique ;
ARN	Acide ribonucléique ;
<i>B.</i>	<i>Bandicota</i> ;
Baht	Monnaie thaïlandaise (45 bahts \approx 1 euro en 2007) ;
Bkk	Bangkok ;
CDC	Centers for Disease Control and Prevention, U.S. Department of Health and Human Services ;
CIRAD	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement ;
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation ;
CVVD	Center for Vector and Vector-borne Diseases at Mahidol University, Bangkok, Thailand ;
ELISA	Enzyme-Linked Immunosorbent Assay ;
FDA	Food and Drug Administration (département du MOPH) ;
FUO	Fever of Unknown Origin (Fièvre d'origine inconnue) ;
GPS	Global Positioning System (système de positionnement par satellite) ;
HFRS	Haemorrhagic Fever with Renal Syndrome (Fièvre hémorragique avec syndrome rénal) ;
HPS	Hantavirus Pulmonary Syndrome (syndrome pulmonaire dû aux hantavirus) ;
HRD	Hantavirus Related Diseases ;
IC	Intervalle de confiance ;
IRD	Institut de Recherche pour le Développement ;
IUCN	International Union for Conservation of Nature and Natural Resources ;
LANDSAT	Land Space Application Technology : satellites d'observation américains ;
MOPH	Ministry of Public Health (thaïlandais) ;
MST	Maladies Sexuellement Transmissibles ;
NECTEC	National Electronics and Computer Technology Center ;
NESDB	National Economic and Social Development Board ;
NRD2C	National Rural Development 2C (Khor Chor Chor 2 Khor) ;
NSO	National Statistical Office ;
OAE	Office of Agricultural Economics ;
OMS	Organisation Mondiale de la santé ;
PCR	Polymerase Chain Reaction (Réaction en Chaîne par Polymérase) ;
PIB	Produit Intérieur Brut ;
PUO	Pyrexia of Unknown Origin (Pyrexie d'origine inconnue) ;
<i>R.</i>	<i>Rattus</i> ;
RAL	Réaction d'Agglutination-Lyse (MAT en anglais) ;
RTSD	Royal Thai Survey Department ;
SRAS	Syndrome respiratoire aigu sévère ;
SIDA	Syndrome immunodéficientaire acquis ;
SIG	Système d'Information Géographique ;
SNV	Sin Nombre Virus ;
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission ;
TAM	Test d'agglutination microscopique ;
TISTR	Thailand Institute of Scientific and Technological Research ;
TM	Thematic Mapper (capteur des satellites LANDSAT) ;
WB	World Bank (Banque mondiale).

Glossaire Thaï - français

Amphoe	district
Changwat	province (76 provinces depuis 1993)
Khet	sous-région : regroupement de provinces dans un but administratif
King Amphoe	district nouvellement formé, n'ayant pas encore le statut d'amphoe
Kroungthep...	Bangkok
Mouban	village
Nou	rongeur
Phak	région : les quatre grandes régions sont le nord, le nord-est, le centre et le sud (parfois est définie une région est)
Phou Yai Ban	chef de village
Rok chi Nou	leptospirose
Rong Phya Ban	hôpital
Tambon	sous-district
Sathani anamai	dispensaire du Ministère de la Santé (environ un par sous-district)

Noms locaux des principaux rongeurs murins :

Nom scientifique	Nom en Thaï	Nom en phonétique	Traduction littérale
<i>Bandicota indica</i>	หนูทุกใหญ่	Nu puk yai	Gros Bandicote
<i>Bandicota savilei</i>	หนูทุกกลาง	Nu puk klang	Moyen Bandicote
<i>Berylmys berdmorei</i>	หนูฟันขาวเล็ก	Nu fan kao lek	Petit rat aux dents blanches
<i>Berylmys bowersi</i>	หนูฟันขาวใหญ่	Nu fan kao yai	Gros rat aux dents blanches
<i>Leopoldamys edwardsi</i> et <i>Leopoldamys sabanus</i>	หนูห้วย	Nu Wai	Rat de l'osier
<i>Leopoldamys neilli</i>	หนูถ้ำ	Nu Tam	Rat des grottes
<i>Maxomys surifer</i>	หนูฟันเหลือง	Nu fan luang	Rat jaune
<i>Mus caroli</i>	หนูหริ่งนาหางยาว	Nu ring na hang yaow	Souris des champs à longue queue
<i>Mus cervicolor</i>	หนูหริ่งนาหางสั้น	Nu ring na hang san	Souris des champs à queue courte
<i>Mus cookii</i>	หนูหริ่งใหญ่	Nu Ring Yai	Grosse souris
<i>Mus musculus</i>	หนูหริ่งบ้าน	Nu ring ban	Souris domestique
<i>Niviventer fulvescens</i>	หนูขนสีขนดอย	Nu kon sian doi	Rat à la fourrure épineuse
<i>Rattus andamanensis</i>	หนูสิกขิม	Nu Sikkim	Rat Sikkim
<i>Rattus argentiventer</i>	หนูนาใหญ่	Nu na yai	Gros rat des champs
<i>Rattus exulans</i>	หนูบ้าน	Nu ban	Rat domestique
<i>Rattus losea</i>	หนูนาเล็ก	Nu na lek	Petit rat des champs
<i>Rattus norvegicus</i>	หนูท่อ	Nu to	Gros rat
<i>Rattus tanezumi</i>	หนูท้องขาว	Nu trong kao	Rat au ventre blanc

Lexique des termes techniques

Les termes explicités ci-dessous sont ceux marqués d'un astérisque dans le texte.

ictère	(du grec ikteros = jaunisse) coloration jaune de la peau et des muqueuses due à la présence de pigments biliaires dans les tissus
monocaténaire	acide nucléique constitué d'une seule chaîne de nucléotides
monophylie	sensu Simpson (1961), dans la terminologie de la classification évolutionniste : l'état d'un groupe qui provient d'une ou plusieurs lignées appartenant à un seul taxon de même rang ou de rang inférieur. sensu Hennig (1966) : l'état d'un groupe qui comprend seulement une espèce-mère et tous les taxa qui descendent de celle-ci.
myalgie	douleur musculaire
paucisymptomatique	(du latin pauci = peu et du grec sumptôma = symptôme) qui donne lieu à peu de symptômes
phylogénie	étude de la formation et de l'évolution des organismes vivants en vue d'établir leur parenté
phylogéographie	étude des principes et processus qui gouvernent la distribution des lignées généalogiques, incluant celle de niveau intraspécifique. Elle permet d'avoir une vue d'ensemble des phénomènes historiques, autant au niveau génétique que démographique, qui ont conduit à la distribution et à la structuration actuelle des populations
pyrexie	fièvre
suffusion	(du latin suffundo = verser sous) épanchement d'un liquide de l'organisme à partir d'un vaisseau vers l'extérieur (par exemple, un écoulement anormal de sang au niveau de la peau ou des muqueuses)
sympatrie	se dit d'espèces occupant des aires géographiques chevauchantes

Liste des cartes

Carte 1 : La Thaïlande au cœur de l'Asie du sud-est (d'après une mosaïque d'images Google Earth)	19
Carte 2 : Evolution des surfaces forestières de 1840 à 1950 et 1993	21
Carte 3 : Les quatre grandes régions et provinces de Thaïlande (codes utilisés par le Ministère de l'Intérieur)	32
Carte 4 : Principales villes et densité de la population en 2000, par district en Thaïlande	37
Carte 5 : Desserte médicale : population par hôpital, par hôpital public et par hôpital privé en 1999, par province en Thaïlande	58
Carte 6 : Offre de soins : comparaison du nombre d'hôpitaux publics, privés et de la densité de la population en 1999, par province en Thaïlande	59
Carte 7 : Incidence annuelle moyenne de la leptospirose entre 2000 et 2004 (pour 100 000 habitants), par district en Thaïlande	78
Carte 8 : Incidence moyenne du typhus des broussailles entre 1999 et 2004 (pour 100 000 habitants), par district en Thaïlande	86
Carte 9 : Incidence moyenne de la mélioïdose en 2003 et 2004 (pour 1 000 000 d'habitants), par district en Thaïlande	96
Carte 10 : Projection des modèles de niches écologiques des Filovirus en Asie du sud-est pour évaluer les foyers potentiels	130
Carte 11 : Projection des niches écologiques basée sur la connaissance des cas de virus Ebola	131
Carte 12 : Prédiction de la distribution des cas de monkeypox basée sur la modélisation des niches écologiques	131
Carte 13 : Occupation des sols en 2000, en Thaïlande (par télédétection à partir d'une mosaïque d'images Landsat V TM)	133
Carte 14 : Situation de l'enquête santé 2006 dans la province de Phrae, en Thaïlande	135
Carte 15 : Distribution potentielle de <i>Bandicota indica</i> en Thaïlande	140
Carte 16 : Distribution potentielle de <i>Bandicota savilei</i> en Thaïlande	141
Carte 17 : Distribution potentielle de <i>Berylmys berdmorei</i> en Thaïlande	141
Carte 18 : Distribution potentielle de <i>Berylmys bowersi</i> en Thaïlande	142
Carte 19 : Distribution potentielle de <i>Leopoldamys edwardsi</i> et de <i>Leopoldamys sabanus</i> en Thaïlande	142
Carte 20 : Distribution potentielle de <i>Maxomys surifer</i> en Thaïlande	143
Carte 21 : Distribution potentielle de <i>Mus cervicolor</i> en Thaïlande	143
Carte 22 : Distribution potentielle de <i>Niviventer fulvescens</i> en Thaïlande	144
Carte 23 : Distribution potentielle de <i>Rattus andamanensis</i> en Thaïlande	144
Carte 24 : Distribution potentielle de <i>Rattus argentiventer</i> en Thaïlande	145
Carte 25 : Distribution potentielle de <i>Rattus exulans</i> en Thaïlande	145
Carte 26 : Distribution potentielle de <i>Rattus losea</i> en Thaïlande	146
Carte 27 : Distribution potentielle de <i>Rattus norvegicus</i> en Thaïlande	146
Carte 28 : Distribution potentielle de <i>Rattus tanezumi</i> en Thaïlande	147
Carte 29 : Situation des provinces de l'étude Imvithaya et al., 2001	151
Carte 30 : Situation des provinces de l'étude Boonyod, 2001	158
Carte 31 : Desserte médicale : population par lit d'hôpital, par lit d'hôpital public et par lit d'hôpital privé en 2002, par province en Thaïlande	180
Carte 32 : Taux d'accroissement de l'incidence standardisée selon l'âge par rapport à l'incidence brute des cas de leptospirose déclarés en 2003 (femmes, hommes et total) par district, en Thaïlande	192
Carte 33 : Taux d'accroissement de l'incidence standardisée selon l'âge par rapport à l'incidence brute des cas de leptospirose déclarés en 2004 (femmes, hommes et total) par district, en Thaïlande	193
Carte 34 : Comparaison des cas et des incidences de leptospirose parmi la population agricole, entre janvier 2000 et décembre 2004, en Thaïlande	195
Carte 35 : Standardisation de l'incidence de la leptospirose selon l'activité agricole, entre 2000 et 2004, en Thaïlande	197

