Le mésothéliome malin pleural en Nouvelle-Calédonie : analyse spatiale et déterminants environnementaux - facteurs de risque d'exposition à l'amiante naturel

Francine Baumann

▶ **To cite this version:**

Francine Baumann. Le mésothéliome malin pleural en Nouvelle-Calédonie : analyse spatiale et déterminants environnementaux - facteurs de risque d'exposition à l'amiante naturel. Santé publique et épidémiologie. Université de la Nouvelle-Calédonie, 2010. Français. NNT : 2010NCAL0031 . tel-02973274

HAL Id: tel-02973274
https://unc.hal.science/tel-02973274

Submitted on 21 Oct 2020

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.

UNIVERSITÉ de la NOUVELLE-CALÉDONIE

ECOLE DOCTORALE

Doctorat

Epidémiologie – Environnement
Géographie de la santé

Francine BAUMANN

Le mésothéliome malin pleural en Nouvelle-Calédonie : analyse spatiale et déterminants environnementaux – facteurs de risque d'exposition à l'amiante naturel

---

Thèse dirigée par : Dr Bernard ROBINEAU, IRD et Pr Henri BONNEL, UNC

Soutenue le 12 octobre 2010

Jury :

- Dr Fabrice COLIN, *Rapporteur*
- Pr Jeroen DOUWES, *Rapporteur*
- Pr Henri BONNEL, *Examinateur*
- Pr Jean-Christophe GAY, *Examinateur*
- Dr Morgan MANGEAS, *Examinateur*
- Dr Pierre MAURIZOT, *Examinateur*
- Dr Bernard ROBINEAU, *Examinateur*

DOI:10.6098/2010NCAL0031

Résumé

Introduction. L'amiante regroupe principalement deux familles de minéraux silicatés fibreux : les serpentines et les amphiboles, dont seulement six minéraux sont utilisés pour l'industrie et recherchés par les laboratoires d'analyse agréés. L'inhalation de fibres d'amiante est responsable de graves maladies respiratoires, dont les cancers du poumon et les mésothéliomes malins pleuraux. Dans l'environnement naturel, l'amiante est généralement associé aux roches ultrabasiques et aux serpentinites. En 1980, des analyses minéralogiques ont montré la présence de fibres d'amiante dans des échantillons de minerai de nickel provenant de Nouvelle-calédonie (NC). Une étude établissait cependant en 1995 le lien entre les excès de cas de cancers pleuraux et le blanchissement des habitations avec une chaux locale, appelée « *Pö* ».

Nos travaux de recherche se sont déroulés suivant quatre étapes : nous avons d'abord étudié la distribution des incidences des cancers en NC afin de vérifier l'incidence anormale des mésothéliomes et des cancers pulmonaires, puis nous avons conduit une étude cas-témoins sur les mésothéliomes malins pleuraux pour identifier les groupes et les communes à risque, ainsi que les principaux facteurs de risque ; en troisième étape nous avons mené des enquêtes épidémiologiques, géologiques et minéralogiques dans les secteurs à plus forte incidence, enfin nous avons analysé les clusters de la maladie et réalisé une étude écologique à l'échelle des tribus.

Objectifs. Les principaux objectifs de notre travail étaient de cibler les populations à risque, d'étudier les variations spatiales et temporelles du mésothéliiome en NC et d'analyser les associations avec les différents facteurs environnementaux.

Méthodes : Les incidences standardisées sur l'âge à la population mondiale des cancers ont été étudiées à partir des données du registre du cancer de Nouvelle-Calédonie, ainsi que leur évolution sur les 30 dernières années. Puis les mésothéliomes malins pleuraux ont été comparés avec des témoins issus du registre. Le *Pö*, l'activité minière et la présence de serpentinite dans le sol ont été analysés de façon uni et multivariée selon deux méthodes : une analyse qualitative comparait les communes de résidence des cas de mésothéliome avec celles indemnes de cas, puis

une analyse quantitative par la régression linéaire prenait en compte les taux d'incidence.

La troisième étape de mes travaux consistait à reconstruire l'histoire résidentielle et professionnelle des cas de mésothéliome dans les régions à plus haut risque, à rechercher toutes les sources d'amiante possible dans l'environnement géologique et à vérifier la présence de fibres par l'analyse minéralogique des échantillons. L'ensemble des 109 cas de mésothéliome enregistrés de 1984 à 2008 inclus a été investigué. Une étude écologique a été menée sur les 100 tribus d'un large secteur d'étude, incluant les zones à plus haut risque et des régions sans cas. Les clusters spatiaux, temporels et spatio-temporels ont été analysés. Les associations avec les facteurs environnementaux ont été évaluées en utilisant la régression logistique et la régression de Poisson. Les intervalles de confiance des taux d'incidences, des odds ratios (OR) et des incidences rates ratios (IRR) sont donnés à 95%, sous l'hypothèse que la distribution observée suit une loi de Poisson.

Résultats : L'analyse des cancers enregistrés sur les 30 dernières années en Nouvelle-Calédonie montre la sur incidence des cancers respiratoires et des mésothéliomes malins dans les deux sexes, en particulier chez les Mélanésiens en Province Nord. Soixante-huit cas de mésothéliome ont été inclus dans l'étude cas-témoins. Le groupe le plus touché était celui des Mélanésiens, avec un OR de 16,18 (*95% CI : [5.68; 49.64]*) comparé aux Européens, et un sexe ratio proche de 1 confirmant une exposition environnementale dès l'enfance pour ce groupe. Deux secteurs à risque étaient mis en évidence : Houaïlou-Bourail (35% des cas) et Koné-Touho-Poindimié (20% des cas). L'activité minière et le *Pö* n'étaient pas significativement liés à l'incidence, alors qu'une relation significative était mise en évidence entre le mésothéliome et la présence de serpentinite dans le sol ($p = 0.017$).

Au cours de nos enquêtes, nous avons constaté l'existence de nombreuses carrières de serpentinite, dont le principal minéral fibreux était l'antigorite. Nous avons aussi découvert que le *Pö* n'était pas toujours trémolitique ; il pouvait être fait à partir de corail, d'argile ou de silice selon les régions. L'usage du *Pö* a disparu dans la région de Houaïlou à partir des années 1960, alors qu'il était utilisé jusqu'à la fin des années 1990 dans certaines tribus de Poya et de Hienghène.

La plus forte incidence du mésothéliome était observée à Houaïlou (*ASR=128.7 pour 100,000 personnes-années; 95%CI: 70.41–137.84*), où un cluster spatial significatif rassemblait 18 tribus (*31 cas observés vs 8.12 cas attendus*, *p=0.001*). Deux autres clusters, non significatifs, ont été retrouvés à Koné et à Poindimié ; aucun cluster temporel n'a été identifié. Les analyses écologiques ont identifié la présence de serpentinite sur routes comme étant le principal facteur de risque: *OR = 495.0, 95%CI: 46.2–4679.7; multivariate IRR=13.0, 95%CI: 10.2-16.6*. Le risque croit avec la surface de serpentinite, la proximité aux carrières de serpentinite et la distance au massif de peridotite. L'association de la maladie avec les serpentines, en particulier l'antigorite, est plus importante qu'avec les amphiboles. Une forte pente, ainsi qu'une couverture végétale dense, apparaissent comme des facteurs protecteurs. L'utilisation du *Pö* trémolitique n'est pas associée avec l'incidence de la maladie.

Conclusions: Cette étude révèle que l'utilisation de serpentinite pour encaillasser les routes représente un facteur d'exposition majeur à l'amiante en NC. Il est urgent de terminer le recensement des carrières de serpentinite, d'en interdire l'utilisation et de les neutraliser, et d'en faire de même pour les routes recouvertes avec ce matériau.

Nos travaux ont également montré que l'antigorite pouvait libérer des fibres dangereuses pour la santé humaine. Ce minéral devrait être ajouté sur la liste des fibres d'amiante à rechercher dans les analyses d'échantillons d'origine environnementale.

Mots clés

amiante, mésothéliome, Nouvelle Calédonie, environnement, géographie, santé, analyse de cluster, étude écologique, serpentinite, antigorite, trémolite

Malignant pleural mesothelioma in New Caledonia: spacial analysis and environnemental determinants – risf factors for exposure to natural asbestos

Abstract

Background: Asbestos groups mainly two families of fibrous silicate minerals: serpentines and amphiboles, of which 6 minerals are used for industry and diagnosed by agrees laboratories. Inhalation of asbestos fibres is responsible for lung cancers and malignant pleural mesothelioma. In natural environment, asbestos is commonly found in serpentinites. In 1980, mineralogical analysis showed the presence of asbestos in nickel ore specimens from NC. However, a study established in 1995 a relationship between excess cases of pleural cancer in NC and a traditional whitewash of houses, called "*Pö*".

Four successive steps set up our study: we first studied the spacial distribution of cancer incidences in NC to check the over incidence of mesothelioma and lung cancer, then we lead a case-control study of mesothelioma in order to identify high risk areas and main risk factors, third we carried out epidemiological, geological and mineralogical investigations in high incidence areas, finally we analysed the clusters of the disease and we performed an ecological study to assess the associations with environmental factors.

Objectives: Main objectives were to highlight high risk populations, to study the spatial and temporal variation of mesothelioma in NC and to analyse its association with environmental factors.

Methods: From the Cancer Registry of NC, we calculated world age standardized incidences (*ASR*) of cancers by sex, age group, ethnic group and site, and analysed their trends for the past 30 years. Then we compared malignant pleural mesothelioma diagnosed between 1984 and 2002 with controls selected from the cancer registry. *Pö*, mining activity and serpentinite in surface soil were analyzed using a qualitative

method comparing communes of residence with and without mesothelioma cases, and a quantitative linear regression.

In the third step we rebuilt the residential and occupational history of cases living in the highest risk areas, we looked for the asbestos sources in the geological environment, and we checked the presence of fibres by using mineralogical analysis of samples. Then all the 109 mesothelioma cases recorded in the Cancer Registry of New Caledonia for the 1984-2008 period were investigated. We conducted an ecological study in the 100 tribes of a large study area including the highest incidence communes. Spatial, temporal and space-time cluster analyses were performed. Associations with environmental factors were assessed using logistic and Poisson regressions analyses. Confidence intervals of incidence rates, odds ratios (*OR*) and incidence rate ratios (*IRR*) are given at 95% level, under the assumption that observed distribution follows a Poisson distribution.

Results: Analysis of cancer incidence in NC for the past 30 years showed an over incidence of lung cancers and mesothelioma in both sexes, particularly in Melanesians of Northern Province. Sixty-eight mesothelioma cases were included in the case-control study. Melanesians had the highest risk (*OR = 16.18; 95% CI = [5.68; 49.64]*) compared to Europeans. The sex ratio close to 1 and the number of young cases were consistent with environmental exposure in this group. Two high risk areas were highlighted: Houailou-Bourail (35% of cases) and Koné-Touho-Poindimié (20% of cases). Mining activity and *Pö* were not significant risk factors. The existence of a significant relationship between soil containing serpentinite and mesothelioma was demonstrated (*p = 0.017*).

We noticed the presence of numerous serpentinite quarries in the highest risk areas, whose main fibrous mineral was antigorite. Our investigations showed also that *Pö* was not always made of tremolite. It could be made of coral, clay or silica. This use was given up since the 1960's in Houaïlou area while it was present until the last 1990's in some tribes of Hienghène and Poya.

The highest mesothelioma incidence was observed in the Houaïlou area (*ASR=128.7 per 100,000 person-years; 95%CI: 70.41–137.84*). A significant spatial cluster grouped 18 tribes (*31 observed cases vs 8.12 expected cases, p=0.001*), but no significant

temporal clusters were identified. The ecological analyses identified serpentinite on roads as the greatest environmental risk factor: *OR = 495.0, 95%CI: 46.2–4679.7; multivariate IRR=13.0, 95%CI: 10.2-16.6*. The risk increased with serpentinite surface, proximity to serpentinite quarries and distance to the peridotite massif. The association with serpentines, particularly antigorite, was stronger than for amphiboles. Living on a slope and close to dense vegetation appeared protective. The use of whitewash was not associated with mesothelioma incidence.

Conclusions: This study demonstrated that the use of serpentinite to cover roads is a major environmental risk factor for mesothelioma in NC. It is urgent to finish the census of serpentinite quarries, to ban their use, to neutralize them and the roads covered with this material.

Our work shows also that antigorite may release fibers which are dangerous for human health. This mineral should be added on the list of asbestos fibers to diagnose in the analysis of natural environment samples.

Keywords

asbestos, mesothelioma, New Caledonia, environment, geography, health, cluster analysis, ecological study, serpentinite, antigorite, tremolite

Remerciements

Je tiens à exprimer en premier lieu mes remerciements aux membres du jury, qui ont accepté d'évaluer mon travail de thèse, en particulier Fabrice Colin, conseiller scientifique pour la Recherche auprès du Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie, directeur de l'IRD Nouméa au début de ce travail, qui m'a aidée à constituer une équipe de recherche de valeur, et le Pr Jean-Christophe Gay, géographe en charge de la réalisation du futur Atlas de la Nouvelle-Calédonie.

Ma vocation pour les biostatistiques, et plus particulièrement l'épidémiologie, est née dans le laboratoire du Pr Bernard Legras, à la Faculté de Médecine de Nancy où je cherchais comment allier mes amours pour les sciences mathématiques à mes études médicales. J'exprime ma profonde reconnaissance à mon premier « patron », pour ses conseils, sa confiance et son amitié indéfectibles.