Carte 36 : Incidence de la leptospirose et standardisation selon l'incidence de l'ensemble des maladies diagnostiquées en 2004 (pour 100 000 habitants), par province en Thaïlande	200
Carte 37 : Comparaison des incidences de la leptospirose, des intoxications alimentaires et des pyrexies d'origine inconnue en 2004 (pour 100 000 habitants), par province en Thaïlande	202
Carte 38 : Estimation du risque de transmission de la leptospirose en Thaïlande.....	219

Liste des figures

Figure 1 : Costume de médecin, porté à Marseille pour se protéger de l'épidémie de peste, en 1720.....	19
Figure 2 : Eventail des brochures d'information sur la leptospirose.....	20
Figure 3 : Dans la mythologie vietnamienne, le rat incarne le faible : il apporte des présents au chat pour acheter sa bienveillance.....	22
Figure 4 : Drapeau de la Thaïlande	30
Figure 5 : Emblème de la monarchie en Thaïlande.....	30
Figure 6 : Organigramme du Ministère de la santé publique thaïlandais.....	54
Figure 7 : Exposition professionnelle ou de loisir, deux situations à risque dans la transmission de la leptospirose.....	66
Figure 8 : Souris contaminant les aliments.....	67
Figure 9 : Affiche d'information sur l'épidémie de leptospirose.....	71
Figure 10 : Peinture murale au temple Wat Wang Luang dans la province de Phrae	99
Figure 11 : Représentation d'un Daikoku avec un rat (bouddhisme japonais).....	99
Figure 12 : Le rat dans le bouddhisme theravâda en Asie du sud-est	100
Figure 13 : Schématisation des situations à risque d'infection	107
Figure 14 : Approche exploratoire de la présence des rongeurs.....	108
Figure 15 : Page d'entrée de la base de données « rongeurs ».....	117
Figure 16 : Image radar de Phu Kradung dans le nord-est de la Thaïlande (03/10/1994).....	120
Figure 17 : Image ASTER de la province de Phrae, le 7 mars 2003.....	121
Figure 18 : Réflectance de la végétation, de l'eau et des minéraux dans les domaines du visible et du proche infrarouge.....	122
Figure 19 : Classification de l'image ASTER de Phrae en utilisant les indices de végétation NDVI et SAVI.....	123
Figure 20 : Indice de végétation normalisé (NDVI), calculé sur 30 jours pour l'Asie du sud-est, à partir d'images NOAA/AVHRR	124
Figure 21 : Réalisation d'une classification dirigée par photo-interprétation à partir du logiciel de télédétection Multiscope, sur une image Landsat V TM de la province de Nakhon Pathom	125
Figure 22 : MNT de la province de Phrae	126
Figure 23 : Température à la surface de la mer,	126
Figure 24 : Mosaïque d'images Landsat 5 et 7 sur l'ensemble de la Thaïlande.....	131
Figure 25 : Classification de l'ordre Rodentia, sous-ordres et familles	138
Figure 26 : Classification de la famille Murinae et sous-familles.....	138
Figure 27 : Détail du calcul du risque de transmission de la leptospirose.....	218
Figure 28 : Destinations et durées de vol des principales liaisons aériennes au départ de Bangkok.	227
Figure 29 : La plus vieille image du joueur de flûte, copiée sur le vitrail d'une église de Goslar..	229
Figure 30 : Poison pour rats utilisé dans les campagnes	229
Figure 31 : « Chanson leptospirose », pour sensibiliser les plus jeunes au risque d'infection.....	230

Liste des graphiques

Graphique 1 : Diagrammes ombrothermiques des régions de Thaïlande.....	33
Graphique 2 : Evolution de la population et des espaces non forestiers de 1937 à 2000 en Thaïlande.....	34
Graphique 3 : Evolution et perspectives de croissance de la population thaïlandaise de 1909 à 2050.....	36
Graphique 4 : Evolution et perspectives de croissance du coefficient de vieillissement de 1950 à 2050.....	39
Graphique 5 : Evolution et perspectives d'évolution des coefficients de dépendance de 1950 à 2050, en Thaïlande.....	39
Graphique 6 : Part des populations rurales et urbaines de 1990 à 2005 et projection pour 2010, en Thaïlande.....	40
Graphique 7 : Part du revenu net des ménages agricoles.....	40
Graphique 8 : Evolution et perspectives d'évolution de la population des principales villes de Thaïlande, hormis Bangkok.....	41
Graphique 9 : Pyramide des âges de la Thaïlande, de Bangkok et des quatre régions, en 2001 (en pourcentage).....	42
Graphique 10 : Evolution du Produit Intérieur Brut par habitant de 1960 à 2004 en Thaïlande.....	43
Graphique 11 : Taux de croissance économique de la Thaïlande (moyennes quinquennales de 1961 et 1995, puis valeurs annuelles de 1996 à 2005).....	43
Graphique 12 : Proportion des foyers ayant l'eau potable, de 1960 à 2003, en Thaïlande.....	44
Graphique 13 : Taux brut de mortalité par cause, de 1986 à 2003, en Thaïlande.....	45
Graphique 14 : Evolution des hospitalisations pour les maladies cardiaques, le diabète et les cancers, de 1985 à 2003, en Thaïlande.....	46
Graphique 15 : Evolution des dépenses de santé et de médicaments, comparées à l'évolution du PIB par rapport à un indice 100 en 1993, en Thaïlande.....	48
Graphique 16 : Evolution du nombre total de cas enregistrés par le système de soins de 1995 à 2004, en Thaïlande.....	48
Graphique 17 : Evolution du nombre total de décès enregistrés par le MOPH de 1995 à 2004, en Thaïlande.....	48
Graphique 18 : Evolution du nombre d'accidents, de blessés et de décès entre 1984 à 2002, en Thaïlande.....	51
Graphique 19 : Evolution du nombre de suicides par sexe, de 1992 à 2003, en Thaïlande.....	51
Graphique 20 : Balances financières positives ou négatives des hôpitaux thaïlandais publics, en 2004.....	60
Graphique 21 : Evolution de la consommation de sucre (kg / personne) de 1983 à 2001.....	61
Graphique 22 : Evolution de la consommation des principales boissons alcoolisées (bières, spiritueux et vins), de 1988 à 2001 chez les plus de 15 ans, en Thaïlande.....	61
Graphique 23 : Evolution des enregistrements de leptospirose, de 1972 à 2004, en Thaïlande.....	75
Graphique 24 : Nombre de districts ayant reporté des cas de leptospirose entre 2000 et 2004, en Thaïlande.....	77
Graphique 25 : Evolution du nombre de cas déclarés de leptospirose, de janvier 1997 à mars 2005, en Thaïlande.....	80
Graphique 26 : Evolution comparée des moyennes mensuelles de la pluviométrie et des enregistrements de leptospirose, de janvier 1997 à mars 2005, en Thaïlande.....	80
Graphique 27 : Evolution des enregistrements de typhus des broussailles, de 1973 à 2004, en Thaïlande.....	84
Graphique 28 : Evolution mensuelle du nombre de cas déclarés de typhus des broussailles, de janvier 1999 à mars 2005, en Thaïlande.....	87
Graphique 29 : Evolution comparée des moyennes mensuelles de la pluviométrie et des enregistrements de typhus des broussailles, de janvier 1999 à mars 2005, en Thaïlande.....	88
Graphique 30 : Comparaison des déclarations annuelles de leptospirose et de typhus des broussailles, de 1973 à 2004, en Thaïlande.....	88

Graphique 31 : Comparaison des déclarations mensuelles de leptospirose et de typhus des broussailles, de janvier 1999 à mars 2005, en Thaïlande	89
Graphique 32 : Evolution des enregistrements de mélioïdose, de 1989 à 2004, en Thaïlande	94
Graphique 33 : Evolution comparée des moyennes mensuelles de la pluviométrie et des enregistrements de mélioïdose, de janvier 2003 à mars 2005, en Thaïlande.....	97
Graphique 34 : Comparaison des déclarations mensuelles de leptospirose, de typhus des broussailles, et de mélioïdose, de janvier 2003 à mars 2005, en Thaïlande	98
Graphique 35 : Nombre de publications répertoriées traitant de recherches sur des problèmes de santé humaine, utilisant la télédétection	127
Graphique 36 : Nuage de points entre l'incidence moyenne.....	182
Graphique 37 : Nuage de points entre l'incidence moyenne.....	183
Graphique 38 : Nuage de points entre l'incidence moyenne.....	183
Graphique 39 : Distance séparant du centre de soins le plus proche.....	184
Graphique 40 : Moyen de locomotion pour se rendre au centre de soins le plus proche	185
Graphique 41 : Choix privilégié pour les soins.....	185
Graphique 42 : Nuage de points entre l'incidence moyenne.....	187
Graphique 43 : Type de chaussures portées par les villageois lorsqu'ils traversent des terres humides.....	207
Graphique 44 : Occurrence d'un passage sur des terres humides, avec les pieds écorchés	207
Graphique 45 : Nuage de points entre l'incidence moyenne.....	212
Graphique 46 : Nuage de points entre l'incidence moyenne.....	216
Graphique 47 : Nuage de points entre l'incidence moyenne.....	220
Graphique 48 : Nuage de points entre l'incidence moyenne.....	221
Graphique 49 : Surfaces reboisées de 1990 à 2001, en Thaïlande	225
Graphique 50 : Nuage de points entre l'incidence moyenne de la leptospirose entre 2000 et 2005 et l'indice des revenus	228

Liste des photos

Photo 1 : <i>Bandicota indica</i> , rongeur des rizières.....	27
Photos 2 et 3 : Guerres d'Ayuthaya, maquettes du Musée National de Bangkok.....	29
Photo 4 : Phitsanulok, le carrefour de l'Asie du sud-est	31
Photo 5 : Déforestation sur le bassin versant du Mae Thang, dans la province de Phrae, en Thaïlande.....	35
Photo 6 : Hôpital provincial public de Phrae.....	55
Photo 7 : Hôpital du district de Khok Sri Suphan, province de Sakhon Nakhon.....	55
Photo 8 : Dispensaire de Ban Nong Kwang, province de Sakhon Nakhon.....	56
Photo 9 : Hôpital privé Prommit dans la ville de Phrae.....	57
Photo 10 : Information pour le forfait soins à 30 bahts à Bangkok.....	60
Photo 11 : Un dispensaire, dans un village de montagne, dans la province de Phrae	62
Photo 12 : <i>Leopoldamys edwardsi</i> , Loei, Thaïlande	63
Photo 13 : Photographies extraites d'une affiche du MOPH de sensibilisation à la protection contre le typhus des broussailles en Thaïlande.....	83
Photo 14 : Distribution des cages dans le village de Ban Nong Kung, province de Sakhon Nakhon	100
Photo 15 : Rats grillés, sur un marché du Nord-Est de la Thaïlande.....	101
Photo 16 : Récolte du riz dans la province de Phrae	105
Photo 17 : Dissection des rongeurs au laboratoire IRD de l'université de Mahidol (Libération, le 4 octobre 2003).....	114
Photo 18 : Capture de rongeurs à Nakhon Pathom (Ca m'intéresse, mars 2004)	115
Photo 19 : Mesure des oreilles, de l'intérieur de l'oreille à l'extérieur du lobe	115

Photo 20 : Mesure du crâne, du museau à l'arrière de la boîte crânienne	115
Photo 21 : Principales étapes de la dissection des rongeurs.....	116
Photo 22 : Une partie de la collection de rongeurs, constituée pour cette thèse, au laboratoire de l'UR178 de l'IRD en Thaïlande	117
Photo 23 : Lancement du satellite TIROS-I, le 1 avril 1960.....	118
Photo 24 : Le barrage sur le Mae Thang, vue du bassin versant sur la vallée irriguée	136
Photo 25 : L'équipe des étudiants des universités de Mahidol et de Maejo qui ont réalisé l'enquête dans la province de Phrae	136
Photo 26 : <i>Rattus losea</i>	137
Photo 27 : La collection nationale des rongeurs thaïlandais (TISTR, Bangkok)	137
Photo 28 : Terrier de <i>B indica</i> dans une rizière de Kalasin.....	140
Photo 29 : <i>Leopoldamys edwardsi</i> (province de Loei).....	142
Photo 30 : <i>Maxomys surifer</i> (province de Loei).....	143
Photo 31 : <i>Mus cervicolor</i> (province de Loei)	143
Photo 32 : <i>Niviventer fulvescens</i> (province de Loei).....	144
Photo 33 : <i>Rattus andamanensis</i> (province de Phrae).....	144
Photo 34 : <i>Rattus exulans</i> (province de Kalasin)	145
Photo 35 : <i>Bandicota indica</i> , pris dans un piège de bambou (province de Kalasin).....	147
Photo 36 : « Traque au virus », la une de Sette, le supplément week-end No 3 – 2004 du Corriere della Sera.....	173
Photo 37 : Les chasseurs de rats gardent leurs proies vivantes dans de grandes cages.....	177
Photo 38 : Labour et exposition à l'eau, dans une rizière de la province de Phrae	206
Photo 39 : Exposition aux pathogènes de l'eau lors des loisirs.....	211
Photo 40 : Exposition aux pathogènes de l'eau, lors d'un usage pour des travaux quotidiens	211
Photo 41 : Piégeage de <i>Rattus exulans</i> dans une maison de la province de Loei.....	213
Photo 42 : Reportage télévisé sur la chasse aux rats dans la province de Loei	214
Photo 43 : Préparation des collets par Tao, un jeune chasseur de Kalasin.....	215
Photo 44 : Deux <i>Bandicota indica</i> , conservés dans une cuve chez un chasseur de Kalasin	215
Photo 45 : Reportage télévisé sur la viande de rat	215
Photo 46 : Les contacts avec l'eau sont fréquents et prolongés pour les paysans (province de Phrae).	221
Photo 47 : Panneau posé par le Ministère de la santé thaïlandais à Wang Saphung, province de Loei	230
Photo 48 : Première mission en avril 2002 à Sangkhlaburi (province de Kanchanaburi).....	306

Liste des tableaux

Tableau 1 : Estimation du nombre d'espèces menacées en Thaïlande.....	35
Tableau 2 : Taux de fécondité moyen dans les villes et les campagnes de la Thaïlande, de Bangkok et des quatre régions, en 1989 et 1999	38
Tableau 3 : Principales causes de mortalité par sexe et classe d'âge, en Thaïlande.....	46
Tableau 4 : Morbidité, mortalité et létalité des principales pathologies enregistrées par le système de soins, par ordre de morbidité décroissante, en 2004 en Thaïlande.....	49
Tableau 5 : Mortalité des principales pathologies enregistrées par le système de soins, par ordre d'importance, en 2004 en Thaïlande	49
Tableau 6 : Taux de létalité des principales pathologies enregistrées par le système de soins, par ordre d'importance, en 2004 en Thaïlande	50
Tableau 7 : Historique des plans quinquennaux du ministère de la santé thaïlandais	52
Tableau 8 : Divisions administratives, noms thaïs et effectifs :	53
Tableau 9 : Détail de la répartition des structures de soins publiques par unité administrative	56
Tableau 10 : Les bactérioses transmises par les rongeurs	68
Tableau 11 : Les parasitoses transmises par les rongeurs	69
Tableau 12 : Les viroses transmises par les rongeurs.....	70
Tableau 13 : Classification des espèces et sérogroupes les plus communs du genre <i>Leptospira</i>	73
Tableau 14 : Survie expérimentale des leptospires dans différents milieux (Faine et al. 1999)	73
Tableau 15 : Répartition des patients par sexe et part des patients ayant une activité agricole parmi les cas diagnostiqués de leptospirose de 2000 à 2004 en Thaïlande	76
Tableau 16 : Age des patients diagnostiqués pour la leptospirose de janvier 2003 à mars 2005 en Thaïlande.....	76
Tableau 17 : Valeurs de la fonction exponentielle et bornes retenues pour la cartographie des incidences de leptospirose	77
Tableau 18 : Evolution des incidences annuelles de la leptospirose (pour 100 000 habitants) par district de 2000 à 2004 en Thaïlande	79
Tableau 19 : Répartition des patients par sexe et part des patients ayant une activité agricole parmi les cas diagnostiqués de typhus des broussailles de 1999 à 2004, en Thaïlande	84
Tableau 20 : Age des patients diagnostiqués pour le typhus des broussailles de janvier 2003 à mars 2005, en Thaïlande.....	85
Tableau 21 : Répartition des patients par sexe et part des patients ayant une activité agricole parmi les cas diagnostiqués de mélioirose en 2003 et 2004, en Thaïlande	95
Tableau 22 : Spectre électromagnétique, capteurs correspondants et applications à la télédétection :	121
Tableau 23 : Recensement des publications décrivant une étude épidémiologique utilisant la télédétection.....	127
Tableau 24 : Type de pathocénoses associées aux recherches utilisant la télédétection	128
Tableau 25 : Embranchement et ordres des vecteurs étudiés (parmi les 58 recherches se basant sur une analyse des vecteurs).....	128
Tableau 26 : Classes d'occupation des sols retenues par le Royal Forest Department thaïlandais pour l'ensemble du pays	132
Tableau 27 : Nombre total de Murinae piégés et identifiés pendant la thèse, par espèce	139
Tableau 28 : Séropositivité de rongeurs murins vis à vis des antigènes de leptospires, dans trois sites du nord et du nord-est de la Thaïlande (Bunnag <i>et al.</i> , 1983)	149
Tableau 29 : Séropositivité vis à vis des antigènes de leptospire par espèce de rongeurs, dans deux zones, avec ou sans cas humains reportés, de la province de Nakhon Ratchasima, en Thaïlande, en octobre et novembre 1998 (Phulsuksombati <i>et al.</i> , 1999).....	150
Tableau 30 : Séropositivité vis à vis des antigènes de leptospire par espèce de rongeurs et par province, de 1998 à 2000, en Thaïlande (Imvithaya <i>et al.</i> , 2001 ; Wangsroongsarb <i>et al.</i> , 2002).....	151
Tableau 31 : Diversité des sérotypes de Leptospires trouvés par espèce de rongeur, de 1998 à 2000, en Thaïlande (Imvithaya <i>et al.</i> , 2001 ; Wangsroongsarb <i>et al.</i> , 2002).....	152

Tableau 32 : Séropositivité vis à vis des antigènes de leptospire par espèce de rongeurs, dans plusieurs provinces de Thaïlande, en 1999 et 2000 (Phulsuksombati <i>et al.</i> , 2001).....	152
Tableau 33 : Diversité des sérotypes de Leptospire trouvés par espèce de rongeur, selon les provinces avec ou sans épidémies, en Thaïlande (Phulsuksombati <i>et al.</i> , 2001).....	153
Tableau 34 : Proportion des différents sérotypes selon les provinces avec ou sans épidémies, en Thaïlande (Phulsuksombati <i>et al.</i> , 2001)	153
Tableau 35 : Taux de séropositivité par espèce de rongeurs, en Thaïlande, en 2003 (Kositanont <i>et al.</i> , 2003).....	154
Tableau 36 : Séropositivité vis à vis des antigènes de leptospire, détectés par immunofluorescence directe sur des sections de reins de rongeurs murins collectés dans trois sites du nord et du nord-est de la Thaïlande (Herbreteau, Douchawee <i>et al.</i> , 2005, non publié)	154
Tableau 37 : Sérotypage des rongeurs positifs, collectés dans trois sites du nord et du nord-est de la Thaïlande (Herbreteau, Douchawee <i>et al.</i> , 2005, non publié).....	155
Tableau 38 : Synthèse de l'ensemble des recherches publiées sur la leptospirose, par espèce de rongeurs, en Thaïlande.....	155
Tableau 39 : Tableau de contingence des effectifs observés et effectifs théoriques pour l'ensemble des études publiées portant sur la leptospirose en Thaïlande.....	156
Tableau 40 : Prévalence des antigènes des principaux sérotypes de leptospire sur des cas suspectés hospitalisés à Bangkok et en province, de 1971 à 1982 (Bunnag <i>et al.</i> , 1983).....	157
Tableau 41 : Séropositivité vis à vis des antigènes de leptospire, dans trois sites du nord et du nord-est de la Thaïlande (Bunnag <i>et al.</i> , 1983).....	158
Tableau 42 : Séropositivité vis à vis des antigènes de leptospire, en 1996, dans différentes provinces du nord-est de la Thaïlande (Montian-Arsana <i>et al.</i> , 1997)	158
Tableau 43 : Taux de séropositivité des patients suspectés de leptospirose, dans les provinces du sud de la région nord, en Thaïlande de 1995 à 1999 (les provinces sont ordonnées du nord au sud) (Boonyod, 2001) :.....	159
Tableau 44 : Sérotypage des cas humains de leptospirose, dans les provinces du sud de la région nord, en Thaïlande de 1995 à 1999 (Boonyod, 2001)	159
Tableau 45 : Sérotypage (TAM) de <i>Leptospira interrogans</i> sur les patients suspectés, dans la province de Phrae de 1995 à 2003 (Tanjatham <i>et al.</i> , 2003)	160
Tableau 46 : Comparaison des sérotypes (TAM) de <i>L. interrogans</i> sur les patients suspectés avec ceux de bovins et de rongeurs de la province de Phrae de 1995 à 2003 (Tanjatham <i>et al.</i> , 2003).....	161
Tableau 47 : Présence d'anticorps vis à vis d' <i>Orientia tsutsugamushi</i> par espèce de rongeurs et par province, lors d'une étude menée en 1998-2000 (Imvithaya <i>et al.</i> , 2001)	162
Tableau 48 : Présence d'anticorps contre <i>Orientia tsutsugamushi</i> par espèce de rongeurs collectés dans le nord de la Thaïlande, de 1992 à 2001 (Coleman <i>et al.</i> , 2003).....	163
Tableau 49 : Synthèse de l'ensemble des recherches effectuées en Thaïlande sur le typhus des broussailles, par espèce de rongeurs.....	163
Tableau 50 : Tableau de contingence des effectifs observés et effectifs théoriques (nombre total de rongeurs analysés et rongeurs positifs) pour l'ensemble des études portant sur le typhus des broussailles en Thaïlande.....	164
Tableau 51 : Présence d'anticorps dirigés contre les Hantavirus, sur des rongeurs capturés entre 1981 et 1983 autour des zones portuaires de Bangkok, Sriracha et Bangpakong, ainsi que dans la province de Kanchanaburi (Elwell <i>et al.</i> , 1985).....	165
Tableau 52 : Présence d'anticorps contre les Hantavirus sur des rongeurs capturés à Klong Toey (Ayuthaya, 1991 ; Tantivanich <i>et al.</i> , 1992).....	165
Tableau 53 : Présence d'anticorps dirigés contre quatre souches d'Hantavirus, sur des rongeurs capturés à Chiang Rai (Leitmeyer, 1996)	166
Tableau 54 : Présence d'anticorps contre les Hantavirus par espèce de rongeurs et par province, de 1998 à 2000 en Thaïlande (Imvithaya <i>et al.</i> , 2001)	166
Tableau 55 : Présence d'anticorps contre les Hantavirus par espèce de rongeurs et par province, en Thaïlande (Gonzalez <i>et al.</i> 2001, non publié ; partiellement publié dans Nitapattana <i>et al.</i> , 2000)	167