Cette thèse a vu le jour grâce à la confiance et aux conseils d'un second « patron », le Dr Paul Martin, alors directeur de l'Institut Pasteur de Nouvelle-Calédonie où j'assurais la responsabilité du service de Biostatistiques et d'Epidémiologie. J'adresse toute mon admiration à cet humaniste, scientifique et amoureux des belles lettres, dont le courage et l'honnêteté intellectuelle ont constitué le rempart me permettant d'avancer malgré les assauts de ceux que mes résultats « dérangent ».

Je ne pourrai jamais suffisamment exprimer l'amitié sincère, née au fur et à mesure des semaines de terrain, qui me lie à mes mentors en géologie: Bernard Robineau, directeur du CNRT le Nickel et son environnement, passionné de cailloux en tous genres, qui a assuré avec vaillance son rôle de directeur de thèse et m'a défendue courageusement en toutes circonstances ; Pierre Maurizot, directeur de l'antenne du BRGM à Nouméa, infatigable « casseur de cailloux » et mon fidèle initiateur à la cartographie, jamais avare de ses heures sur le terrain ou devant une « mousse » locale; enfin Jean-Paul Ambrosi, mon premier coéquipier à avoir compris l'originalité minéralogique de nos résultats.

Je remercie très vivement le Pr Henri Bonnel, directeur de l'Ecole Doctorale de l'Uiversité de la Nouvelle-Calédonie, pour avoir assuré avec chaleur et conviction la co-direction de ma thèse au sein de son équipe de recherche ERIM, me permettant de terminer mes travaux. Ma gratitude va également à Morgan Mangeas, qui m'a accueillie avec générosité dans l'Unité Espace à l'IRD de Nouméa, m'assurant un environnement scientifique propice à la réalisation de mes analyses et à la rédaction de ma thèse. Enfin je remercie le Pr Jeroen Douwes, co-directeur du Centre de recherche en Santé Publique à l'Université Massey de Wellington, Nouvelle-Zélande, pour ses conseils et ses encouragements.

Cette étude a été réalisée avec le concours de nombreuses personnes que je tiens à remercier pour leur aide :

- *Les deux Maires successifs de Houaïlou, la secrétaire de mairie, ainsi que les personnes du service de l'état-civil de la mairie de Houaïlou,*
- *Jean Euritoa, historien à Houaïlou,*
- *Lachere Dioposoi, sculpteur à Houaïlou, qui m'a initiée à l'histoire de l'utilisation du torchis et du Pö,*
- *Les responsables coutumiers et les habitants des tribus de Atéu, Azareu, Baco, Bas-Coulna, Bayes, Bô, Boéareu, Bopope, Boréaré, Bouirou, Caavatch, Coula, Galilée, Ganem, Gohapin, Gondé, Gouarawi, Gouareu, Gouaro, Haut-Coulna, Ina, Kamoui, Kaora, Kapoué, Karagreu, Koé, Kokengone, Kongouma, Koniambo, Koro, Kua, Le Koulnoué, Lawarap, Lindéralique, Mè, Méareu, Médaouya, Méomo, Montfaoué, Napoémien, Néami, Néaoua, Néaria, Nédiouen, Nédivin, Nekliaï, Nekoué, Néouyo, Népou, Nerin, Nessakouya, Nessapoué, Netchaot, Nétéa, Newa, Neya, Nindiah, Noeli, Ny, Ometteux, Ouaième, Ouanache, Ouandji, Ouare, Ouingo, Ouin-Poest, Oua-Oué, Ouakaya, Ouayaguette, Ouenghip, Ouessoin, Paama, Pambu, Panié, Paola, Paraouyé, Pindacle, Poe, Poindah, Pombei, Pothé, Pouyemben, Poyes, Roibahon, St Denis, St Michel, St Paul, St Thomas, Tchamba, Tendo, Thu, Tiawe, Tibarama, Tié, Tiendanite, Tiéti, Tilougne, Tiouandé, Ti-Unao, Tiwaka, Tiwamack, Touho Mission, Vieux Touho, Wagap, Widо.*
- *Les personnels des services d'Etat-Civil des mairies de Bourail, Canala, Dumbéa, Hienghène, Koné, Koumac, Lifou, l'Ile des Pins, Maré, Nouméa, MontDore, Ouégoa, Ouvéa, Poindimié, Poya, Thio, et Touho,*

- *Le personnel du Registre du Cancer de Nouvelle-Calédonie et plus particulièrement sa secrétaire Rachel Dambreville,*
- *Les médecins anatomo-cyto-pathologistes de l'IPNC : Dr Yannick Rougier, et du CHT : Dr Vincent Rouleau.*
- *Les médecins des dispensaires de Bourail, Hienghène, Houaïlou, Népoui, Poya, les auxiliaires de santé rencontrés à Houaïlou, Bourail, Poya et Hienghène,*
- *Les pneumologues hospitaliers et libéraux,*
- *Dr Dominique Salino et Dr Erica Mancel, pour leur soutien et leur gentillesse à partager leurs connaissances sur la médecine traditionnelle kanake et l'abord de la médecine occidentale par les mélanésiens,*
- *Les personnels de la Direction de l'Aménagement et de la DPASS Nord,*
- *Les personnes travaillant à l'institut de la statistique et des études économiques,*
- *Daniel Borschneck pour les déterminations minéralogiques réalisées par diffraction des rayons X au CEREGE UMR 6635 et 161 à Aix en Provence.*

Merci à mon amie Reine de Nétéa, pour son accueil toujours souriant et chaleureux, pour ses histoires du pays kanak, pour son intermédiaire précieux auprès des autorités coutumières et des anciens. Merci à John, pour m'avoir aidée dans les subtilités de sa langue natale ; merci à ma fidèle amie Anne, pour son soutien et pour la détection des « coquilles ».

Pour terminer, j'adresse ma plus profonde affection à mes cinq filles : Marine, Oriane, Salomé, Fleur et Isatis, qui ont souvent partagé avec moi l'accueil généreux des tribus kanakes. Merci à Marine et à Oriane pour les soirées de relecture, merci à Salomé pour ses illustrations, à Fleur pour le copilotage, à Isatis pour son aide précieuse lors de l'installation des capteurs de poussières. Je suis consciente d'avoir trop souvent parlé « amiante » et « serpentinite » au cours de ces dernières années, mais j'espère avoir transmis ma passion pour une science libre, sincère, honnête et rigoureuse, au service des hommes et de notre environnement.

Merci enfin à tous mes amis, vous qui m'avez soutenue et encouragée durant ces deux dernières années d'épreuves ; c'est grâce à vous que je n'ai pas perdu courage et que je suis allée jusqu'au bout de mon travail.

Table des matières

1.Introduction…… 23

1.1. La Nouvelle-Calédonie et les hommes…… 23

1.1.1. Situation dans le Pacifique et histoire du peuplement humain…… 23

1.1.2. L'exploitation du nickel…….. 26

1.1.3. Découpage en provinces, communes, districts coutumiers et tribus…. 27

1.1.4. L'habitat traditionnel kanak – son évolution…….. 29

1.1.5. Médecine occidentale et médecine traditionnelle kanake …….. 35

1.2. L'amiante…….. 40

1.2.1. Les grandes familles de minéraux asbestiformes…… 40

1.2.2. Les roches génératrices de fibres…… 44

1.2.3. La géologie de la Nouvelle-Calédonie et les roches potentiellement amiantifères : état des connaissances à l'aube de notre étude…… 46

1.3. Les maladies liées à l'amiante – Etat des connaissances en NC précédant notre étude…….. 51

1.3.1. Les maladies provoquées par l'amiante…… 51

1.3.2. La situation en Nouvelle-Calédonie…… 57

1.3.3. Motivations et contexte de nos travaux…….. 61

2. Objectifs et Démarche – Historique de nos travaux …… 63

2.1. Mise en évidence de la surincidence des mésothéliomes et des cancers respiratoires en NC…… 63

2.2. Etude à l'échelle communale : recherche des zones à risque et des liens avec la géologie, le Pö et l'activité minière…… 64

2.3. Enquêtes épidémiologiques et géologiques autour des cas dans les deux secteurs les plus à risque…….. 65

2.4. Etude écologique sur les 100 tribus du secteur Houaïlou-Bourail-Poya-Koné-Poindimié-Touho-Hienghène…… 67

3. Les cancers en NC – Mise en évidence de la sur incidence des cancers liés à l'amiante…….. 69

3.1. Fonctionnement du registre du cancer de Nouvelle-Calédonie…….. 69
3.2. Bilan de 15 années de surveillance des cancers en NC : de 1989 à 2003…… 71
Article « registre du cancer de Nouvelle-Calédonie, bilan de 30 années de surveillance, 1989-2003……. 73
3.3. Etat des lieux des cancers en NC en 2007 et évolution sur les 30 dernières années…….. 75

4. Analyse des mésothéliomes à l'échelle de la commune……. 89
4.1. Contexte et objectifs……. 89
4.2. Matériels et méthodes……. 89
4.3. Principaux résultats……. 90
4.4. Conclusions…….. 93
Article « pleural mesothelioma in New Caledonia : An acute environmental concern……. 95

5. Enquêtes épidémiologiques et géologiques ……..... 102
5.1. Objectifs et étapes…….. 102
5.2. Méthodologie……. 104
5.2.1. Enquêtes épidémiologiques et géologiques…….. 104
5.2.2. Analyses minéralogiques…….. 105
5.2.3. Présentation des résultats et cartographies…….. 106
5.3. Confrontation des données émidémiologiques et des données géologiques dans le secteur à haut risque de mésothéliome des communes de Houaïlou et de Bourail……. 107
5.3.1. Bilan de l'enquête épidémiologique…….. 107
5.3.2. Analyse géologique et minéralogique……..…….. 115
5.3.3. Conclusions et perspectives……. 133
5.4. Confrontation des données épiodémiologiques et des données géologiques dans le secteur de Koné-Touho-Poindimié, et identification des fibres aériennes d'amiante……. 140
5.4.1. Résultats de l'enquête épidémiologique…….. 140
5.4.2. Résultats de l'enquête géologique et minéralogique ……. 145
5.4.3. Tests de capteurs passifs de fibres…….. 158

5.4.4. Discussion…….... 162
5.4.5. Conclusions et perspectives……..... 172
5.5. Extension de l'enquête épidémiologique à tous les cas de mésothéliome malin pleural recensés en Nouvelle-Calédonie de 1984 à 2008 inclus et compléments d'enquête géologique…… 177
5.5.1. Présentation…….. 177
5.5.2. Méthode…… 178
5.5.3. Résultats…… 179
5.5.4. Conclusions……..... 207

6. Analyse des clusters et étude écologique des déterminants environnementaux du mésothéliome malin en NC…….. 210
6.1. Objectifs des travaux…… 210
6.2. Matériels et méthodes……..... 210
6.3. Environnement géologique du secteur d'étude…… 216
6.4. Description et analyse des données……..... 228
6.5. Conclusions……..... 232
Article « Pleural Mesothelioma in New Caledonia : associations with environmental risk factors »…….. 233

7. Conclusions et perspectives…….. 271

Références…… 281
Annexe 1 - Cas 1984-2002 inclus dans l'enquête sur Houaïlou-Bourail…… 291
Annexe 2 – Résultats de l'observation microscopique et de l'analyse minéralogique des échantillons sur le secteur Houaïlou-Bourail…… 293
Annexe 3 – Cas 1984-2006 inclus dans l'enquête sur le secteur Koné-Touho-Poindimié …… 305
Annexe 4 – Résultats de l'observation microscopique et de l'analyse minéralogique des échantillons sur le secteur Koné-Touho-Poindimié …….. 307

Annexe 5 – Emplacements et résultats d'analyse des plaquettes de dépôt …… 312

Annexe 6 – Résultats de l'observation microscopique et de l'analyse minéralogique des échantillons complémentaires …….. 321

Annexe 7 – Tribus du secteur d'étude et données environnementales……. 337

Annexe 8 – Cartes complémentaires du secteur d'étude et données environnementales…… 339

Annexe 9 – Taux d'incidence des cancers féminins par commune, NC 1990-2005…. 342

Liste des tableaux……. 345

Liste des figures……. 346

Liste des photographies…….. 350

Liste des planches photographiques……. 354

Abréviations

NC	Nouvelle-Calédonie
OR	odds ratio
IRR	incidence rate ratio
ASR	taux d'ncidence standardisée sur l'âge à la population mondiale (*age standardized incidence rate*)
IC95%	intervalle de confiance à 95%
NS	non significatif
MOLP	microscope optique à lumière pôlarisée
MEB	microscope électronique à balayage
CHT	centre hospitalier territorial
CAFAT	caisse de compensation des prestations familiales, des accidents du travail et de prévoyance des travailleurs salariés
EVASAN	évacuations sanitaires
DASS	direction des affaires sanitaires et sociales
IPNC	Institut Pasteur de Nouvelle-Calédonie
OMS	organisation mondiale de la santé
CIRC	centre international de la recherche sur le cancer
IARC	international agency for research on cancer
ISEE	institut de la statistique et des études économiques
BRGM	bureau pour la recherche géologique et minière
IRD	institut de recherche pour le développement
UNC	université de la Nouvelle-Calédonie
ERIM	équipe de recherche en informatique et mathématiques

La nature est un temple où de vivants piliers
Laissent parfois sortir de confuses paroles;
L'homme y passe à travers des forêts de symboles
Qui l'observent avec des regards familiers…

Baudelaire (1821-1867), *Correspondances*, Les Fleurs du Mal

Chapitre 1 Introduction

1.1. La Nouvelle-Calédonie et les hommes

1.1.1. Situation dans le Pacifique et histoire du peuplement humain

La Nouvelle-Calédonie est un archipel du Pacifique Sud situé à 1700 km au Nord de la Nouvelle-Zélande et à 1500 km à l'est de l'Australie. Elle comprend une île principale, la Grande Terre, qui s'étire sur 16 890 km^2 le long des alizés, du sud-est au nord-ouest. Elle est prolongée par les îles Bélep au nord et l'île des Pins au sud, et bordée à l'est par les Iles Loyautés : Maré, Lifou et Ouvéa (*fig. 1 p. suivante).*

Photographie 1 - Pirogues à l'Ile des Pins

L'archipel néo-calédonien fait partie de l'arc mélanésien (Fidji, Salomon, Vanuatu, Papouasie-Nouvelle-Guinée, Nouvelle-Guinée occidentale et Nouvelle-Calédonie), peuplé par des vagues successives de pirogues venues d'Asie du Sud-Est depuis 4000 ans. Les datations des poteries Lapita situent les premiers habitants de Nouvelle-Calédonie vers l'an 1000 avant JC (*Sand 1995, Semah A.M. 1998*). Au cours de ce 1er millénaire, les traces de la préhistoire calédonienne se limitent à des morceaux de poteries et des traces de brûlis, le feu étant traditionnellement utilisé pour nettoyer les terrains à cultiver (*Angleviel F. 2006*). Puis apparaissent les tarodières (800 ap. JC) et la monnaie canaque[1] (1000 ap. JC), témoignant de l'organisation de la société mélanésienne en Nouvelle-Calédonie.

[1] *Canaque ou kanak est le mot relatif à la population mélanésienne de Nouvelle-Calédonie. Il viendrait d'un mot hawaïen « kanaka » signifiant « homme » et fut orthographié canaque par les européens au XIX^{ème} siècle pour désigner l'ensemble des peuples de Mélanésie, ainsi que les Marquisiens et les Pascuans. L'orthographe kanak(e) est apparue en 1970 marquant les revendications identitaires du peuple kanak en Nouvelle-Calédonie.*

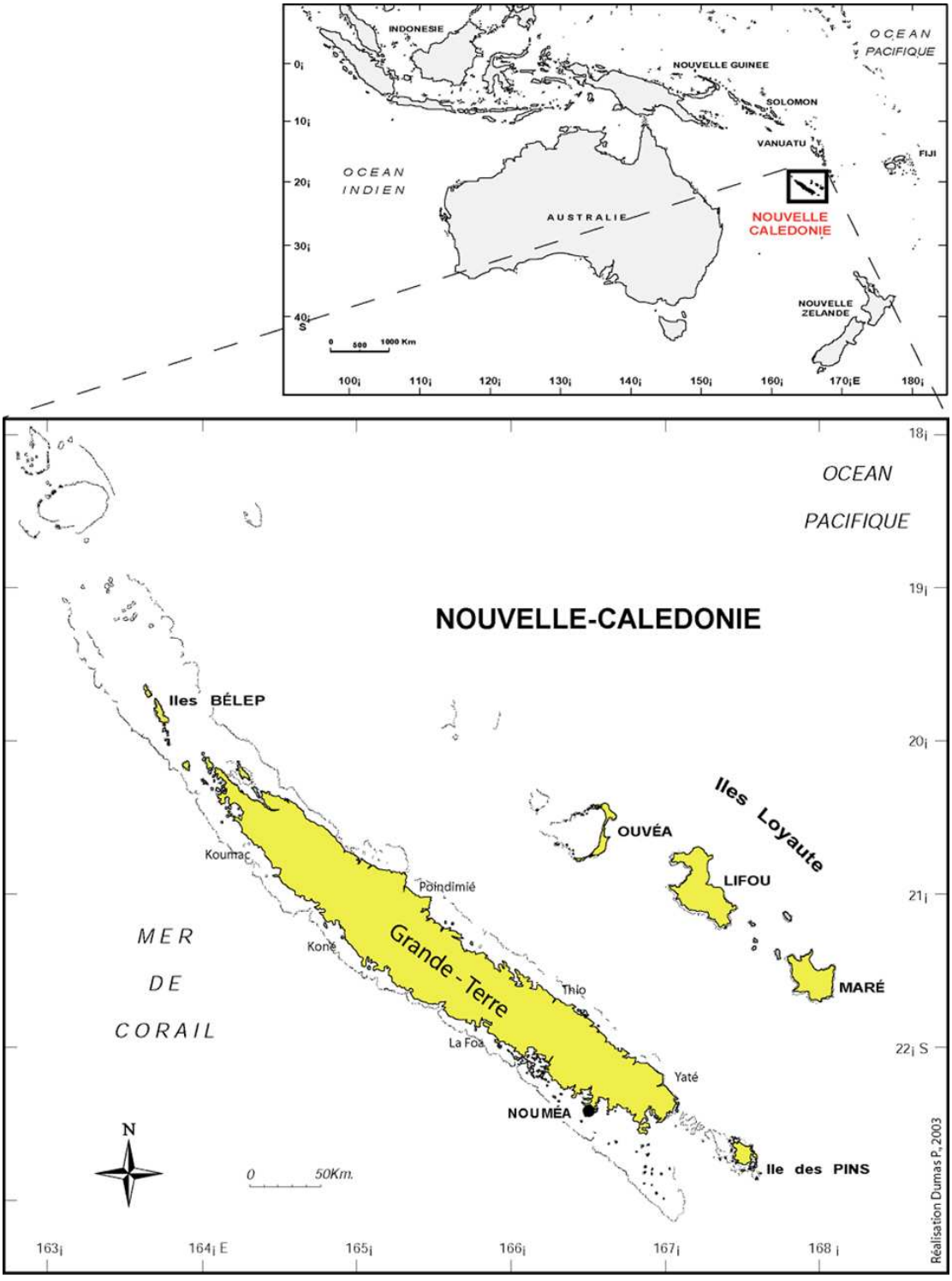


Figure 1 - Situation géographique de l'archipel néo-calédonien (*source : P Dumas*)

Le capitaine Cook découvrit la Nouvelle-Calédonie le 5 septembre 1774. Elle fut d'abord visitée par des baleiniers et des santaliers, puis la France du Second Empire décida d'en prendre possession en 1853, principalement pour y amener les bagnards. La colonisation par les missionnaires et les militaires démarra à partir des

côtes Est et Ouest d'où furent chassés les clans kanaks au fur et à mesure de l'appropriation des terres par les colons, d'origine libre ou pénale (*Bensa et al 2000*). Un Code de l'Indigénat fut officiellement promulgué en 1887 et maintenu jusqu'à la Seconde Guerre mondiale. Les terres kanakes étaient limitées à des réserves, majoritairement situées dans les vallées encaissées.

Dans les années 1860, les kanaks se refusant à travailler à l'agriculture coloniale, les colons cherchèrent de la main d'œuvre à l'extérieur : principalement en Océanie (Nouvelles-Hébrides, Wallis) et en Asie (Inde, Chine). Des Indochinois furent engagés en 1891 pour travailler sur mines, suivis par des Javanais et Japonais. Le boom du nickel à partir de 1968 provoqua une immigration massive d'Européens et de Polynésiens.

La Nouvelle-Calédonie devint Territoire d'Outre-Mer en 1946. La levée des interdictions relatives aux déplacements et à la résidence des Kanaks, la suppression du travail forcé et l'ouverture des réserves favorisèrent le développement d'une migration entre les zones rurales et Nouméa. Actuellement, les deux tiers environ de la population mélanésienne ont gardé un mode de vie tribal. Cependant des liens familiaux forts maintiennent le contact: les citadins retournent à la tribu pendant les vacances et lors de cérémonies coutumières, alors que les ruraux profitent des résidences familiales dans le Grand Nouméa pour faire des courses, aller à l'hôpital ou remplir des obligations administratives.

La Nouvelle-Calédonie est à présent une collectivité d'outre-mer où le peuple mélanésien autochtone et les populations immigrées se côtoient dans les proportions suivantes, estimées pour la dernière fois par le recensement de 1996 [ITSEE 1996]: 44,1% de Mélanésiens, 34,1% d'Européens, 11,6% de Polynésiens, 3,9% d'Asiatiques, 1,1% de Ni-Vanuatu et 5,0% indéterminés. La population totale a été estimée à environ 250 000 habitants au dernier recensement (2009).

1.1.2. L'exploitation du nickel

Photographie 2 - Une mine à Thio

Le sol de la Nouvelle-Calédonie recèle 20% à 40% des réserves mondiales du nickel de type latéritique. L'économie du pays est principalement fondée sur l'exploitation de ce minerai, la Nouvelle-Calédonie se situant selon les années entre le 3ème et le 5ème rang de la production mondiale.

L'histoire de l'exploitation du nickel en Nouvelle-Calédonie a débuté avec la mission de l'ingénieur des mines Jules Garnier, envoyé sur le territoire par le Gouvernement Français pour réaliser un inventaire détaillé des richesses minières de l'île. Il note en mars 1867 « …la présence de silicates magnésiens fortement imprégnés d'une substance nickélifère verte qui les colore et que, jusqu'à ce jour, on avait prise pour du chrome… Il sera d'un haut intérêt d'étudier plus complètement les gisements de nickel en Nouvelle-Calédonie et de voir si l'industrie ne saurait point tirer parti de ce métal dont le prix, comme on le sait est assez élevé et dont l'emploi, cependant offre tant d'avantages… ». Le nom de « garniérite » fut attribué au métal porteur du Nickel en hommage à son découvreur.

La première mine de nickel fut exploitée au MontDore par John Higginson. D'autres concessions minières furent par la suite attribuées à Houaïlou, Canala et Thio. Jules Garnier mit au point un procédé de fusion du nickel et fonda une société pour extraire le métal du minerai : la Société Le Nickel (SLN) fut créée le 10 mai 1880. L'usine de la pointe Chaleix connut quatre années de prospérité puis le cours du nickel s'effondrant, l'usine ferma et le minerai fut exporté directement en Europe. Un nouvel essai de fonderie fut tenté à Ouroué de 1889 à 1891. Puis Thio devint le principal centre ; une usine de fusion y fut construite en 1908, une autre suivit à Doniambo. Après des années difficiles, le traitement du nickel fut regroupé sur le seul site de Doniambo à partir de1931.

La production annuelle franchit en 1956 le cap des 10 000 tonnes de nickel. En 1960, le site de Kouaoua est mis en exploitation, la production de minerai dépasse le million de tonnes ; 20 000 tonnes de nickel sont alors produites par l'usine de Doniambo. La production atteint 34 500 tonnes de nickel en 1967. C'est le « boom » du nickel qui durera jusqu'en 1976.

Aujourd'hui la SLN produit en Nouvelle-Calédonie chaque année environ 60 000 tonnes de nickel métal, et l'achèvement de la construction de deux nouvelles usines, l'une au sud et l'autre au nord du pays, devrait amener à doubler prochainement cette production. Outre ces minerais directement valorisés sur le territoire, une quantité à peu près équivalente est exportée, principalement à destination de la Chine.

1.1.3. Découpage en provinces, communes, districts coutumiers et tribus

Avant l'arrivée des Européens en Nouvelle-Calédonie, l'unité sociétale kanake était le clan, qui regroupait les membres d'une ou quelques familles autour d'une grande case (*Bensa A. Clans autochtones : situation pré-coloniale. Atlas de la NC, 1981*). Avec la colonisation, la multitude des autorités kanakes s'est trouvée petit à petit substituée par des chefferies administratives (tribus et districts) mises en place par l'administration, afin de remercier les Kanaks influents qui se ralliaient à la France. Les militaires français désignèrent ainsi des « grands chefs » à partir de 1864, chaque tribu étant elle-même sous l'autorité d'un « petit chef ». Chacune de ces grandes chefferies gouverne un district coutumier qui rassemble, selon le cas, de quelques clans jusqu'à un large territoire correspondant aujourd'hui à celui d'une commune (comme celui de Muéo qui rassemble l'ensemble des tribus de Poya).

Le territoire a été divisé en 31 communes en 1969, auxquelles s'ajoutent Poum et Kouaoua en 1977 et 1995. Ces communes sont rattachées à l'une des trois Provinces depuis 1989 : la Province Sud où se trouve Nouméa, à majorité européenne, la Province Nord et la Province des Iles Loyautés à majorité kanake (*ISEE 1976 - 2004*). La capitale Nouméa est la seule ville de Nouvelle-Calédonie.

Avec ses communes limitrophes de Dumbéa, Païta et du Mont-Dore, elle forme le Grand Nouméa qui rassemble 90% des populations non mélanésiennes et 30% des Mélanésiens (*Bensa et al 2000*).