Tableau 56 : Présence d'anticorps contre les Hantavirus par espèce de rongeurs et par province, en Thaïlande (Nitapattana <i>et al.</i> , 2002).....	167
Tableau 57 : Présence d'anticorps contre les Hantavirus (par PCR, 600 paires de bases), par espèce de rongeurs et par province en Thaïlande (Herbreteau, Gonzalez <i>et al.</i> , 2003, non publié).....	168
Tableau 58 : Synthèse de l'ensemble des recherches publiées sur les hantaviroses, par espèce de rongeurs, en Thaïlande.....	168
Tableau 59 : Tableau de contingence des effectifs observés et effectifs théoriques (nombre total de rongeurs analysés et rongeurs positifs) pour l'ensemble des études publiées portant sur les hantaviroses en Thaïlande.....	169
Tableau 60 : Séropositivité de rongeurs murins vis à vis des antigènes du virus de l'hépatite E, en Thaïlande (Schmidt-Chanasit <i>et al.</i> , 2006).....	170
Tableau 61 : Synthèse de l'ensemble des recherches effectuées en Thaïlande sur la leptospirose, le typhus des broussailles et les hantaviroses, par espèce de rongeurs.....	171
Tableau 62 : Comparaison des moyennes observées des pathologies, deux à deux par un test T de Student.....	172
Tableau 63 : Distribution des ressources de santé (rapport 1/population) en 2000 par région, en Thaïlande.....	179
Tableau 64 : Exemple de l'application de la standardisation des incidences.....	190
Tableau 65 : Exemple de la méthode utilisée pour standardiser le nombre de cas des années 2003 à 2005, en prenant trois classes d'âge et trois districts.....	191
Tableau 66 : Statistiques descriptives des incidences brute et standardisée, par district, pour 100 000 habitants, en 2003.....	191
Tableau 67 : Statistiques descriptives des incidences brute et standardisée, par district, pour 100 000 habitants, en 2004.....	191
Tableau 68 : Statistiques descriptives des incidences brute et standardisée selon la population agricole, par district, pour 100 000 habitants, en 2003 et en 2004.....	198
Tableau 69 : Statistiques descriptives des incidences moyennes par district en 2004 de l'ensemble des pathologies enregistrées, des intoxications alimentaires, de la leptospirose, du typhus des broussailles et des pyrexies d'origine inconnue.....	201
Tableau 70 : Statistiques descriptives des coefficients de corrélation entre les moyennes mensuelles des précipitations et les incidences de leptospirose le même mois, pour l'ensemble des districts dont la somme des incidences de leptospirose dépasse un seuil donné.....	209
Tableau 71 : Statistiques descriptives des coefficients de corrélation entre les moyennes mensuelles des précipitations et les incidences de leptospirose le mois suivant, pour l'ensemble des districts dont la somme des incidences de leptospirose dépasse un seuil donné.....	210

Annexes

- Annexe 1 : Base de données, sources, échelles (les métadonnées complètes sont disponibles sur le CD d'accompagnement).
- Annexe 2 : Fiche d'enregistrement des malades du Ministère de la Santé thaïlandais (en Thai).
- Annexe 3 : Calendrier des missions de terrain.
- Annexe 4 : Fiche de description des sites de capture.
- Annexe 5 : Fiche de description des rongeurs.
- Annexe 6 : Mensurations des principaux rongeurs murins collectés pendant cette thèse.
- Annexe 7 : Satellites, capteurs et champs d'application en télédétection.
- Annexe 8 : Les indices de végétation les plus couramment utilisés.
- Annexe 9 : Bibliographie des applications de la télédétection en santé.
- Annexe 10 : Questionnaire de l'enquête de santé menée à Phrae en 2006.

Annexe 1 : Base de données, sources, échelles

Les métadonnées complètes sont disponibles sur le CD d'accompagnement

Population (Id P) :

Id	Données	Source	Disponible
P1	Recensement (dernier en 2000 « the 2000 population and housing census ») :	National Statistical Office	Tout le pays, par province ou district
P2	Habitat (par sous-district) : en propriété, en location, type de toilettes, type de toit,	National Rural Development committee	Tout le pays, par sous-district
P3	Education (par sous-district) : nombre d'écoles, bibliothèque, niveau scolaire atteint, illettrisme, activités religieuses, nombre d'événements culturels et sportifs	National Rural Development committee	Tout le pays, par sous-district
P4	Activité (par sous-district) : âge des actifs, travail en dehors du district, revenus des différents secteurs d'activité	National Rural Development committee	Tout le pays, par sous-district

Santé (Id S) :

Id	Données	Source	Disponible
S1	Données épidémiologiques par province, par cas déclaré : <ul style="list-style-type: none"> Nom ; âge ; sexe ; situation maritale ; activité ; ville ou village de résidence ; centre où ont eu lieu les soins ; 1^{er} jour de maladie ; date du diagnostique ; date de l'enregistrement ; date de décès ; complications 	Ministry of Public Health	Provinces de : Phrae : 1996-2003 Loei : 1994-2003 Sakhon Nakhon : 1995-2003
S2	Structures de santé : <ul style="list-style-type: none"> Par province, par statut (public/privé) : nombre d'hôpitaux, de lits, d'ambulances, équipement de radiologie, pour césarienne, laser ?, check magnétique ?, lavage reins ? Recours aux soins : nombre de patients hospitalisés ; nombre de jours d'hospitalisation ; nombre de consultations Recensement exhaustif des structures de santé : localisation GPS, nombre de lits, patients 	Ministry of Public Health Ministry of Public Health Non disponible au niveau du ministère	Toutes les provinces, en 2003 Toutes les provinces, en 2003 Loei, Sakhon Nakhon et Phrae
S3	Personnel de santé : <ul style="list-style-type: none"> Par province, par sexe, par statut (fonctionnaire, contractuel, privé) : nombre de médecins, dentistes (+assistants, aides techniques), vétérinaires, pharmaciens, infirmières (médicales ou techniques), sages-femmes, radiologues (+assistants), nutritionnistes, psychologues, assistantes sociales, praticiens de médecine traditionnelle, personnel administratif, statisticiens (+assistants), Recensement exhaustif du personnel dans chaque centre 	Ministry of Public Health Non disponible au niveau du ministère	Toutes les provinces, en 2003 Loei, Sakhon Nakhon et Phrae

S4	Biodiversité des rongeurs : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Description des espèces : morphologie, taxonomie, mise en place d'une collection de référence ▪ Base de données rongeurs comprenant toutes les informations relatives aux spécimens, ainsi que la description des lieux de capture (localisation GPS, environnement) 	Travaux de terrains	> 3000 rongeurs capturés à travers le pays, 19 espèces
----	--	---------------------	--

Milieux naturels (Id N) :

Id	Données	Source	Disponible
N1	Bassins versants : <ul style="list-style-type: none"> ▪ 25 bassins principaux : 	Office of Environmental Policy and Planning	2000 : 1/250000
N2	Réseau hydrographique	Office of Environmental Policy and Planning	1/250000
N3	Topographie (équidistance de 100 mètres)	Royal Thai Survey Department	1/250000
N4	Modèle Numérique de Terrain , dérivé des images Radar enregistrées par la navette spatiale Endeavour, interpolé sur SavGIS	Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) project – NASA http://srtm.usgs.gov/	90 mètres de résolution spatiale Mission de février 2000
N5	Géologie	Department of Mineral resources	1/250000
N6	Pédologie : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sols classés selon 180 séries ▪ Minima et maxima de pH ▪ Description des sols en thaïlandais 	Department of Land Development	1/250000
N7	Occupation des sols : <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1993 : ▪ 2000 : dérivé de l'analyse par télédétection d'une mosaïque d'images du satellite Landsat V Thematic Mapper (donne beaucoup de détail dans le couvert forestier et peu dans le type de cultures) 	Royal Forestry Department	1993 : 1/50000 2000 : 1/20000
N8	Climatologie : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Températures (moyenne mensuelle 1990-2002), humidité relative (moyenne mensuelle 1990-2002), précipitations (cumul mensuel 1981-2005) ▪ Précipitations (moyennes mensuelles sur 30 ans) 	Ministry of Transportation Meteorological department	1143 stations 583 stations

Données agricoles (Id A) :

Id	Données	Source	Disponible
A1	Statistiques générales agricoles (par sous-district)	National Rural Development committee	Tout le pays, par sous-district
A2	Statistiques générales sur l'aquaculture	National Rural Development committee	Tout le pays, par sous-district
A3	Recensement agricole des élevages <ul style="list-style-type: none"> ▪ Principaux élevages : bovins (viande, lait), porcins, caprins, ovins, avec le détail mâles/femelles, nb de fermes ▪ Volailles : poulets, poules pondeuses, canards, avec le détail nombre/nombre de fermes ▪ Autres animaux : chevaux, ânes, éléphants, chevreuils, chameaux, dindes, autruches, oies, avec le détail nombre/nombre de fermes ▪ Fermes d'élevage : nombre de familles impliquées, surface des fermes et des prairies 	Department of Livestock Development http://www.dld.go.th/webenglish/	Tout le pays, par district Recensement agricole 2004

Données économiques (Id E) :

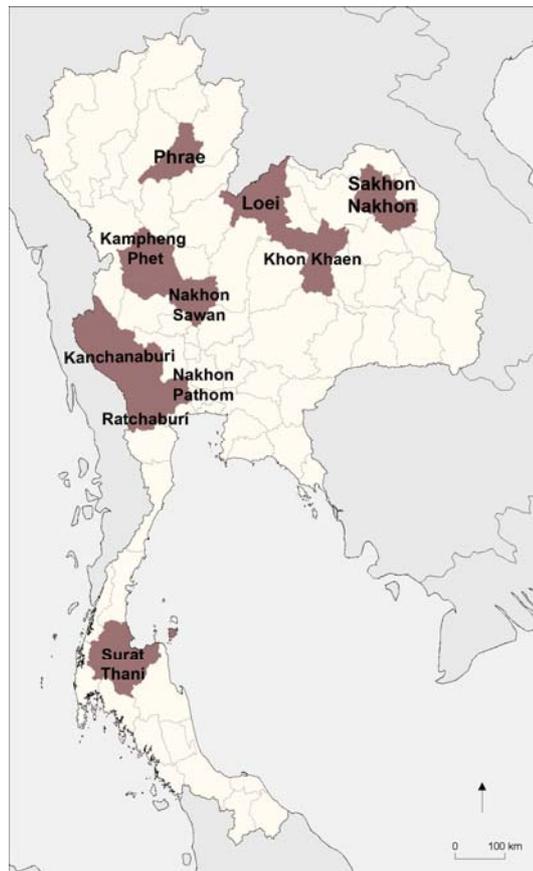
Id	Données	Source	Disponible
E1	Activités (par sous-district) : nombre de marchés, industries, coopératives agricoles Services (par sous-district) : poste, téléphone, lieu de culte, commissariat de police, centre de développement, puits public	National Rural Development committee	Tout le pays, par sous-district
E2	Usines électriques (barrages ou centrales thermiques)	www.egat.or.th	18 sites
E3	Electrification (par sous-district) des maisons, villages, nombre de téléviseurs	National Rural Development committee	Tout le pays, par sous-district
E4	Zones industrielles		27 sites