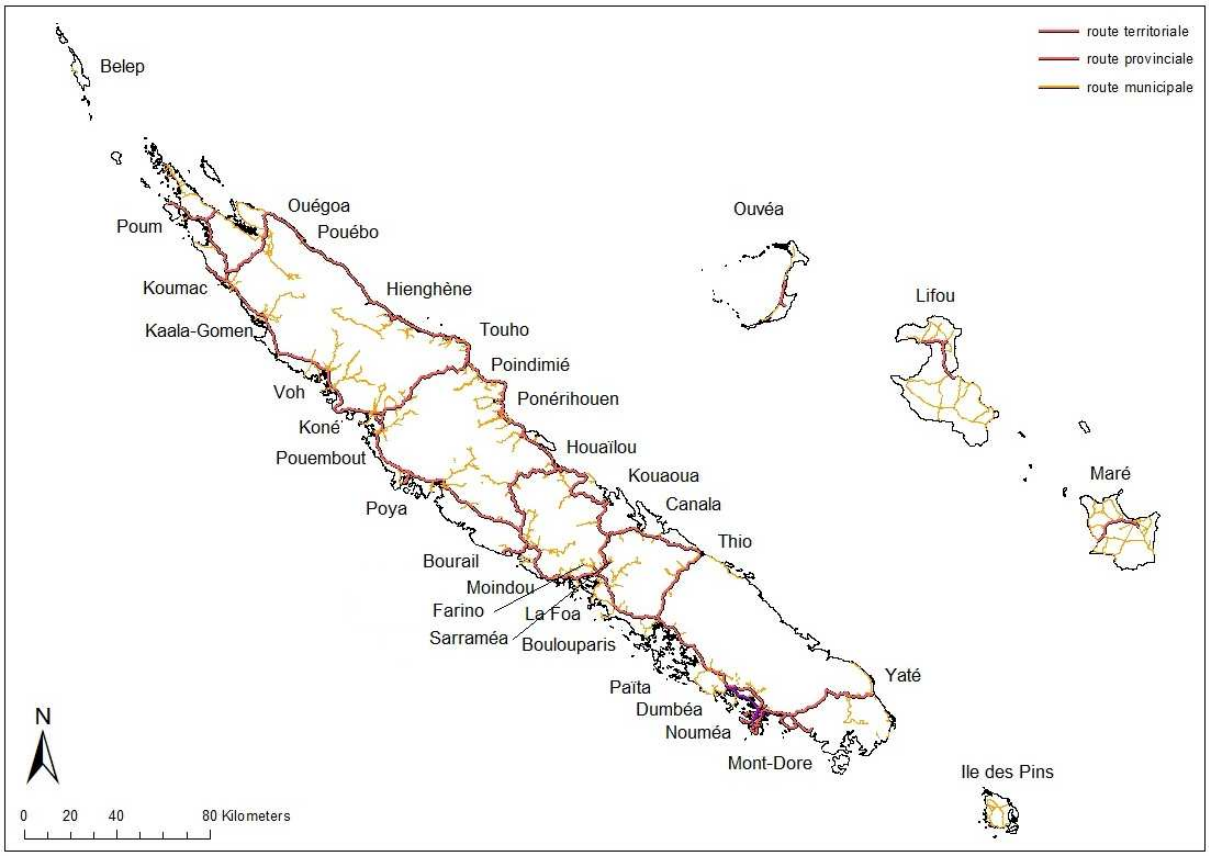


Figure 2 – Carte de Nouvelle-Calédonie, communes et routes

Le réseau routier s'est développé tardivement, à partir de Nouméa. La route atteignait Moindou en 1900, elle dépassait de peu Bourail en 1925. Les principales transversales furent tracées dans les années 1920-1940, et ce n'est qu'en 1965 que le tour de Calédonie fut bouclé, mais le bitume s'arrêtait à Moindou [*Dubois 1981*]. Selon le recensement de 1979, moins de 50% des routes territoriales étaient bitumées à cette date. En 2010, l'ensemble des routes territoriales et provinciales est goudronné. De nombreuses routes municipales sont encore recouvertes de matériaux issus de diverses carrières locales.

1.1.4. L'habitat traditionnel kanak – son évolution

L'usage domestique de matériaux amiantés étant impliqué dans la problématique qui nous préoccupe, il est important de retracer l'histoire de l'habitat kanak.

Photographie 3 - Case ronde recouverte de paille, dite « en ruche »

L'habitat kanak traditionnel était un ensemble de petites cases rondes « en ruches », réalisées en matériau végétal (*photographie 3*), regroupées sur les flancs de la grande case du clan [*Avias 1953*]. Ces maisons étaient généralement réalisées avec une ossature en bois, des murs en feuilles de cocos tressées tapissées d'écorce de niaoulis (*Melaleuca viridiflora*), et recouverts de bouraos (*Hibiscus tiliaceus*). Chaque femme possédait sa case.

Photographie 4 - Case en torchis à ossature en bambou

Durant les années 1930, les autorités administratives décidèrent de supprimer les constructions en paille et encouragèrent un nouveau type de case de forme rectangulaire, avec de nombreuses ouvertures, qui permettait de séparer la chambre des enfants de celle des parents. Les murs étaient faits de torchis sur la Grande Terre (*photographie* 4) et de blocs de corail sur les Iles. Les anciens racontent que des Réunionais venaient apprendre aux tribus comment réaliser le torchis. Un enduit blanc appelé « *Pö* » en langage *Ajié* (l'une des 36 langues mélanésiennes de Nouvelle-Calédonie) recouvrait les murs intérieurs et extérieurs [*Avias 1953*]. Cet enduit est décrit par Jacques Avias comme une « sorte d'amiante plus ou moins décomposée en fibres très courtes et d'un blanc soyeux souvent très pur, que l'on trouve en creusant des trous dans la terre d'altération de certains massifs serpentineux ». L'usage domestique d'un matériau amiantifère en milieu mélanésien était donc déjà connu et publié dans les années 1950 ! Le tiers inférieur du mur extérieur était orné d'un enduit ocre à base de latérite. Jusqu'à la seconde guerre mondiale, les gendarmes venaient une fois par an contrôler l'entretien des maisons. Le *Pö* était renouvelé chaque année, et toute la tribu (hommes, femmes, enfants) participait à l'expédition pour extraire la terre blanche du sol, la transporter, la mélanger à de l'eau chaude et badigeonner les murs à l'aide de pinceaux faits à partir de racines de pandanus (*photographies 5 et 6*).

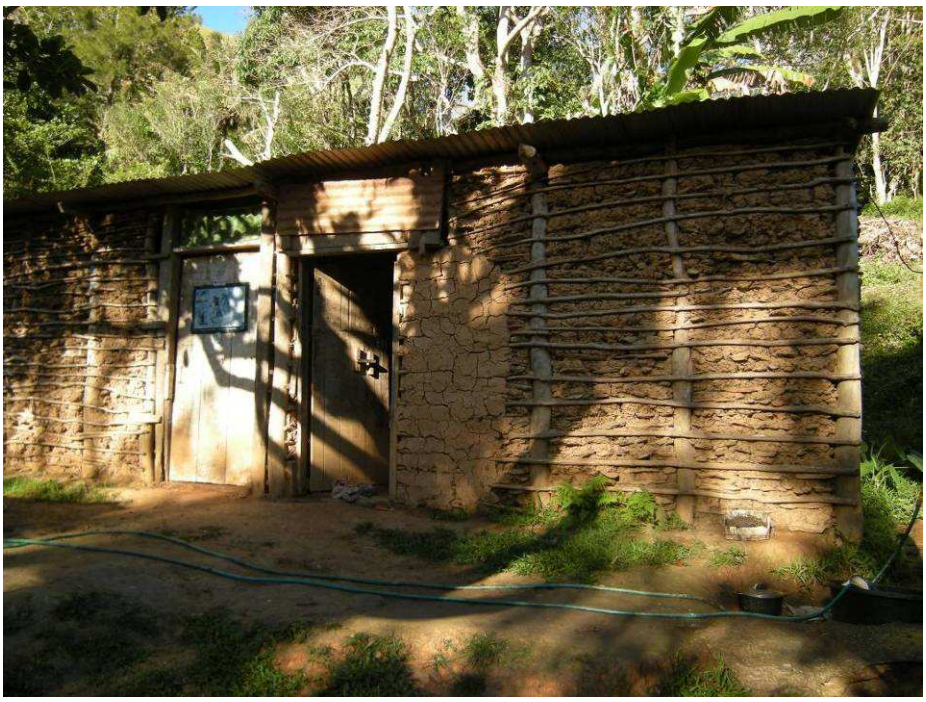
Photographie 5 - Case en torchis. Un mur est recouvert de *Pö*

Avias écrit que, à cause des moustiques et du froid, « la plupart du temps cette case est moins bien adaptée à leurs besoins réels que ne l'étaient leur ancienne case », et que « l'absence d'édification en murs cimentés tient à des contingences d'ordre surtout économique ». Il note la présence de tôles près des routes et des agglomérations suite au passage de l'armée américaine (1942-1945). L'apport d'argent par la vente de la production de café et de l'agriculture vivrière permet le remplacement du torchis par la tôle ondulée ou le ciment. Le boom du café en 1955-1965, relayé ensuite par le boom de l'activité minière, a entrainé ainsi une nouvelle fois la transformation du paysage des tribus du littoral et de celles situées près des centres d'activité.

Photographie 6 - Intérieur d'une case en torchis avec le mur recouvert de *Pö*

J.P. Doumenge décrit l'état de l'habitat rural mélanésien au début des années 1980 [*Atlas de Nouvelle-Calédonie, 1981*]. Dans la tribu d'Oundjo sur la côte ouest, le torchis est « dominant bien que la tôle ait fait son apparition depuis quelques années ». Dans celle d'Unia au sud, « la proximité de l'usine hydro-électrique de Yaté, les facilités pour aller travailler à Nouméa procurent ici des revenus salariaux qui ont contribué à la transformation de l'habitat, … le métal y constitue le matériau

dominant ». Dans la tribu de la mission de Saint-Louis au Mont-Dore, « près d'un tiers des constructions ont des murs en métal, un quart en ciment, un autre quart en bois, un cinquième en torchis ». La tribu de Tchamba à mi-distance du littoral et de la chaîne centrale présentait 81% d'habitat en torchis. A Lifou, près de la moitié des constructions de la tribu de Douéoulou sont des cases rondes couvertes de paille. Enfin dans la tribu de Mouli à Ouvéa, les cases sont rectangulaires en paille ou en nattes de cocotier.



Photographie 7 – Détail d'un mur en torchis

Au début du XXI^{ème} siècle, les paysages de l'habitat mélanésien sont encore très contrastés. Alors que les matériaux de paille ou de corail voisinent avec les planches et le ciment aux Iles Loyautés, les cases en torchis sont fréquentes dans les tribus des hautes vallées de la Grande Terre (*photographie 7*). L'utilisation du *Pö* n'a été abandonnée que depuis une dizaine d'années dans les régions centrales de Hienghène ou de Poya. Les tôles et le ciment (*photographie 8)* témoignent d'une activité salariée plus soutenue dans les tribus proches des routes côtières territoriales et des centres miniers. Différentes actions sociales ou sanitaires ont été entreprises, entrainant la construction de maisons plus modernes, alliant souvent le bois et le béton (plan Jorédié, maisons Erika, maisons « trémolite »,…).

Depuis quelques années, de belles cases rondes à la mode traditionnelle apparaissent à nouveau, alliant ciment, pierres, peaux de niaouli et paille, souvent ornées d'une magnifique flèche faitière, illustrant le mouvement de réaffirmation identitaire du peuple kanak (*photographies 9 à 12*).

Photographie 8 - Case en ciment avec le toit recouvert de tôle

Photographie 9 - Case en béton au toit d'écorces de niaouli

Photographie 10 - Case en torchis recouvert d'un peu de ciment

Photographie 11 - Case habillée de peaux de niaouli

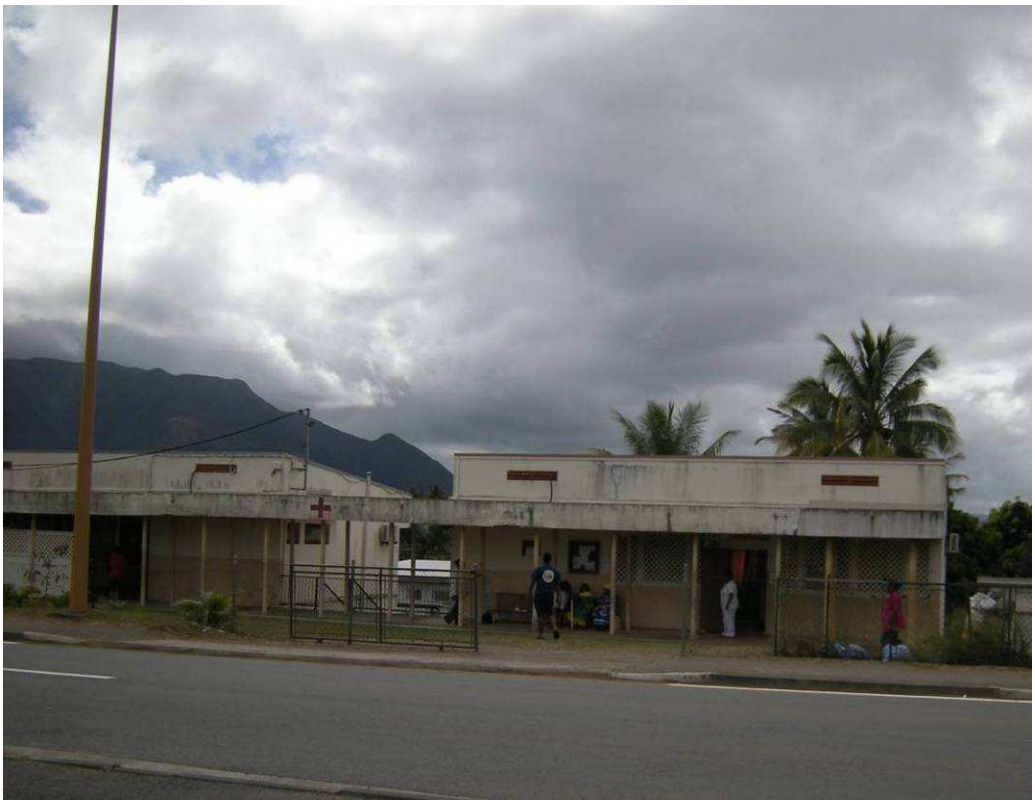
Photographie 12 - Case ronde récente en torchis

1.1.5. Médecine occidentale et médecine traditionnelle kanake

La médecine occidentale fut implantée en Nouvelle-Calédonie dès la prise de possession par les Français : une infirmerie fut construite en 1855 au fort Constantine à Nouméa, qui devint un hôpital maritime en 1860. L'hôpital militaire s'ouvrit aux civils en 1880.