Transports (Id T) :

Id	Données	Source	Disponible
T1	Réseau routier	Royal Thai Survey Department	1/250000
T2	Réseau ferroviaire	Ministry of transportation	1/250000
T3	Ports maritimes	www.fisheries.go.th	20 sites
T4	Aéroports	www.airportthai.or.th	41 sites
T5	Nombre de véhicules (par sous-district) Temps mis pour aller du sous-district à l'amphoe Muang, par différents moyens de transport	National Rural Development committee	Tout le pays, par sous-district

Annexe 3 : Calendrier des missions de terrain

01-05/04/2002 :	Kanchanaburi
24-28/06/2002 :	Kanchanaburi
15-19/07/2002 :	Kanchanaburi
10-12/09/2002 :	Rachaburi
07-11/10/2002 :	Kanchanaburi
26-28/10/2002 :	Nakhon Sawan, Kampheng Phet
06-08/11/2002 :	Kanchanaburi
02-06/12/2002 :	Kanchanaburi
13-17/01/2003 :	Kanchanaburi
23-24/01/2003 :	Khon Khaen, Sakhon Nakhon
10-14/02/2003 :	Kanchanaburi
24-28/03/2003 :	Kanchanaburi
02-07/06/2003 :	Khon Khaen, Sakhon Nakhon, Loei
23-25/06/2003 :	Phrae
07-11/07/2003 :	Loei
08-15/09/2003 :	Sakhon Nakhon, Loei
06-14/11/2003 :	Sakhon Nakhon, Loei
08-13/12/2003 :	Loei
02-09/02/2004 :	Sakhon Nakhon, Loei
23-26/02/2004 :	Loei
15-19/03/2004 :	Loei
26-30/04/2004 :	Phrae
08-16/05/2004 :	Sakhon Nakhon
06-14/06/2004 :	Sakhon Nakhon, Loei, Phrae
07-13/09/2004 :	Phrae
08-14/10/2004 :	Surat Thani
18-25/11/2004 :	Loei, Phrae
04-08/04/2005 :	Phrae
11/2004-12/2005 :	Nakhon Pathom



Situation des provinces visitées



Photo : Herbreteau V.

Photo 48 : Première mission en avril 2002 à Sangkhlaburi (province de Kanchanaburi)

Annexe 6 : Mensurations des principaux rongeurs murins collectés pendant cette thèse

Species	Weight	Head + body	Tail	% T / HB	Hind foot	Ear	Skull	Mammae
<i>Bandicota indica</i>	390	252	215	85	50	27	59	1 + 2 + 3
<i>Bandicota savilei</i>	206	200	162	81	35	24	50	1 + 2 + 3
<i>Berylmys berdmorei</i>	189	193	160	83	39	23	47	1 + 2 + 2
<i>Berylmys bowersi</i>	377	248	266	107	51	30	58	1 + 1 + 2
<i>Leopoldamys edwardsi</i>	298	231	343	148	47	29	59	1 + 1 + 2
<i>Maxomys surifer</i>	135	183	190	104	38	23	46	1 + 1 + 2
<i>Mus caroli</i>	11	74	75	101	19	12	23	1 + 2 + 2
<i>Mus cervicolor</i>	12	77	61	79	15	13	23	1 + 2 + 2
<i>Mus cookii</i>	12	73	80	110	18	11	23	1 + 2 + 2
<i>Nesokia indica</i>	207	218	219	100	51	26	52	1 + 1 + 2
<i>Niviventer sp.</i>	77	148	172	116	29	20	39	1 + 1 + 2
<i>Rattus andamanensis</i>	122	171	202	118	33	22	43	1 + 2 + 3
<i>Rattus argentiventer</i>	159	189	169	89	40	24	47	1 + 2 + 3
<i>Rattus exulans</i>	33	113	125	111	24	16	31	1 + 1 + 2
<i>Rattus losea</i>	82	158	133	84	29	18	39	1 + 1 + 3
<i>Rattus norvegicus</i>	262	218	192	88	42	21	53	1 + 2 + 3
<i>Rattus tanezumi</i>	123	173	184	106	34	22	44	1 + 1 + 3

© Herbreteau V., 2005

Annexe 7 : Satellites, capteurs et champs d'application en télédétection

Caractéristiques des principaux satellites et capteurs, opérationnels, passés et prévus (complété à partir de Herbreteau et al., 2005, d'après les sites internet consacrés à chaque satellite)

Satellite	Pays	Lancement	Orbite	Période de révolution	Période de passage sur un même point	Altitude (km)	Capteur	Résolution (m)	Longueurs d'onde
ADEOS (Midori) (Advanced Earth Observation Satellite)	Japon	1996	H	101 min	41 j.	797	AVNIR ILAS IMG NSCAT OCTS TOMS POLDER (ADEOS-1-2)	8 (Pan), 16 (MS) > 2 km < 1 km 700 m 2,8 km 7 km	visible / IR proche visible / IR visible / IR Hyp visible UV visible / IR proche
ADEOS-II (Midori II)	Japon	2002	H	101 min	4 j.	803	AMSR GLI ILAS-II Sea Winds	> 2 km 100 m-2 km 100 m-2 km 1,8 km	Hyp visible / IR visible / IR UV
ALOS (Advanced Land Observing Satellite)	Japon	2002	H	99 min	3 j	692	PRISM, AVNIR-2, PALSAR	2,5 10 10-100	visible visible / IR proche Hyp
Aqua (EOS PM-1)	Etats-Unis	2002	pol H	99 min	≈ 1 j ≈ 1 j	705	AIRS AMSU-A AMSR-E MODIS CERES	13,5 km 40 km 6-75 km 250, 500, 1000 20 km	visible / IR IR Hyp visible / IR visible / IR
CBERS 1	Chine,	1999	H	100 min	26 j	778	CCD,	20	visible / IR proche
CBERS 2 (China Brazil Earth Resources Satellite)	Brésil	2003			26 j 5 j		IRMSS, WFI	80, 160 Th 260	visible / IR visible / IR
CBERS 3		2008			5 j		PANMUX,	5-10	visible / IR proche
CBERS 4		2010			3 j		MUXCAM	20	visible / IR proche
ENVISAT (Environmental satellite) en continuité avec ERS-2, ENVISAT, embarque les mêmes capteurs	ESA	2002	H	100 min	35 j	800	SAR, RA, GOME, GOMOS, MERIS, MIPAS MWR RA2	voir ERS-2 1,7 km 100 m-2 km 2,5 cm	voir ERS-2 UV / visible / IR proche visible / IR proche IR moyen Hyp bandes K, Q Hyp bandes Ku, S

EO-1 (Earth Observing)	Etats-Unis	2000	H	99 min	16 j	705	Hyperion	30	Hyp (220 bandes) visible / IR proche IR moyen
EROS-A (Earth Remote Observation Satellite)	Israël	2000	H	94-96 min	≈ 1 j	475-491	ALI Pan	10 (Pan) - 30 1,9 (Pan)	visible / IR proche visible / IR proche
EROS-B		2006					Pan, MS	0,7 (Pan)	visible / IR proche
EROS-C		2009						2,8 (MS)	visible / IR proche
ERS 1-2 (European Remote Sensing Satellite)	ESA	1991, 95	H	100 min	3 – 35 – 168 j	785	AMI-SAR ATSR	30 m (SAR)-50 km 100 m-2 km 40*2 km-40*320 km	Hyp bande C IR visible
FY-2B (Fengyun-2)	Chine	1997	G	-	30 min	36000	GOME VISSR	1,25 km 5 km	visible IR
FY-2C		2004							
FY-2D, FY-2E		2006, 2009							
FY-3E - FY-3G		2006 à 2016							
GMS 1-5	Japon	1995	G	-	30 min	36000	VISSR	1,25 km 5 km	visible IR
GOES 1-7 (Geostationary Operational Environmental Satellites)	Etats-Unis	1978	G	-	15 min	36000	VISSR	4 km	visible / IR
GOES 8, 12		1995-2001	G	-	15 min, 3 h, 1 j	36000	GVAR	1, 4, 6 km	visible / IR
GOES N, O, P, R		2005-2012							
IKONOS	Etats-Unis	1999	H	98 min	1,5 - 3 j	681	MMS, PAN	4, 1 (Pan)	visible / IR proche
INSAT	Inde	1999	G	-	30 min	36000	VISSR	1,25 km 5 km	visible IR
IRS 1A-1B (Indian Remote Sensing Satellite)	Inde	1988, 91				817	LISS-I LISS-II	72,5 36,25	
IRS 1C-1D		1995, 97	H	101 min	24 j	817	WiFS LISS-III Pan	188 23, 70 5,8	visible / IR proche et moyen
IRS P4 (OceanSat-1)		1999	H	99 min	2 j	720	MSMR OCM	360	IR proche
IRS P5		2004							
IRS P6 (ResourceSat-1)		2003	S	5 j	24 j	817	LISS-4 / LISS-3 AWiFS	5.8 / 23.5 56	visible / IR proche visible - IR moyen Hyp

JERS (Japanese Earth Resources Satellite)	Japon	1992	H	96 min	44 j	568	OPS SAR	10-100	visible / IR proche Hyp
Landsat 1-4	Etats-Unis	1972, 82	H	103 min	18 j	915	MSS	80	visible / IR proche
Landsat 4-5		1984	H	99 min	16 j	705	TM	30, 120 (Th)	visible / IR proche
Landsat 7		1999	H	99 min	16 j	705	ETM+	30, 15 (Pan), 60 (Th)	visible / IR proche et moyen
Meteosat 1-7	ESA	1977	G	-	30 min	36000	VIS, IR, WV	2500-5000	visible / IR
MetOp-A	ESA	2006	pol H	101 min	29 j	817	IASI		IR (3,7 – 15,5 µm)
MetOp-B		2010					AVHRR		
MetOp-C		2015							
MSG (Meteosat Second Generation)	ESA	2002	G	-	1 j	35600			
MSG 2		2005							
NOAA 1	Etats-Unis	1979, 99,	H	102 min	3-4 h à 1 j	833-870	AVHRR/2	100 – 2000	visible / IR proche - thermique
NOAA 12-14-15		1994-1998			en général 12 h			en général 1100	
NOAA 16-17		2000-2002							
NOAA 18-N (National Oceanographic and Atmospheric Administration)		2005-2007							
Orbview-1 (non op.)	Etats-Unis	1995-2002	H	-	< 2 j	740	Orbview-1	10 km	IR proche (777 nm)
Orbview-2		1997	H	-	1 j	705	SeaWiFS	1 km	visible / IR proche
Orbview-3		2002	H	-	< 3 j	470	Orbview-3	4 ; 1 (Pan)	visible / IR proche
Orbview-5		2007	H	-	< 3 j	684	SeaWiFS	1,64 ; 0,41 (Pan)	visible / IR proche
PLEIADES-HR 1	France	2008	H	< 1 j	26 j	694	PLEIADES HR	2,8 ; 0,7 (Pan)	visible / IR proche
PLEIADES-HR 2		2010							
Quickbird 2	Etats-Unis	2001	non H	94 min	1-3,5 j	450	MS, PAN	2,44 m (MS) 61 cm (Pan)	visible / IR proche
Radarsat	Canada	1995	quasi-pol H	101 min	24 j	798	SAR	8-100	Hyp bande C
RESURS-01 No 1	Russie	1985-1988	H	98 min	21 j	678	MSU-E	45	visible / IR proche
No 2		1988-1995					MSU-SK	160-600	visible / IR proche
No 3		1994							
No 4		1998							
RESURS-02	Russie	1992	H	98 min	21 j	678	MSU-E MSU-SK Travers-1T Delta-2	25 160-600 200 17 km	visible / IR proche visible / IR proche Hyp Hyp