Un siècle plus tard, l'infrastructure médicale en Nouvelle-Calédonie se composait d'un ensemble hospitalier localisé sur Nouméa : l'Hôpital Gaston Bourret, le Centre Hospitalier Spécialisé, le Centre anti-hansénien, le Sanatorium, le Service de Protection Maternelle et Infantile, le centre médical de la Caisse de compensation des prestations familiales, des accidents du travail et de prévoyance des travailleurs salariés (CAFAT) et deux cliniques privées. Les premiers soins étaient assurés dans 15 dispensaires et 13 infirmeries répartis dans les trois provinces. Le système d'assurance maladie (C.A.F.A.T.) a été complété par les sociétés mutualistes et un système d'aide médicale gratuite (A.M.G.) pour les personnes sans ou avec peu de

ressources. Les évacuations sanitaires (EVASAN) vers l'Australie, la France et la Nouvelle-Zélande permettent les traitements spécialisés non pris en charge sur le territoire.



Photographie 13 - Un dispensaire en Province Nord

A l'heure actuelle, le secteur hospitalier public s'est décentralisé en Province Nord avec le Centre Hospitalier du Nord réparti entre une antenne à Koumac et une autre à Poindimié, et le secteur privé s'est enrichi d'une troisième clinique à Nouméa. Les 26 centres médico-sociaux (*photographie 13*) et les 15 infirmeries extérieurs à la capitale, dispersés sur la Grande Terre et dans les Iles, assurent les soins et l'hospitalisation de proximité. Le secteur des EVASAN est géré par la CAFAT depuis 1998, quelle que soit la couverture sociale du patient. Avec 545 médecins en activité, la densité est de 223 médecins pour 100 000 habitants, soit un taux plus faible qu'en métropole (340 pour 100 000). Elle est inégalement répartie entre les trois Provinces : plus élevée dans la Province Sud (274,2 pour 100 000 habitants), elle est trois fois plus faible dans les provinces à majorité mélanésienne (96,3 en Province Nord et 79,8 dans les Iles Loyautés) [*DASSNC 2010*].

Depuis les dispensaires, les médecins généralistes, dentistes, infirmières, kinésithérapeutes, sages-femmes et auxiliaires de santé assurent des tournées hebdomadaires ou mensuelles en tribus, où ont été construits des bâtiments permettant de réaliser les soins (*photographie 14*). Une unité mobile de dépistage a été mise en place par la Direction des affaires sanitaires et sociales et des problèmes de société de la Province Nord. Des spécialistes viennent consulter une ou deux fois par mois dans les centres médico-sociaux.

Photographie 14 - Un bâtiment en tribu destiné à accueillir l'équipe médicale

Les politiques sanitaires mises en place dans les années 1950, avec en particulier l'accès gratuit aux soins, ont amené un recours massif à la médecine occidentale. La fréquentation des dispensaires s'est largement accrue et le personnel médical témoigne de la confiance des populations. Cependant, la médecine traditionnelle n'en a pas disparu pour autant. Les deux médecines cohabitent, chacune jouant son rôle. La médecine kanake soigne la cause spirituelle de la maladie, alors que la médecine occidentale s'occupe des « bruits » de la maladie [*Kuhm 2009*].

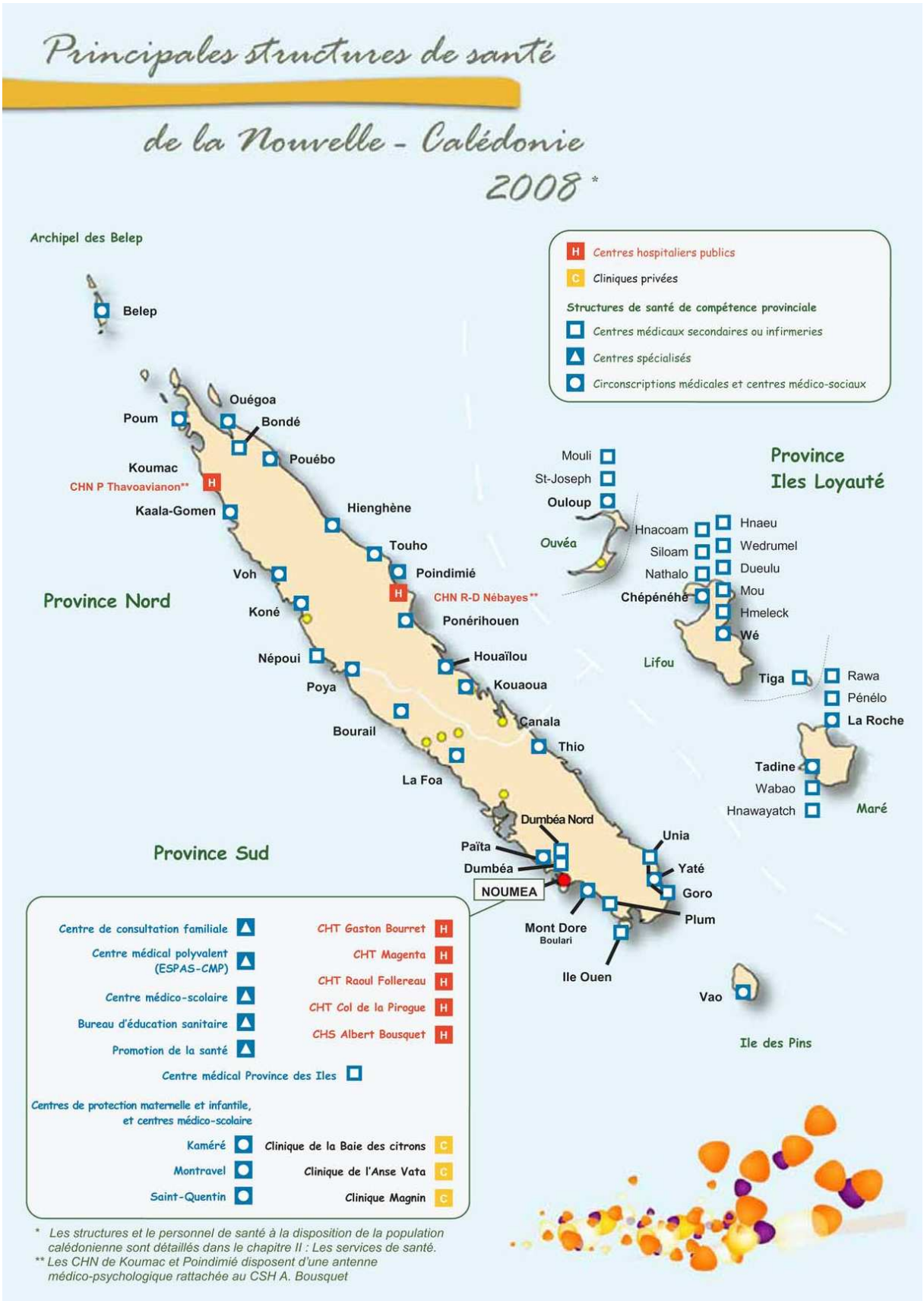


Figure 3 – Carte des Infrastructures de santé 2008 – *Source : Situation sanitaire 2008, Direction des affaires sanitaires et sociales de la Nouvelle-Calédonie (2010)*

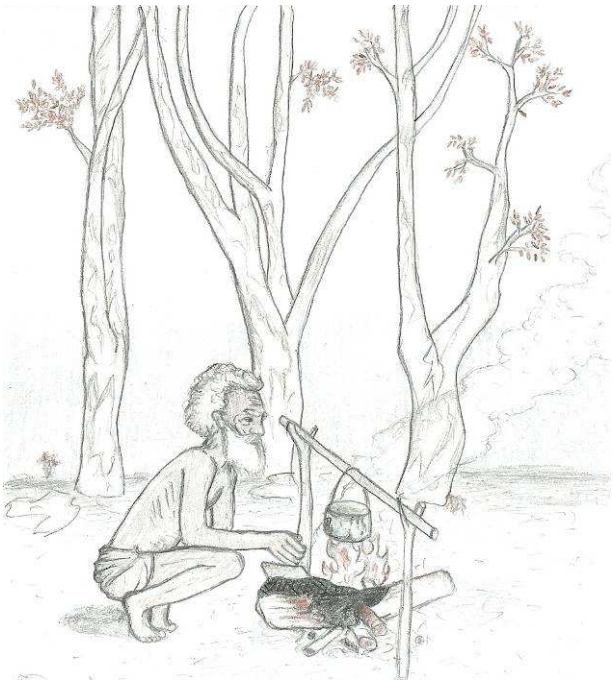


Figure 4 – Guérisseur kanak – Dessin Salomé Aubert

Dans la pensée kanake traditionnelle, il existe quatre catégories de maladies. Les « vraies maladies », généralement bénignes, sont dues à des déséquilibres de l'hygiène de vie comme les troubles de l'alimentation, les accidents climatiques (refroidissements, insolations), la ciguatera ou les MST. Ces maladies se soignent dans la sphère familiale à l'aide d'une pharmacopée basée sur les plantes. Les « maladies des blancs » n'étaient pas connues avant l'arrivée des colons et ne sont pas nommées dans les langues kanakes (le diabète par exemple). Elles sont du ressort de la médecine occidentale et doivent guérir rapidement. Les deux autres catégories de maladies sont des « malheurs » ; elles englobent les évènements dramatiques familiaux. On distingue les maladies liées aux ancêtres et les maladies provoquées. Les premières résultent de fautes commises comme les transgressions de tabous ou l'oubli de gestes rituels, qui provoquent le déséquilibre entre l'homme, et le monde mystique représenté par les ancêtres [*Qaeze 2005*]. Le traitement de ces maladies se fait par recours à un guérisseur, qui recherche à déterminer l'origine exacte du mal et indiquera le geste symbolique de réparation à accomplir afin de rendre les médications efficaces. La quatrième catégorie regroupe les maladies engendrées par des maléfices (boucans) lancés par des sorciers ou par des conflits généralement suscités par la jalousie.

Un même symptôme peut donc avoir des origines différentes selon la tradition kanake [*Salomon 2000*]. Mais, quelle que soit la pratique, la médication ne pourra être efficace qu'après avoir invoqué les ancêtres par l'intermédiaire du guérisseur. Une étude réalisée dans les Iles Loyautés montre que les Mélanésiens sollicitent autant les médecins occidentaux que les guérisseurs, préservant ainsi le respect sécurisant des traditions tout en profitant des innovations médicales européennes [*Lepoutre 2000*]. De même que pour la religion, le monde kanak a aussi bien intégré la médecine occidentale que les guérisseurs et voyants Vanuatais, Indonésiens, Tahitiens, etc, sans renoncer à son héritage ancestral. Les malades mélanésiens peuvent ainsi être successivement auscultés par une grand-mère, un médecin généraliste, un guérisseur, un spécialiste, un voyant, …, de toutes origines ethniques.

1.2. L'amiante

Photographie 15 - Fibres d'amiante – *source INRS*

Notre sujet d'étude se situant à la frontière de plusieurs sciences, il est important de préciser le vocabulaire utilisé. Une roche est faite d'un assemblage de minéraux (matière ordonnée dans un système cristallin), lesquels sont constitués par des combinaisons d'éléments (Si, Mg). Ainsi la serpentinite est une roche constituée par des minéraux de la famille des serpentines qui sont des silicates de magnésium et de fer.

1.2.1. Les grandes familles de minéraux asbestiformes

Le mot asbeste (incombustible) désigne un groupe de minéraux naturels silicatés à habitus fibreux. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a défini une fibre comme

étant « *toute particule solide, naturelle ou artificielle, allongée à bords parallèles ayant une longueur supérieure à 5 µm, un diamètre inférieur à 3 µm et un rapport longueur / diamètre supérieur à 3* » [*WHO 1986, Groppo 2005*]. Les fibres d'amiante sont très variables en longueur (de 0,2 à 200 µm) et en diamètre (0,03 – 1 µm).

Le terme « amiante » vient du grec « amiantos » signifiant « imputrescible ». L'amiante était déjà utilisé dans l'Antiquité, en Finlande pour renforcer des pots en argile, et chez les Grecs, les Romains et les Perses pour tisser des vêtements résistant au feu. Son utilisation à une échelle industrielle n'a véritablement commencé qu'en 1860 et a cru jusqu'en 1975. Ses propriétés de résistance au feu, aux efforts mécaniques et aux agents chimiques ont entrainé une large utilisation de l'amiante pour l'isolation thermique et acoustique. On l'a utilisé ainsi dans l'isolation de canalisations et de câbles électriques, les plaquettes de freins, les ardoises artificielles, les plaques ondulées de toitures, les cloisons isolantes, les carreaux de sols et dalles de faux-plafonds, les tuyaux de ciment, le ciment-colle et l'isolation de cuisinières, fers à repasser et grille-pains (*planche 1*). L'amiante naturel est exploité dans des mines en Russie, au Kazakhstan, en Chine, au Canada, au Brésil et aux Etats-Unis. La mine de Canari en Haute-Corse plaçait la France au septième rang des pays producteurs d'amiante jusqu'en 1965, année de sa fermeture.