OKEAN-O1	Russie	1999	pol H			600-650	MSU-V MSU-S MSU-M RLS-BO RM-08	50 160 1,6-2 km 1,5-2 km 15 km	visible / IR proche visible / IR proche visible / IR proche Hyp Hyp
Seastar	Etats-Unis	1997	H	99 min	1 j	705	SeaWiFS	1,1-4,5 km	visible / IR proche
SPOT 1, 2, 3 (non op.) (Satellite pour l'Observation de la Terre)	France	1990, 93	pol H	101 min	26 j	822	HRV-IR	20, 10 (Pan)	visible / IR proche
SPOT 4	France	1998	pol H	101 min	26 j	822	HRVIR, VGT (Vegetation)	20, 10 (Pan) 1 km	visible / IR
SPOT 5	France	2002	pol H	101 min	26 j	822	HRG	20, 10, 5 (Pan)	visible / IR
Terra (EOS AM-1)	Etats-Unis	1999	pol H	99 min	≈ 1 j 4-16 j. 9 j. ≈ 1 j	705	MODIS ASTER MISR CERES	250, 500, 1000 15, 30, 90 275 20 km	visible / IR visible / IR visible / IR proche visible / IR
THEOS (Thailand Earth Observation System)	Thaïlande	2007	H	101 min	35 j	625	Pan MS	2 (Pan) 15 (MS)	visible / IR proche visible / IR proche

non op. = non opérationnel

Pan = panchromatique ; MS = multispectral ; Th = infrarouge thermique ; IR = infrarouge ; UV = ultraviolets ; Hyp = hyperfréquences

C = circulaire ; G = géostationnaire ; H = héliosynchrone ; pol = polaire

ESA = European Space Agency

Champs d'application des capteurs, dans le visible et l'infrarouge :

Satellite	Capteur	Possibilités d'analyse	
		Spatial	Temporel
ADEOS 1, 2	AVNIR (ADEOS-1)	Couvert végétal, agriculture	variations
	GLI (ADEOS-2)	chlorophylle, des substances organiques dissoutes	
	ILAS-II (ADEOS-2)		mesure de l'ozone
	IMG (ADEOS-1)	couleur et température des océans	mesure des gaz à effet de serre
	OCTS (ADEOS-1)	mesures de réflectances	
	POLDER (ADEOS-1-2)	mesures d'absorption	
	RIS (ADEOS-1)		
	Sea Winds (ADEOS-2)		vitesse et direction du vent sur les océans
CBERS	TOMS (ADEOS-1)		mesure de l'ozone
	CCD		
	IRMSS		
ENVISAT	WFI		
	SAR, RA, GOME,	voir ERS-2	voir ERS-2
	GOMOS	atmosphère (ozone), environnement	variations de la couche d'ozone
	MERIS	environnement, agriculture, océans	changements environnementaux
EROS-A1	MIPA	étude des gaz	variations climatiques
	Pan		
ERS 2	ATSR-M	vent, nuages, glace, vapeur d'eau atmosphérique,	variations climatiques, du vent, des inondations, de la
	GOME	océans (vagues, SST)	glace
	AATSR		
GMS 1-5	VISSR		changements globaux
GOES 1-7	VISSR		changements globaux
GOES 8, 10	GVAR		
IKONOS	IKONOS	bâtiments, véhicules (panchromatique), usage des sols	changements agricoles, migrations, modifications d'infrastructures, planification planification
IRS 1A, B, C, D	LISS-I, II, III, WiFS, Pan	Couvert végétal, agriculture, infrastructures	
	JERS	OPS, SAR	
Landsat 1-4	MSS	Couvert végétal, hydrographie, urbain, réseaux routiers	Déforestation, urbanisation
Landsat 4-5	TM (Thematic Mapper)	et hydrographiques	changements environnementaux
Landsat 7	ETM+		
Meteosat 1-7	VIS, IR, WV	climat	changements climatiques

NOAA	AVHRR/2	climat	changements climatiques, catastrophes naturelles, pollutions
Orbview-2	SeaWiFS		
Quickbird	MS, PAN	bâtiments, véhicules (panchromatic), usage des sols	changements agricoles, migrations, modifications d'infrastructures, planification
Seastar	SeaWiFS	température de surface des océans, couleur des océans, teneur en chlorophylle	changements du phytoplancton (couverture régulière des océans)
Spot 1, 2, 4, 5	HRV	occupation des sols, infrastructures	planification, changements environnementaux, prévisions
Terra (EOS AM-1)	MODIS	atmosphère, climat, glace, océans (température de surface), activité photosynthétique	changements à grande échelle, déforestation, feux,
	ASTER	atmosphère, climat	variations climatiques, catastrophes naturelles
	MISR	atmosphère, végétation	structure des forêts, qualité de l'air
	CERES	atmosphère, climat, à petite échelle	variations climatiques

Champs d'application des capteurs, dans les hyperfréquences (radars permettant une utilisation tous temps) :

Satellite	Capteur	Possibilités d'analyse	
		Spatiale	Temporelle
ADEOS 2	AMSR	mesures / eau	variations jour/nuit, /nuages
ENVISAT	MWR	couche nuageuse, humidité de l'air et du sol hauteur des vagues, géodésie marine, glaces	variations variations
ERS 2	RA2 AMI-SAR AMI-Wind	climat, force du vent à la surface des océans, nuages, glace, vapeur d'eau atmosphérique, océans (vagues, températures)	variations climatiques, du vent, des inondations, de la glace
Radarsat	SAR	climat	variations climatiques

Annexe 8 : Les indices de végétation les plus couramment utilisés

Indice	Formule	Caractéristiques	Références
RVI* : Ratio VI (rapport)	$RVI = \frac{pIR}{R}$ ou d'autres canaux Indice pigmentaire XS1/XS2	<ul style="list-style-type: none"> portée large : RVI>0, saturation aux forts indices, sensible à la contribution spectrale des sols et aux effets atmosphériques. 	Jordan, 1969 ; Knipling, 1970 ; Viollier et al., 1985
NDVI : Normalized Difference VI (Indice de végétation normalisé)	$NDVI = \frac{pIR - R}{pIR + R}$	<ul style="list-style-type: none"> gamme de variation plus faible : $1 < NDVI < 1$, sensible aux effets atmosphériques, sensible aux variations angulaires de la visée, selon la position vis à vis du soleil "hot spot". 	Rouse et al., 1974, Tucker, 1979
TVI : Transformed VI (Indice de végétation transformé)	$TVI = \sqrt{NDVI + \frac{1}{2}}$	<ul style="list-style-type: none"> gamme de variation plus faible : $1 < NDVI < 1$, essai d'élimination des valeurs négatives, stabilisation de la variance. 	Deering et al., 1975
Chapeau à corne « tassal cap »	formule générale $a1(V)+a2(R)+a3(pIR)+a4(pIR)$	<ul style="list-style-type: none"> transformation orthogonale des 4 canaux pour réduire la sensibilité à la contribution spectrale des sols, sans pouvoir l'éliminer complètement. 	Kauth & Thomas, 1976
PVI : Perpendicular VI (Indice de végétation perpendiculaire)	$PVI = a1(pIR)-a2(R) + constante$	<ul style="list-style-type: none"> diminution de la contribution spectrale des sols, sensible à diverses caractéristiques des sols. 	Richardson & Wiegand, 1977
Différence	$R - pIR$	<ul style="list-style-type: none"> fortement sensible aux variations atmosphériques. 	Monget, 1980
Indice de verdure (issu du « tassal cap »)	$GR4 = -b1(V)-b2(R)+b3(pIR) +b4(pIR)$ pour canaux MSS		Jackson, 1983
DVI (Difference VI)	$DVI = pIR-R$	<ul style="list-style-type: none"> portée infinie, sensible aux effets atmosphériques. 	Lillesand, 1987
WDVI : Weighted Difference VI (Indice de végétation de différence pondérée)	$WDVI = pIR-g*R$ g = slope of soil line	<ul style="list-style-type: none"> portée infinie, très sensible aux effets atmosphériques. 	Clevers, 1988
SAVI : Soil adjusted VI (Indice de végétation ajusté au sol)	$SAVI = \frac{(1 + L) (pIR - R)}{pIR + R + L}$ avec L = 0,5 pour diminuer l'effet du sol	De nombreux indices sont issus de celui-ci pour minimiser l'effet du sol (TSAVI, MSAVI...).	Huete, 1988

<p>TSAVI : Transformed SAVI (SAVI transformé)</p>	$\text{TSAVI} = \frac{s * (\text{pIR} - s * \text{R} - a)}{a * \text{pIR} + \text{R} - a * s + X * (1 + s * s)}$ <p>with s = pente du sol, a = point d'interception de la ligne du sol X = facteur d'ajustement</p>	<ul style="list-style-type: none"> • portée limitée : $-1 < \text{TSAVI} < 1$, • ajusté par la ligne des sols (a) et la pente (s), • effet du sol minimisé par X. 	<p>Baret, 1989</p>
<p>IPVI . Infrared Percentage VI (Indice de végétation sur le pourcentage d'infrarouges)</p>	$\text{IPVI} = \frac{\text{pIR}}{\text{pIR} + \text{R}}$	<ul style="list-style-type: none"> • portée limitée avec des valeurs positives : $0 < \text{IPVI} < 1$, • sensible aux effets atmosphériques. 	<p>Crippen, 1990</p>
<p>ARVI : Atmospherically Resistant VI (Indice de végétation normalisé corrigé des effets atmosphériques)</p>	$\text{ARVI} = \frac{\text{pIR} - \text{rb}}{\text{pIR} + \text{rb}}$ <p>avec $\text{rb} = \text{R} - \gamma (\text{B} - \text{R})$ B et R : réflectances dans le bleu et le rouge γ (gamma) fonction du type d'aérosols</p>	<ul style="list-style-type: none"> • portée limitée $-1 < \text{ARVI} < 1$, • diminue l'effet des aérosols contenus dans l'atmosphère sur le NDVI, • sensible à la contribution spectrale des sols. Gamma est en général égal à 1 (selon les aérosols). Cette transformation de R par rb peut s'appliquer à d'autres indices. 	<p>Kaufman & Tanre, 1992 Kaufman, 1994</p>
<p>MSAVI (SAVI modifié)</p>	<p>MSAVI = SAVI with $L = 1 - 2 * s * \text{NDVI} * \text{WDVI}$ s = slope of soil line</p>	<ul style="list-style-type: none"> • portée limitée $-1 < \text{MSAVI} < 1$ 	<p>Qi, 1994a</p>
<p>MSAVI2</p>	$\text{MSAVI2} = \frac{1}{2} \left[2(\text{pIR} + 1) - \sqrt{(2\text{pIR} + 1)^2 - 8(\text{pIR} - \text{R})} \right]$	<ul style="list-style-type: none"> • portée limitée $-1 < \text{MSAVI2} < 1$ 	<p>Qi, 1994b</p>

*VI = vegetation index

Annexe 9 : Bibliographie des applications de la télédétection en santé

Tableau 1 : Télédétection et bactérioses

Maladie	Vecteur ou hôte étudié	Région	Satellite - capteur	Analyse	Référence
Cholera (<i>Vibrio cholerae</i>)		Bangladesh	NOAA – AVHRR, TOPEX	SST, SSH	Lobitz, 2000
Maladie de Lyme	<i>Ixodes scapularis</i>	Etats-Unis	NOAA – AVHRR	NDVI, températures	Estrada-Peña, 2002
Maladie de Lyme	<i>Ixodes scapularis</i>	Etats-Unis	NOAA, Landsat TM	Climate, NDVI	Guerra, 2002
Maladie de Lyme, TBE	<i>Ixodes ricinus</i>	République tchécoslovaque	Landsat TM	types forêts : classif dir	Daniel, 1998-90
Maladie de Lyme		Etats-Unis	photographies aériennes	occupation des sols	Franck, 1998
Maladie de Lyme	<i>Ixodes scapularis</i>	Etats-Unis (Wisconsin)	Landsat TM	NDVI	Kitron, 1997, 1993
Maladie de Lyme	<i>Ixodes scapularis</i>	Etats-Unis (New-York)	Landsat TM	Structure et densité de végétation, humidité	Dister, 1997
Peste	<i>Chortoicetes terminifera</i>	Australie	Landsat TM	végétation et ses changements	Bryceston, 1986

TBE : Tick-Borne Encephalitis

NDVI : Normalized Difference Vegetation Index (indice de vegetation normalisé), MI : Moisture Index, PVI : Perpendicular Vegetation Index (Richardson, 1977), LST = Land Surface Temperature (température à la surface du sol)

SST : Sea surface temperature (température à la surface des océans), SSH = Sea surface Height (hauteur de la surface des océans), dT = diurnal temperature difference (différence de température) min/max T : minimum et maximum de températures

Tcap : tasseled cap transformation

CCD : Cold-Cloud Duration

Classif dir / non dir : classification dirigée / non dirigée

Tableau 2 : Télédétection et mycoses

Maladie	Vecteur ou hôte étudié	Région	Satellite - capteur	Analyse	Référence
Paracoccidioïdomycose		Brésil (Sao Paulo)	NOAA – AVHRR, Landsat TM	NDVI	Barrozo Simões, 2003

Tableau 3 : Télédétection et rickettsioses

Maladie	Vecteur ou hôte étudié	Région	Satellite - capteur	Analyse	Référence
Fièvre Q		Guyane française	2 SPOT-XS	densités de population	Tran, 2002

Tableau 4 : Télédétection et viroses

Maladie	Vecteur ou hôte étudié	Région	Satellite - capteur	Analyse	Référence
Encéphalite de Saint-Louis	<i>Aedes, Culex</i> spp.	Etats-Unis (Michigan)	photographies aériennes	couvert/occupation couvert/occupation	Wagner, 1979
Fièvre Dengue	<i>Aedes aegypti</i>	Australie	photographies aériennes	échec de l'utilistation	Moloney, 1998
Fièvre Ebola		Gabon, Congo, Soudan	NOAA – AVHRR Landsat TM-MSS	NDVI	Tucker, 2002
Fièvre de la vallée du Rift		Afrique	NOAA - AVHRR	NDVI	Anyamba, 2002
Fièvre de la vallée du Rift	<i>Aedes, Culex</i> spp.	Kenya	NOAA – AVHRR, Landsat TM, SPOT, SAR	NDVI, SST	Linthicum, 1999
Fièvre de la vallée du Rift	<i>Culex</i> spp.	Senegal	NOAA – AVHRR, SPOT	couvert/occupation	Linthicum, 1994
Fièvre de la vallée du Rift	<i>Culex</i> spp.	Kenya	Landsat TM, SAR	surfaces inondées	Pope, 1992
Fièvre de la vallée du Rift	<i>Aedes, Culex</i> spp.	Kenya	NOAA – AVHRR	humidité du sol, NDVI	Linthicum, 1987-90
Hantavirose (Virus Sin Nombre)	<i>Peromyscus maniculatus</i>	Etats-Unis	Landsat TM	NDVI	Boone, 2000
Hantavirose (HPS Syndrome pulmonaire)	<i>Peromyscus maniculatus</i>	Etats-Unis	3 Landsat TM	elevation, environnement	Glass, 2000

Tableau 5 : Télédétection et parasitoses

Maladie	Vecteur ou hôte étudié	Région	Satellite - capteur	Analyse	Référence
Dracunculose	<i>Cyclops</i> spp.	Niger	Landsat TM	végétation, NDVI	Ahearn, 1996
Dracunculose	<i>Cyclops</i> spp.	Bénin	Landsat TM	environnement	Clarke, 1991
Echinococcose		Chine (province de Gansu)	1 Landsat MSS, 1 Landsat TM	couvert	Graham, 2004
Fasciolose		Bolivie	NOAA – AVHRR	NDVI	Fuentes, 2001
Fasciolose	<i>Fossaria bulimoides</i>	Etats-Unis (Louisiane)	Landsat MSS	couvert, pente	Malone, 1992
Filariose (onchocercose)	<i>Chrysops</i> spp.	Afrique centrale	NOAA – AVHRR	couvert	Thomson, 2000
Filariose	<i>Culex pipiens</i>	Egypte	Landsat TM	NDVI	Hassan, 1998
Filariose (de Bancroft)	<i>Culex pipiens</i>	Egypte	NOAA – AVHRR	dT	Thompson, 1996
Filariose (onchocercose)	<i>Similium damnosum</i> s.l.	Soudan	Landsat TM photographies aériennes	couvert/occupation	Baker, 1986a-b
Leishmaniose	<i>Phlebotomus martini</i> , <i>P. orientalis</i>	Afrique de l'est	NOAA – AVHRR	LST, NDVI	Gebre-Michael, 2004
Leishmaniose	<i>Phlebotomus orientalis</i>	Est-Soudan	SPOT-Vegetation	NDVI, climate	Elnaiem, 2003
Leishmaniose		Nord-est Brésil	1 Landsat TM	occupation des sols	Thompson, 2002
Leishmaniose		Brésil (Sudeste)	Landsat TM	végétation	Miranda, 1998
Leishmaniose	<i>Phlebotomus papatasi</i>	Asie du sud-ouest	NOAA - AVHRR	NDVI	Cross, 1996
Malaria		Afrique de l'est	NOAA – AVHRR	climat	Zhou, 2004
Malaria	<i>Anopheles</i> spp.	Kenya, Ouganda	NOAA – AVHRR, METEOSAT	LST, NDVI, climat	Abeku, 2004, Hay, 2003-1999-98a-b
Malaria	<i>Anopheles</i> spp.	Kyunggi, République de Corée	1 Landsat TM	occupation des sols	Claborn, 2002
Malaria		Afrique	NOAA – AVHRR, METEOSAT	LST, NDVI, climat	Omumbo, 2002
Malaria		Afrique de l'ouest	NOAA – AVHRR	NDVI, températures	Kleinschmidt, 2001
Malaria		Gambie	SPOT-XS	occupation des sols	Thomas, 2000
Malaria	<i>Anopheles gambiae</i> , <i>A. funestus</i>	Kenya	NOAA – AVHRR	NDVI	Patz, 1998
Malaria	<i>Anopheles albimanus</i>	Mexique (Chiapas)	2 Landsat TM	Occupation :classif dir et non-dir	Beck, 1994-97
Malaria		Inde	IRS LISS-II	paysages	Sharma, 1996-97
Malaria	<i>Anopheles</i> spp.	Gambie	NOAA – AVHRR, METEOSAT	NDVI, CCD : résultats mitigés	Thomson, 1996-97

Malaria	<i>Anopheles pseudopunctipennis, A. darlingi</i>	Belize	SPOT XS	environnement	Roberts, 1996
Malaria	<i>Anopheles albimanus</i>	Mexique	photographies aériennes	occupation des sols	Rodriguez, 1996
Malaria	<i>Anopheles albimanus</i>	Belize	1 SPOT	occupation des sols	Rejmankova, 1995
Malaria	<i>Anopheles albimanus, A. pseudopunctipennis</i>	Mexique (Chiapas)	Landsat TM	couvert/occupation : classif non-dir	Pope, 1993, Rejmankova, 1991-92
Schistosomiase		Ouganda	NOAA – AVHRR	LST, NDVI	Kabatereine, 2004
Schistosomiase		Tchad, Cameroun	1 NOAA – AVHRR	zonage écologique LST, NDVI	Beasley, 2002 Brooker, 2002
Schistosomiase	<i>Oncomelania hupensis hupensis</i>	Chine	Landsat TM	occupation des sols	Davis, 2002
Schistosomiase	<i>Oncomelania hupensis hupensis</i>	Chine	NOAA – AVHRR, 4 Landsat TM	TNDVI	Zhou, 2002-01
Schistosomiase		Chine	Landsat TM	occupation des sols	Seto, 2002
Schistosomiase	<i>Biomphalaria pfeifferi</i>	Ethiopie	NOAA – AVHRR	LST, NDVI	Kristensen, 2001
Schistosomiase		Egypte	NOAA – AVHRR, Landsat TM	dT, Tcap	Abdel-Rahman, 2001
Schistosomiase	<i>Biomphalaria glabrata, B. straminea</i>	Brésil (Bahia)	NOAA – AVHRR	NDVI, dT	Bavia, 2001
Schistosomiase		Tanzanie	NOAA – AVHRR	LST, NDVI	Brooker, 2001
Schistosomiase		Ethiopie	NOAA – AVHRR	NDVI, temp	Malone, 2001
Schistosomiase	<i>Phlebotomus papatasi</i>	Asie du sud-ouest	NOAA – AVHRR	NDVI	Cross, 1996
Schistosomiase	<i>Biomphalaria spp.</i>	Egypte (Delta du Nil)	NOAA – AVHRR, Landsat TM	min/max T, dT, NDVI	Malone, 1994-97
Schistosomiase	<i>Oncomelania spp.</i>	Chine	NOAA – AVHRR, Landsat TM	zonage écologique	Chen, 1991
Schistosomiase		Philippines	Landsat MSS	climat	Cross, 1984
Trypanosomiase		Côte d'Ivoire	SPOT XS	Densités de peuplements	Lointier, 2001
Trypanosomiase	<i>Glossina spp.</i>	Burkina Faso	SPOT XS	occupation des sols	Michel, 2001
Trypanosomiase	<i>Glossina morsitans.</i>	Nigeria, Gambia	NOAA – AVHRR, METEOSAT	LST	Rogers, 2000
Trypanosomiase	<i>Glossina m. morsitans, G. m. centralis, G. m. pallidipes</i>	Afrique du sud	NOAA – AVHRR	occupation des sols, climat	Robinson, 1997a-b, 1998
Trypanosomiase	<i>Glossina spp.</i>	Kenya	Landsat TM	NDVI	Kitron, 1996
Trypanosomiase	<i>Glossina spp.</i>	Côte d'Ivoire, Burkina	NOAA – AVHRR,	NDVI, CCD	Rogers, 1996