Planche photographique 1 - Quelques utilisations de l'amiante

L'amiante est un terme générique employé aussi bien dans l'industrie que dans les sciences de la terre. Le terme d'amiante ne désigne pas un minéral spécifique, mais une morphologie minérale particulière dont les dimensions ont été précisées plus haut. Dans ce sens on peut concevoir le terme "amiante" comme un adjectif qualifiant la taille et la morphologie de tel ou tel minéral. Le terme "asbestiforme" dérive de la traduction anglaise ("asbestos") du terme français amiante et peut être employé dans le même sens.

A côté de cette définition scientifique rigoureuse existe une définition à la fois juridique et industrielle qui ne retient que six phases minérales : le chrysotile, l'anthophyllite, l'amosite, la trémolite, l'actinolite et la crocidolite.

Or il existe plusieurs centaines de minéraux naturels fibreux, dont les principales familles sont les amphiboles et les serpentines ; on peut aussi y rencontrer des zéolites (dont l'érionite citée en Turquie), et même certaines silices.

Le chrysotile, la lizardite et l'antigorite sont les minéraux les plus connus de la famille des serpentines. Le chrysotile, toujours fibreux, (*photographie 16*) est le plus connu du fait de son importance commerciale ; mais la lizardite et l'antigorite, qui s'expriment habituellement en agrégats massifs et en cristaux tabulaires respectivement, peuvent présenter un habitus fibreux de la classe amiante [*Groppo 2005 et 2006*].

Photographie 16 - Veine de chrysotile – *D Lahondère - BRGM*

La famille des amphiboles présente une grande variété minérale. Plusieurs des sous-groupes de cette famille, basés sur des critères chimiques et cristallographiques, comportent des minéraux ayant des habitus aciculaires et fibreux. Les séries les plus connues sont :

- la série anthophyllite – gédrite,
- la série cummingtonite – grunérite, avec l'amosite et la montasite largement exploitées,
- la série trémolite – actinolite – ferroactinolite (*photographie 17*),
- la série glaucophane – riebeckite, avec la crocidolite largement exploitée.

Photographie 17 - Trémolite amiante à l'état naturel – *D Lahondère - BRGM*

La morphologie des fibres d'amiante est très variable. Elles peuvent être droites, aciculaires, flexueuses ou fourchues : les fibres de chrysotile sont longues et souples, souvent enroulées, propriétés qui justifient leur utilisation dans l'industrie, alors que les fibres de trémolite sont plus courtes, raides et cassantes. Cependant ces morphologies ne suffisent pas à diagnostiquer un minéral. La plupart des amiantes sont polymorphes.

Du point de vue du minéralogiste, l'attribution à une famille, un groupe ou une espèce minérale se fait par la détermination des caractéristiques cristallographiques et chimiques ainsi que par le mode d'occurrence. Le microscope optique en lumière polarisée (MOLP) permet d'observer la taille, la morphologie et le système cristallographique du minéral, mais pas de distinguer des veines d'antigorite fibreuse de celles de chrysotile fibreux [*Groppo 2006*]. Le microscope optique à contraste de phase (MOCP) ne permet que d'observer la taille et la morphologie des minéraux. L'utilisation de la diffraction des rayons X (DRX) permet d'identifier la structure cristallographique fine. D'autres méthodes telles que la microscopie électronique à balayage (MEB) permettent d'obtenir la composition chimique ponctuelle. La microscopie électronique à transmission (MET) est une méthode d'analyse semi-quantitative permettant d'évaluer le pourcentage de fibres, mais qui est très onéreuse. Un croisement de ces différentes techniques est souvent nécessaire pour aboutir à un diagnostic fiable. La distinction des différentes serpentines fibreuses est particulièrement compliquée. Une équipe italienne a récemment mis au point une technique de spectroscopie micro-Raman, afin d'identifier les différents minéraux de serpentine (chrysotile, antigorite et lizardite) contenus dans des échantillons de péridotite serpentinisée [*Groppo 2006*].

La majorité des scientifiques de la santé et les autorités compétentes ont longtemps retenu la définition commerciale des amiantes, qui ne connait que le chrysotile et cinq amphiboles : crocidolite, amosite, antophyllite, crocidolite et trémolite. De ce fait, les autres formes minérales à habitus fibreux ont été souvent négligées et leurs impacts sur la santé humaine peu étudiés. Moins étudié, il est à noter l'impact de l'amiante sur l'écologie [*Schreier 1989*].

1.2.2. Les roches génératrices de fibres

Photographie 18 - Filon de serpentinite à l'interface péridotite–latérite – *D Lahondère - BRGM*

Les minéraux fibreux naturels sont souvent associés aux roches dites « basiques » et « ultrabasiques », ainsi dénommées en raison de leurs faibles teneurs en silice et de leurs fortes teneurs (> 70%) en éléments métalliques dont le magnésium et le fer (*photographie 18*). Ces roches d'origine profonde, qui proviennent du manteau terrestre, affleurent assez rarement. Elles se mettent en place à la faveur de collisions à la frontière des grandes plaques qui découpent en une mosaïque mouvante (à l'échelle de temps géologique) la surface de la terre.

Dans les zones de collision on trouve les roches métamorphiques, qui peuvent contenir des amphiboles dont l'habitus fibreux est fréquent. On rencontre, suivant la

chimie des roches métamorphisées, la série anthophillite, la série trémolite, la série glaucophanne, etc.

Les géologues parlent également d'ensembles ophiolitiques[2] lorsque les roches ultrabasiques sont associées à des roches basiques (gabbros et/ou basaltes) et sédimentaires siliceuses (chert, radiolarite) provenant de la croûte océanique située au-dessus du manteau. On parle de "mélange ophiolitique", terme évocateur pour désigner des zones très déformées lardées de filons de serpentinite[3].

Les roches ultramafiques comme les dunites, les péridotites et les pyroxénites peuvent être modifiées par des processus tels que le métamorphisme, les déformations tectoniques ou l'hydrothermalisme. Ces transformations sous contraintes thermomécaniques accompagnées de fluides peuvent aboutir à la formation de fibres par étirement de la matière.

Les serpentinites sont constituées d'antigorite, de lizardite et de chrysotile, avec quelques minéraux accessoires comme la magnétite, la chromite, la biotite, et quelques amphiboles. La serpentinite peut aussi être formée par la transformation métamorphique de dolomites.

Les fibres naturelles d'amiante sont constituées de faisceaux de fibrilles qui se séparent très facilement sous des actions mécaniques pour former un nuage de poussières très fines, souvent invisibles à l'œil nu. Les agents atmosphériques (eau, vent, changement de température ou d'hygrométrie) contribuent à la dissémination des fibres dans l'atmosphère, selon plusieurs facteurs :

- minéralogiques : en fonction de leur taille et de leur cohésion, certaines fibres sont plus ou moins facilement dispersées,
- d'altération : selon les roches, l'altération supergène peut entraîner une désagrégation des amas fibreux et/ou une « disparition » des fibres,
- de conditions d'affleurement : les processus naturels (érosion, feux) ou anthropiques (travaux) peuvent dénuder le sol et exposer à l'air les minéraux fibreux,
- climatiques : les saisons sèches et venteuses sont propices à la dispersion,

[2] *De ophis, serpent.*
[3] *Roches d'aspect écailleux et de couleur verte évoquant une peau de serpent, d'où son nom*

- anthropiques : les activités humaines comme l'activité minière, les travaux publics, les travaux de terrassement ou la circulation routière peuvent entrainer la formation de poussières suite à l'écrasement des roches amiantifères, et la mise en circulation des fibres dans l'air (*photographie 19*).

Photographie 19 - Carrière de serpentinite au bord d'une route

1.2.3. La géologie de la Nouvelle-Calédonie et les roches potentiellement amiantifères : état des connaissances au commencement de notre étude

La constitution géologique de la Nouvelle-Calédonie est très comparable à celle de la Corse du Nord, de la Grèce, de la Turquie, de Chypre, où des foyers de mésothéliomes ont été signalés. Elle est riche en unités métamorphiques et en roches ultrabasiques et basiques, qui se retrouvent sur toute la longueur de la Grande-Terre [*Birrell and Wright 1945; Latham 1986*]. Cette omniprésence est illustrée dans la figure 5 où sont représentées sans distinction toutes les formations

ultrabasiques et ophiolitiques connues (et leurs couvertures de formations superficielles latéritiques). Etant donné l'état incomplet des connaissances dans certaines zones difficiles d'accès, cette carte minimise l'importance des zones potentiellement amiantifères.

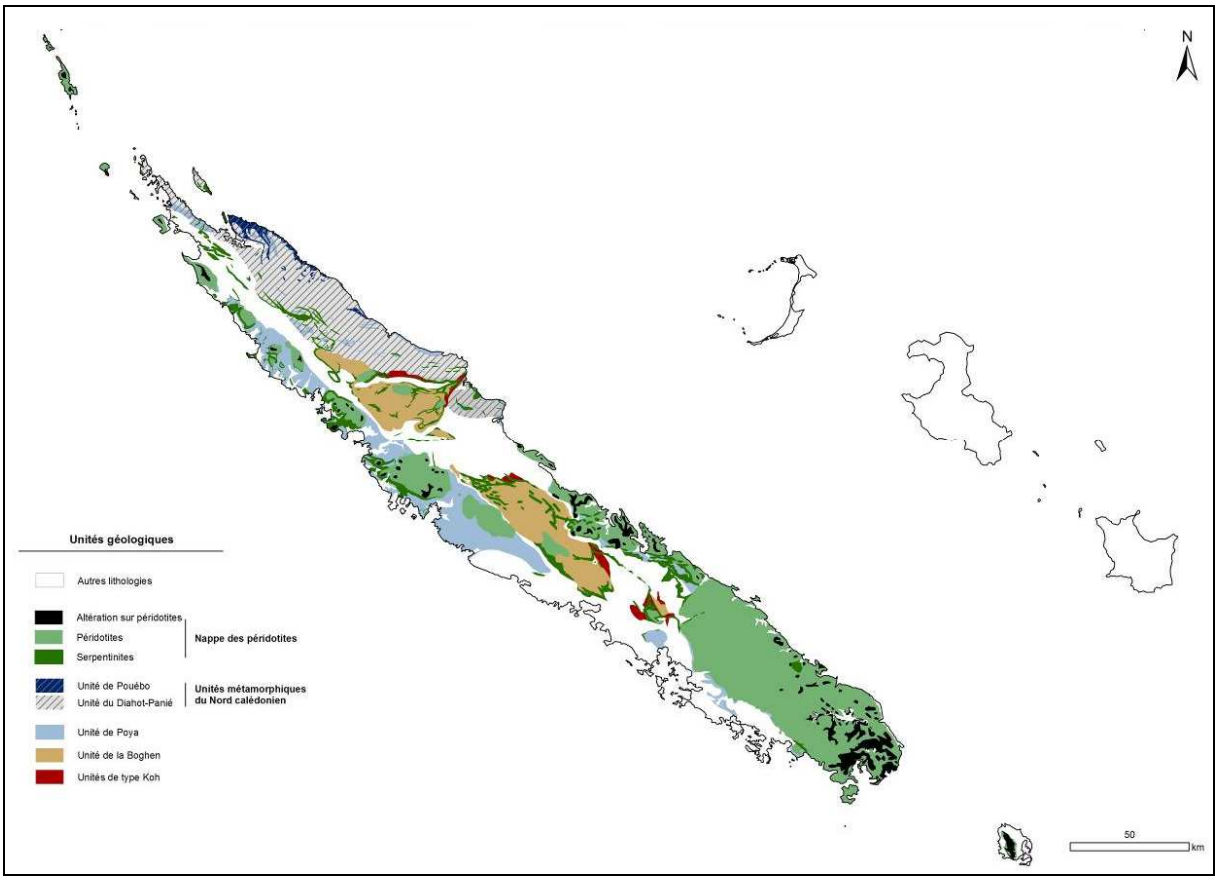


Figure 5 – Carte géologique des unités potentiellement amiantifères en Nouvelle-Calédonie

Source : Maurizot 2009

Cet ensemble de roches ophiolitiques et métamorphiques, qui recouvre une grande variété de roches ultrabasiques et basiques, est complexe et difficile à analyser. Les plus anciennes unités géologiques datent de 300 millions d'années alors que les plus récentes sont âgées de 30 millions d'années. Elles ne partagent ni la même évolution, ni les mêmes conditions de mise en place, et par voie de conséquence

leurs phases minérales sont différentes. Nous allons passer en revue la potentialité amiantifère des différentes unités géologiques de Nouvelle-Calédonie

Gabbros et basaltes « anciens » des massifs de type Koh

Le massif de Koh, que l'on recoupe sur la transversale du col d'Amieu, est l'élément le plus représentatif des ensembles ophiolitiques « anciens » situés au cœur de la Chaîne centrale de Nouvelle-Calédonie. Ce massif est attribué au Carbonifère supérieur (300 ± 2 Ma) [*Aitchison et al. 1998*]. L'unité rassemble une série de massifs discontinus (Kua, Koh, Pocquereux, Sphinx, Cantaloupaï) formant souvent des reliefs aigus à la base desquels on trouve des serpentinites, alors que la partie supérieure est représentée par des gabbros et des basaltes. Des occurrences de trémolite y ont été signalées [*Paris 1981b, Meffre 1995*]. Cet ensemble, qui affleure dans des zones difficiles d'accès, est relativement mal cartographié.

Serpentinites en filons associées à l'unité métamorphique de la Boghen

L'unité de la Boghen représente un complexe de subduction qui porte l'empreinte d'une déformation et d'un métamorphisme polyphasé ; elle est constituée essentiellement par des micaschistes. On la trouve dans les deux massifs principaux de Boghen et d'Ouango-Netchaot, au coeur de la Chaîne centrale. L'unité est lardée de filons de serpentinite qui partagent les mêmes métamorphismes et déformations. La trémolite a été signalée dans plusieurs travaux, dont l'étude UNC – SLN [*Cluzel et Pelletier 1994*] de la région de Montfaoué ; ce minéral se développe fréquemment à l'interface micaschiste - serpentinite. La cartographie actuelle des corps de serpentinites dans l'unité de la Boghen n'est certainement pas exhaustive.

Basaltes de l'unité de Poya

L'unité de Poya, mise en place à l'éocène supérieur, affleure essentiellement sur la côte Ouest. Elle est constituée d'un ensemble ophiolitique en nappes, formé par des basaltes (80 à 60 Ma) [*Cluzel 2001*] de croûte océanique, lardés d'écailles serpentineuses. Les écailles de serpentinite sont fréquentes dans la région de Koumac à Koné. Elles ne sont probablement pas exhaustivement cartographiées. La présence de zéolites est signalée sans mention de leurs habitus [*Paris 1981*].

Unités métamorphiques du Nord calédonien

La zone métamorphique de haute pression du nord calédonien est constituée par des gneiss et micaschistes particuliers (glaucophanites et éclogites) correspondant à un ensemble de sédiments, basalte et roches ultrabasiques qui a été entraîné par subduction jusqu'à 70 km de profondeur. Cet enfouissement, qui a eu lieu entre 35 et 41 millions, d'années a provoqué des transformations texturales et métamorphiques importantes, qui se traduisent par une minéralogie spécifique [*Aitchison et al. 1995, Cluzel et al. 2001*]. Des minéraux fibreux de la lignée trémolite-actinote sont fréquemment signalés dans les études [*Paris 1981*]. Ce type de complexe porte le nom évocateur de "mélange" en géologie. La plupart du temps, la cartographie géologique disponible ne distingue pas les roches ultrabasiques et basiques tant les deux faciès sont imbriqués. Les "pierres savons" ou stéatites font partie de ce cortège.

Les massifs de péridotites

Les massifs de péridotites représentent plus du tiers de la superficie de la Grande-Terre. On distingue le grand Massif du Sud et une série de massifs ou "klippes" qui s'alignent tout au long de la côte Ouest. L'ensemble forme la nappe des péridotites, mise en place par obduction[4] à l'éocène terminal sur les autres formations de l'île.

La base de la nappe ou surface de chevauchement est constituée par une semelle de péridotite très serpentinisée et déformée, d'épaisseur inégale, dans laquelle il est fréquent de rencontrer du chrysotile. Dans le corps des massifs, les harzburgites sont essentiellement représentées dans le Sud et des lherzolites dans le Nord, toutes entrelardées de dunites. Dans le Sud de la Grande-Terre et à l'île des Pins, plusieurs corps de gabbros cumulats forment autant de chambres magmatiques lenticulaires séparées au sein des dunites supérieures.

La nappe des péridotites est fréquemment affectée par de nombreuses dislocations serpentineuses, parfois injectées par des complexes filoniens (pyroxénites, gabbros, dolérites, basaltes, plagiogranites) souvent fortement déformés. Les gisements de néphrite (jade) font partie de ces complexes. Dans de tels contextes la trémolite est connue [*Guillon 1972*]. Le jade est un matériau résistant, peu sensible à l'altération,

[4] *Chevauchement d'une plaque continentale. par une plaque océanique*

qui ne doit pas en principe libérer de fibres dans l'atmosphère ; toutefois d'autres formes de gisements trémolitiques pourraient théoriquement exister mais de manière anecdotique.

Deux batholites grano-dioritiques (Saint-Louis et Koum, datés à 24 - 27 Ma) sont intrusifs dans la nappe des péridotites, au niveau du massif du Sud. A leur contact peuvent se développer des auréoles de minéraux fibreux comme l'anthophyllite [*Paris 1981b*].

Les formations d'altération

De nombreuses surfaces et formations d'altération sont visibles sur la Grande-Terre. Les surfaces les plus remarquables se sont formées sur les péridotites qui présentent une grande sensibilité à l'altération sous climat tropical. Ces surfaces révèlent des épaisseurs très inégales de latérite (de 1 à 80 mètres), parfois coiffées par un horizon cuirassé. A leur base, au-dessus de la roche saine non altérée, se trouvent les saprolites où le nickel est concentré de manière supergène. L'altération de la serpentine dont le chrysotile et sa transformation en lizardite nickélifère dans les zones d'altération a été décrite. Elle est parfois incomplète et des fibrilles peuvent subsister ponctuellement [*Pelletier 1999*]. Les modalités de passage des autres minéraux fibreux potentiellement présents dans les péridotites sous-jacentes aux formations d'altération ne sont pas documentées. Les minéraux silicatés de la roche mère, dont les serpentines, disparaissent totalement dans les latérites pour laisser la place aux oxy-hydroxydes de fer. La cartographie de ce manteau d'altération est de très mauvaise qualité.

Autres lithologies

Les autres unités sont des unités sédimentaires ou volcano-sédimentaires du mésozoïque au tertiaire, qui ne contiennent théoriquement pas de roches amiantifères.

Conclusions

Au même titre que d'autres pays à "mélange ophiolitique", la Grande-Terre de Nouvelle-Calédonie contient de nombreuses unités de compositions ultrabasiques et basiques, certaines métamorphisées, susceptibles de contenir des phases minérales

fibreuses et potentiellement pathogènes pour ses habitants. L'état des connaissances, au début de notre étude, sur le potentiel amiantifère de ces unités est très insuffisant. Les histoires, et donc les caractéristiques minéralogiques des différentes unités géologiques, sont très variées. Il est important de pouvoir distinguer ces évolutions et ces compositions afin de déterminer, par comparaison avec les données épidémiologiques, la plus ou moins grande nocivité des formations. Les filons de serpentinites sont très fréquents et ubiquistes. Leur nombre est sous estimé et leur cartographie avec les documents disponibles est vraisemblablement « minimaliste ».

En termes de minéraux fibreux, les minéraux de la série continue actinote – trémolite sont souvent cités dans la littérature pour ce qui concerne les unités de type Koh, l'unité de la Boghen et la ceinture métamorphique du Nord. Les massifs de péridotites qui se sont mis en place le plus récemment (nappe des péridotites et leurs couvertures d'altérites) peuvent contenir du chrysotile au niveau des accidents serpentineux, notamment dans la semelle de base. Ce minéral disparaît, dans la plupart des cas, dans les formations altérées qui font l'objet des exploitations de nickel.

1.3. Les maladies liées à l'amiante – Etat des lieux des connaissances en Nouvelle-Calédonie précédant notre étude

1.3.1. Les maladies provoquées par l'amiante

L'inhalation de fibres d'amiante peut entraîner des maladies allant de pathologies bénignes comme les plaques pleurales [*Roos 1999*] jusqu'à des maladies mortelles comme les cancers broncho-pulmonaires (1ère cause de mortalité chez les personnes exposées à l'amiante) et les cancers de la plèvre (mésothéliomes). La grande majorité de la littérature scientifique sur les dangers de l'amiante a été réalisée à partir d'études sur des travailleurs. Les études concernant les effets de l'amiante environnemental sur la santé humaine, animale, et sur l'écologie des plantes et des sols sont beaucoup plus rares [*Schreier 1989*].

Les deux familles d'amiante sont responsables de maladies [*Niklinski, 2004*]; certaines études ont tenté de démontrer un risque plus élevé pour les amphiboles [*Hodgson and Darnton 2000; Rees et al. 1999*]. Leurs arguments ne sont cependant pas indépendants de l'importance économique de la production de chrysotile [*Carbone et al. 2007*].

A partir d'études sur animaux, il avait été postulé que les fibres longues étaient les plus dangereuses. Or des études récentes ont montré que les fibres courtes étaient prédominantes dans les poumons et la plèvre de patients atteints de mésothéliomes malins pleuraux [*Yasunosuké 2005*].

Historique

Dès le début du XX^{ème} siècle, les problèmes de santé associés avec l'exposition professionnelle aux particules d'amiante dans l'air ont été rapportés [*Tweedale G and Hansen P 1998*]. La première réglementation pour la protection des travailleurs contre l'exposition à l'amiante est apparue au Royaume-Uni en 1931. L'asbestose a été prise en charge en France comme maladie professionnelle à partir de 1945 et les premières règles de protection des travailleurs datent de 1977. Les amphiboles ont été classées cancérogènes en 1973 par le centre international de recherche sur le cancer (IARC); cette classification a été étendue à toutes les variétés d'amiante en 1977. De sévères restrictions sur l'utilisation de l'amiante ont été adoptées par les pays développés dans les années 1980. L'utilisation de l'amiante est interdite en Islande depuis 1983, en France depuis 1997, et en Nouvelle-Calédonie depuis 2007. L'association nationale des victimes de l'amiante (ANDEVA) s'est constituée partie civile en France en 1996 pour porter plainte contre X.

Physiopathologie

L'amiante entre dans le corps par inhalation. Le caractère pathogène d'une fibre d'asbeste serait associé à ses dimensions et sa bio-persistance :

- plus la fibre est petite, plus elle peut pénétrer profondément dans l'appareil respiratoire,
- plus elle est longue et fine, plus l'organisme a des difficultés à l'éliminer.

Les fibres retenues dans les poumons peuvent provoquer une inflammation du poumon et/ou du tissu qui l'enveloppe : la plèvre. Ces manifestations sont très progressives et ne se détectent pas facilement à un stade précoce.

Lorsque la quantité de fibres retenues est importante, une fibrose du poumon, l'asbestose, peut apparaître après plusieurs années. Les fibres peuvent également altérer les divisions cellulaires au niveau des cellules épithéliales des bronches et, après un temps de latence d'environ 20 années (entre le début de l'exposition et l'apparition de la maladie), un cancer broncho-pulmonaire peut se développer.

Les fibres peuvent migrer vers l'extérieur de la cavité pleurale pour atteindre son enveloppe externe : la plèvre pariétale. A ce niveau, un cancer très agressif (le mésothéliome) ou plusieurs pathologies bénignes peuvent se manifester :

- une pleurésie bénigne (épanchement de liquide),
- une fibrose pleurale diffuse,
- des zones de fibroses localisées (les plaques pleurales),
- une atélectasie par enroulement (masse bénigne se développant au contact d'un épaississement de la plèvre).

Les plaques pleurales

Considérées comme un "marqueur d'exposition" à l'amiante, les plaques pleurales peuvent entraîner des douleurs, voire une légère diminution de la capacité respiratoire. Elles ne présagent pas du risque de cancer de la plèvre.

L'asbestose

L'asbestose est une fibrose du tissu pulmonaire qui peut survenir après une exposition à des taux importants de poussière contaminée à l'amiante. Elle n'est donc observée que dans le cas d'exposition professionnelle [*WHO 2000*]. Le temps de latence est généralement compris entre 10 et 20 ans ; il est d'autant plus court que l'exposition à l'amiante a été élevée. Il n'y a pas de traitement médical efficace de l'asbestose à ce jour, et son évolution est variable : l'asbestose reste stable dans plus de la moitié des cas, mais elle peut progresser vers l'insuffisance respiratoire. L'asbestose s'accompagne d'un risque accru de cancer broncho-pulmonaire.

Le cancer broncho-pulmonaire

Le cancer broncho-pulmonaire est le cancer le plus fréquent dans la population masculine mondiale, il représente 10% des décès masculins dans les pays industrialisés. Il est lié à différents facteurs, principalement le tabac qui serait responsable de 80% des cas. L'inhalation de fibres d'amiante est également responsable de cancers broncho-pulmonaires, avec un ratio cancers pulmonaires / mésothéliomes de l'ordre de 3,5 [*Nikinski et al. 2004*]. L'exposition aux fibres d'amiante multiplie le risque de cancer pulmonaire par 5, alors que ce facteur est de 10 pour l'exposition au tabac. Les effets du tabac et de l'amiante sont indépendants l'un de l'autre (risque multiplié par 50 pour la double exposition).

Le mésothéliome

Le mésothéliome malin pleural est un cancer primitif de la plèvre de très mauvais pronostic : sa survie médiane est de 11 mois. Aucun traitement n'a encore fait preuve d'efficacité. Certains mésothéliomes, plus rares, apparaissent au niveau d'autres enveloppes que la plèvre : le péritoine, le péricarde et un tissu testiculaire.

Le mésothéliome est la signature d'une exposition à l'amiante [*Merler and Chelini 1992*]. Contrairement au cancer broncho-pulmonaire, il n'y a pas d'association causale entre le mésothéliome malin et le tabac [*Robinson 2006*]. Des cas de mésothéliome ont aussi été décrits après une exposition aux fibres d'érionite (zéolite fibreuse), en particulier en Turquie [*Emri 2002, Carbone 2007*] ou aux fibres de silice comme en Inde [*Das 1976*] et en Louisiane chez des travailleurs de la canne à sucre [*Rothschild and Mulvey 1982*]. D'autres facteurs de risque ont été suspectés (rayonnements, virus) mais sont controversés.