Trypanosomiase	<i>Glossina morsitans, G. pallidipes</i>	Faso Kenya, Zimbabwe, Tanzanie	METEOSAT NOAA – AVHRR	NDVI	Rogers, 1993
Trypanosomiase	<i>Glossina spp.</i>	Afrique	NOAA – AVHRR, METEOSAT	NDVI, climat	Rogers, 1991
Trypanosomiase	<i>Glossina spp.</i>	Tanzanie	Landsat MSS	couvert / habitats	Giddings, 1976

Tableau 6 : Télédétection et étude des vecteurs (sans étude des pathogènes)

Vecteur	Maladie associée	Région	Satellite - capteur	Analyse	Référence
Moustiques (<i>Culex annulirostris</i>)	arboviroses	Australie	photographies aériennes	gîtes larvaires	Dale, 1996
Moustiques (<i>Culex quinquefasciatus</i>)		Inde (Delhi)	IRS-1A-1B – LISS-II	occupation : classif dir	Sharma, 1996
Moustiques (<i>Anopheles freeborni</i>)	Malaria	Etats-Unis (Californie)	ER-2 - TMS	NDVI, réflectance / production végétale	Wood, 1991a-b, 1992
Moustiques (<i>Psorophora columbiae</i>)		Etats-Unis (Texas)	photographies infrarouges aériennes	habitats	Welch, 1989a-b
Moustiques (<i>Culex tarsalis, Aedes vexans</i>)		Etats-Unis	Landsat MSS	habitats	Hayes, 1985
Moustiques (<i>Psorophora columbiae</i>)		Etats-Unis (Louisiane)	photographies aériennes	habitats	Fleetwood, 1981
Tiques (3 espèces <i>Ixodes</i> , 6 espèces <i>Ixodes</i>)		Espagne	NOAA - AVHRR	NDVI	Calvette, 2003
Tiques (<i>Boophilus microplus</i>)		Amérique centrale et du sud	NOAA – AVHRR	NDVI	Estrada-Peña, 1999- 2001
Tiques (<i>Amblyomma variegatum, Ixodes ricinus</i> , tiques d'Afrique)		Caraïbes Europe Afrique	Landsat NOAA – AVHRR	NDVI	Randolph, 2000
Tiques (<i>Rhipicephalus appendiculatus</i>)		Afrique du sud	NOAA – AVHRR	NDVI	Randolph, 1993-94-99
Tiques (<i>Rhipicephalus appendiculatus</i>)		Afrique	NOAA – AVHRR	NDVI	Perry, 1991
Tiques (<i>Amblyomma variegatum</i>)		Guadeloupe	Landsat TM	occupation : classif non- dir MI, PVI	Hugh-Jones, 1988-92

Tableau 7 : Télédétection et étude des pathogènes

Pathogènes	Maladie associée	Région	Satellite - capteur	Analyse	Référence
Nématodes (<i>Ascaris lumbricoides</i> , <i>Trichuris trichiura</i>)		Asie du sud-est	NOAA – AVHRR	LST, NDVI	Brooker, 2000, 2003
Nématodes (<i>Ascaris lumbricoides</i> , <i>Trichuris trichiura</i>) + Trématodes (<i>Schistosoma haematobium</i> , <i>S. mansoni</i>)		Tchad, Cameroun, Tanzanie	NOAA – AVHRR	zonage écologique LST, NDVI	Beasley, 2002 Brooker, 2002

Tableau 8 : Télédétection et maladies non infectieuses

Exposition	Région	Satellite - capteur	Analyse	Référence
Exposition aux pesticides	Etats-Unis (Nebraska)	1 Landsat MSS	Occupations agricoles : classif dir	Ward, 2000



แบบสอบถามสุขภาพ
(Health survey)



Part 1: General information

1. Interview number.....
2. GPS coordinates N.....E.....
3. Address..... Tambon.....
Amphoe..... Province.....
4. Distance from your house to the nearest neighbor
 < 10 m. 10 - 100 m. > 100 m.
5. Distance from your house to the nearest crop field
 < 10 m. 10 - 100 m. > 100 m.
6. Gender male female
7. Birth
8. Birth place.....
9. Status
 single married divorce
 widow separated
10. Status of interviewee
 family leader house wife
 child other.....

11. Family members

Number	gender	age	occupation	Illness condition			
				diarrhea	Dengue fever	Leptospirosis	other

Part 2: Health behavior

12. When you are sick, where do you go?
 use self-medication go to a community hospital
 go to a pharmacy go to a provincial hospital
 go to the health center go to a private hospital
 go to a clinic other.....
13. Distance from your house to the nearest health center, clinic or hospital.....
14. Mean of transportation to the nearest health center, clinic or hospital
 walk picked up by family or friend
 motorcycle unable to go
 car other.....

Part 3: Activities

15. Family leader occupation.....
16. workplace..... Tambon.....
Amphoe..... Province..... Distance from home.....
17. If employed Full-time Part-time
18. Distance from your house to your working place.....
19. Mean of transportation to your working place
 walk motorcycle
 car picked-up other.....

Part 4: Housing

20. House
 own house rent home paying by instorement
21. House character
 single house apartment
 row of room town house
22. Characteristic of single-house
 one-storey two-storey wood and cement other.....
23. Basement yes no
24. Material hard wood yes no
 cement yes no
 bamboo yes no
 other..... yes no
25. Do you have any fields or garden around your house
 yes no
26. If there is a garden, how is it maintained?
 clean partially maintained not maintained

Part 5: Domestic animals and livestock

27. Do you have any dogs or cats?
Dog yes.....number no
Cat yes.....number no
28. Do you breed any of these animals?
Chicken yes.....number no
Pig yes.....number no
Buffalo yes.....number no
Duck, goose yes.....number no
29. Where is the farming area?
 around the house a basement
30. How do you deal with manure?
 compost heal no management

46. How do you treat water before drinking?

- filter boil potash
 no treatment other.....
 boil filter no treatment

47. How is the well?

- clean dirty

Part 8: Toilet

48. Do you have toilet?

- yes no

49. If no toilet, where do you go?

- forest river neighbor's toilet other.....

50. How often your family use the toilet?

- always not often

51. How is the toilet?

- clean dirty

52. Do you have enough water to clean the toilet?

- enough not enough

53. What do you use to clean the toilet?

- cleaning solution for toilet washing powder (for clothes)
 water other.....

Part 9: Cooking behavior

54. How do you wash fruits and vegetables?

- with water with potassium permanganate
 with salt do not wash

55. Do you separate utensils when preparing cooked and uncooked food?

- separate not separate

56. Where do you prepare food?

- upper than 60 cm. lower than 60 cm.

57. Where do you keep the food?

- do not keep put a cover
 in food cupboard outside

58. Do you warm up food before eating?

- warm up do not warm up

59. How is the place where dishes are kept?

- suitable not suitable

Part 10: Personal hygiene

60. Do you wash your hands before eating?

- wash not wash

61. Do you wash your hands after going to the toilet?

wash with water wash with soap do not wash

62. During last year, have you ever eaten half-done?

eat do not eat

Part 11: Exposure to arthropod-borne diseases

63. Do you have flies and/or cockroaches in your house?

yes no

64. During last year, did you conduct cockroaches or flies control?

yes no

65. Do you have any swamp area around your house?

yes no

66. Do you have any prevention avoiding mosquitoes to lay eggs in containers?

yes no

67. If yes, how do you prevent?

with cover abate sand cotton close
 use salt change water

68. During last year, did you conduct mosquito control?

yes no

69. Do you have screen doors against mosquitoes?

use don't use

70. Do you use a mosquito net when sleeping on day time?

use don't use

Part 12: Exposure to rodent-borne diseases

71. Are there any rat in your home, garden or fields?

yes no

72. When you go into wet areas, what kind of shoes do you wear?

flipper canvas shoes
 boots nothing

73. Do you wash your feet after walking into wet areas?

yes no

74. If you wash your feet, how do you do?

with water with soap

75. Having a wound, have you ever walked though wet areas?

ever never

76. During last years, did you conduct rodent control?

yes no

Titre et résumé en Thai

ชื่อเรื่อง

ภูมิศาสตร์ของโรคจากหนูสู่คนในประเทศไทย : การกระจายของพาหะนำโรคที่ทำให้เกิดความเสียหาย

บทคัดย่อ

เมื่อกว่าถึงหนูในประเทศไทยเป็นเพียงสัตว์ที่ถูกล่าเพื่อเป็นอาหารหรือศัตรูต่อพืชผลทางการเกษตร ในปีค.ศ. 1996 มีการระบาดของโรคเลปโตสไปโรซิส (โรคฉี่หนู) โดยมีหนูเป็นพาหะที่สำคัญหรือรังโรคติดต่อสู่คน นอกจากนี้ยังพบเชื้อฮันต้าไวรัส (hantaviruses) ในหนูและพบผู้ป่วยที่มีเชื้อโรคสครับไทฟัส วัตถุประสงค์ในการศึกษาเพื่อสำรวจลักษณะภูมิศาสตร์ของโรคจากหนูสู่คนและประเมินความเสี่ยงการแพร่ของเชื้อโรคสู่คน

การเก็บตัวอย่างเพื่อได้ตัวอย่างที่หลากหลายในแต่ละพื้นที่ ออกเก็บตัวอย่างหนูในระบบนิเวศที่แตกต่างกัน ในขณะที่เดียวกันได้สำรวจระบบสาธารณสุข พฤติกรรมสุขภาพของประชากรในจังหวัดแพร่ และประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อวิเคราะห์ภาพรวมของทั้งประเทศเกี่ยวกับหนูและสาธารณสุข

จากการศึกษาโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมและการออกสำรวจทำให้ได้ความรู้ใหม่ที่เป็นปัจจุบันเกี่ยวกับหนูที่เป็นรังโรคและการแพร่กระจายในประเทศไทย และการถ่ายทอดโรคที่เกิดจากหนูที่เป็นพาหะที่ทำให้เกิดโรค จากลักษณะทางภูมิศาสตร์ของโรคจากหนูแสดงให้เห็นว่าเกิดจากความแตกต่างของคุณภาพชีวิต ความยากจนและความไม่เท่าเทียมกันทางสังคม ซึ่งเชื่อมโยงถึงการเข้ารับบริการสาธารณสุข และประชาชนที่สัมผัสกับสัตว์โดยตรง

ผลที่ได้จากการศึกษาสามารถเป็นเครื่องมือและทฤษฎีที่ประยุกต์ใช้ในการศึกษาโรคสัตว์สู่คนได้