Le risque de mésothéliome augmente avec le temps à partir du début de l'exposition aux fibres, avec la durée de l'exposition et avec l'exposition cumulée [*Cugell and Kamp 2004*]. Il n'y a pas de seuil minimal d'exposition, celle-ci peut avoir été de faible niveau [*Paustenbach et al 2004*]. La maladie apparait 20 à 50 ans avant la date du diagnostic, avec un temps de latence médian de 30 années [*Britton 2002, Cugell 2004*].

Le mésothéliome pleural est une tumeur très rare, dont l'incidence mondiale est d'environ 1 à 2 cas par million d'habitants par an dans la population générale [*MacDonald 1986*]. Des estimations récentes pour la France font état d'une incidence

annuelle de 1,8 à 2,3 pour 100 000 hommes, et de 0,5 à 0,68 pour 100 000 femmes [*Gilt 2009*]. Ce cancer est habituellement d'origine professionnelle, en particulier chez les travailleurs à la construction de bateaux ou les plombiers [*Goldberg 2006*], entrainant des taux d'incidence cinq fois plus élevés chez les hommes que chez les femmes [*Ross and McDonald 1953*]. Cependant le risque de contamination domestique a été démontré pour les familles de travailleurs exposés à l'amiante [*Hillerdal 1999, Maule et al. 2007, Ferrante et al. 2007*]. L'exposition féminine est ainsi plus souvent para professionnelle (brossage et nettoyage des vêtements contaminés du conjoint) ou domestique (utilisation d'outils ménagers contenant de l'amiante).

Des cas d'origine environnementale ont été décrits chez des sujets vivant à proximité de sites miniers ou d'usines d'amiante [*Gardner et al, 1989, Magnani et al. 2001*]. Des foyers de mésothéliomes environnementaux ont également été signalés chez les habitants de villages bâtis sur des affleurements naturels amiantifères [*Niklinski 2004*]. La Corse par exemple compte sur son territoire de nombreux affleurements de serpentinite, roche pouvant contenir de l'amiante sous la forme de chrysotile ou de trémolite. Soumises à l'érosion après la destruction du couvert végétal, ou aux activités humaines (travaux publics, circulation sur des pistes non goudronnées), elles sont susceptibles d'émettre des fibres d'amiante dans l'air. Plusieurs études épidémiologiques ont montré qu'il existait un risque d'exposition environnementale à l'amiante pour les personnes résidant dans des régions où affleurent les gisements de serpentinite [*Billon et al 1988, Rey et al. 1993*].

En 1997, le BRGM a été chargé d'établir une cartographie des roches potentiellement amiantifères en Corse. De 2001 à 2003, la DDASS de Haute-Corse a procédé à une évaluation du risque sanitaire en menant des campagnes de mesures de la teneur de l'air en fibres d'amiante, à l'intérieur et à l'extérieur de l'habitat. Le risque de décès attribuable au mésothéliome environnemental a été estimé pour le village le plus exposé à 22 pour 10 000 hommes et 36 pour 10 000 femmes. En conclusion de cette étude, des recommandations ont été proposées, concernant la protection des travailleurs intervenant en terrains amiantifères ainsi que celle de la population exposée passivement : informer la population, interdire la circulation sur les lieux à risque, recouvrir les affleurements accessibles au public, limiter la constructibilité en zone d'affleurement de serpentinite, faire prendre des mesures de

protection du personnel et de restauration de l'environnement au cours des travaux non évitables…

Des cas similaires d'exposition environnementale à l'amiante ont été notés en Finlande, en Autriche, en Bulgarie, à Chypre [*McConnochie et al. 1987*], en Grèce [*Constantopoulos et al. 1987, Koike 1992*], en Turquie [*Baris et al. 1979, Gulmez et al. 2004*], en Afghanistan, en Australie [Leigh *et al* 2002], en Chine,… Une étude californienne a démontré l'augmentation du risque de mésothéliome avec la proximité résidentielle à une source d'occurrence naturelle d'amiante [*Pan et al. 2005*].

En France, un Programme national de surveillance du mésothéliome (PNSM) a été initié en 1998 par l'Institut de veille sanitaire [*Gilt 2002*]. Son objectif est de fournir des informations fiables aux autorités sanitaires. Il a débuté dans 17 départements et son extension à deux autres départements est en cours. Une estimation de l'incidence nationale du mésothéliome est réalisée après confirmation des cas par une expertise anatomo-pathologique et une expertise clinique. Une étude cas-témoins analyse le risque attribuable à différents facteurs étiologiques professionnels et extra-professionnels.

Autres cancers

Certaines études épidémiologiques récentes mentionnent la possibilité de cancers gastro-intestinaux et de cancers laryngés en relation avec l'exposition à l'amiante.

Prévention du risque "amiante"

Afin de protéger la population contre les risques liés à une exposition à l'amiante, la réglementation française organise la recherche et la surveillance de l'état de conservation de l'amiante dans les immeubles bâtis.

De même, afin de protéger les travailleurs contre les risques liés à l'inhalation de poussières d'amiante dans le cadre de leur activité professionnelle, elle fixe les règles techniques et les règles de qualification que doivent respecter les entreprises réalisant des opérations de confinement et de retrait d'amiante, des interdictions relatives à l'affectation de jeunes travailleurs ou de travailleurs temporaires à certaines activités les exposant à l'inhalation de poussières, et prévoit les modalités

de la surveillance médicale professionnelle et post-professionnelle des travailleurs exposés. Par exemple, la valeur limite d'exposition à l'amiante a été fixée à :

- 0,1 fibre / cm³ d'air (100 fibres / litre d'air toutes fibres minérales confondues) : valeur limite de l'A.R. 16/03/06 – analyse par microscopie optique.
- 0,005 fibre d'amiante / cm³ d'air : valeur guide du Code français de Santé Publique – analyse par microscopie électronique *(5 fibres d'amiante / litre d'air).*
- 0,001 fibre d'amiante / cm³ d'air : valeur faisant référence à la recommandation de l'O.M.S. – analyse par microscopie électronique (*1 fibre d'amiante / litre d'air).*

Bien que l'exposition aux fibres soit difficile à quantifier, une estimation de l'excès d'incidence des mésothéliomes est parfois réalisée par la formule de Peto ; les paramètres inclus dans le modèle, qui suppose une relation linéaire dose-réponse, sont : la concentration en fibres dans l'air, la durée d'exposition et la durée depuis la première exposition. L'estimateur du risque dans ce modèle est de 2×10^{-5} pour 100 fibres/m^3 en microscopie optique. En microscopie électronique, cette valeur est divisée par 2 [*WHO 2000*].

En France, toute personne victime des effets de l'amiante peut obtenir une indemnisation de son préjudice auprès d'un fond spécialement créé à cet effet, le Fond d'indemnisation des victimes de l'amiante (FIVA).

1.3.2. La situation en Nouvelle-Calédonie

Avec 26,3% des décès déclarés en 1992 et 27,9% en 2008, la pathologie tumorale représente la première cause de mortalité en Nouvelle-Calédonie (*rapports DASS NC, figure 6*). D'après les résultats publiés en 1992 par la DASS NC, 26% des décès par tumeur étaient dus aux cancers respiratoires, et 32,7% en 2008.

Une enquête de la Commission du Pacifique Sud sur la période 1970-1975 montrait que les taux de cancer du poumon étaient plus élevés en Nouvelle-Calédonie que dans les autres îles du Pacifique, Guam mise à part [*Maheux et al. 1978*]. Les

auteurs évoquaient l'hypothèse d'une relation entre le cancer du poumon et le traitement du minerai de Nickel en Nouvelle-Calédonie.

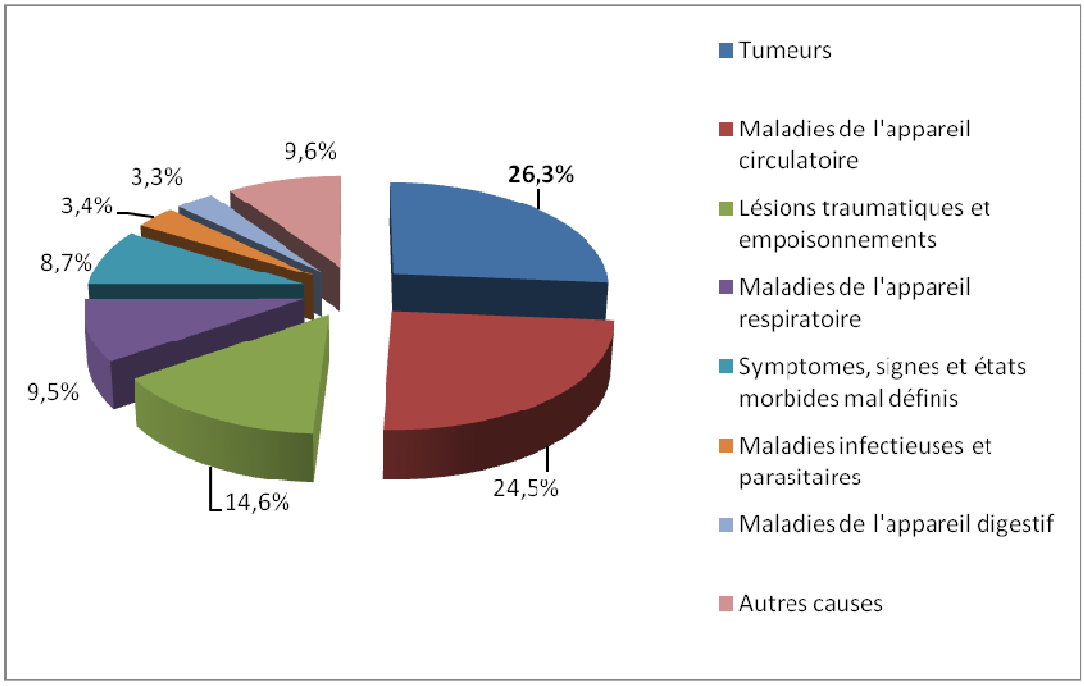


Figure 6 – Répartition des causes médicales de décès en Nouvelle-Calédonie (moyenne 2000-2008), *Source : DASS-NC, Rapports annuels*

D'autre part, les premiers cas de mésothéliome malin étaient signalés en Nouvelle-Calédonie à la fin des années 1970; trois cas étaient enregistrés entre 1970 et 1980. En 1980, une étude commandée par la Société le Nickel [*Hertzog et Meininger 1980*] concluait que l'on ne pouvait pas parler de taux de mésothéliome anormalement élevé. En 1992, le Dr M.A. Thouvenin montrait cependant une sur-incidence du mésothéliome malin en Nouvelle-Calédonie sur la période 1988 – 1991.

En 1980, Langer *et al* analysèrent des spécimens de garniérite, dont l'un provenait de Nouvelle-Calédonie, qui appartenaient à l'American Museum of Natural History de New York, ainsi que trois spécimens de minerai rapportés de Nouvelle-Calédonie. Les méthodes d'analyse employées étaient la microscopie optique à lumière polarisée, la diffraction des rayons X et la microscopie électronique à transmission. Tous les spécimens calédoniens contenaient des fibres de chrysotile. En réponse à

l'article publié dans Science, la Société le Nickel écrivait que la quantité de fibres de chrysotile inhalée par ses employés était inférieure au seuil légal français avec moins de 0,5 fibre par cm^3 d'air [*Meininger 1982*].

Dès 1980, la SLN commandait à l'unité 88 de l'INSERM une étude épidémiologique concernant le risque de cancer des voies respiratoires en liaison avec l'industrie du nickel en Nouvelle-Calédonie. Une étude visant à comparer l'incidence entre la population des travailleurs de la SLN et la population générale de Nouvelle-Calédonie a été réalisée sur la période 1978-1987, ainsi qu'une étude cas-témoins au sein de la cohorte des travailleurs de la SLN. La première étude montrait que le risque de cancer n'était pas plus élevé pour les travailleurs de la SLN que pour le reste de la population masculine de Nouvelle-Calédonie, pour les cinq localisations étudiées (pharynx, cavités naso-sinusiennes, larynx, poumon et plèvre) et révélait un excès de cancers primitifs de la plèvre [*Goldberg et al. 1991 et 1994*]. Douze cancers de la plèvre (dont 9 mésothéliomes) avaient été diagnostiqués au cours de cette période. Comparée à celle d'autres régions de la France et du monde, l'incidence observée était globalement deux à six fois plus élevée en Nouvelle-Calédonie, mais l'origine environnementale semblait plus probable que l'origine professionnelle. En effet la répartition géographique des lieux d'habitation faisait apparaître un regroupement des cas dans les régions rurales du centre de la Grande Terre, loin des zones d'activité minière, de même que les histoires professionnelles ne montraient pas d'exposition à l'amiante. La seconde étude concluait qu'aucun élément ne pouvait être retenu en faveur de l'existence d'un risque de cancer respiratoire lié au travail à la SLN, bien qu'un excès significatif de cancers du larynx était lié aux poussières de perforation sur mine [*Blanc et Goldberg 1985*].

Afin d'étudier l'hypothèse de l'origine environnementale des cancers de la plèvre, l'unité 88 de l'INSERM a mené une nouvelle étude cas-témoins sur les cancers respiratoires durant la période 1993-1995 [*Goldberg et al. 1995, Luce et al. 2000, Luce et al. 2004].* Une pratique mélanésienne consistant à revêtir les murs des habitations d'un enduit appelé « *Pö* », fabriqué à partir d'une roche locale qui contenait de la trémolite, avait été signalée dès le début de l'enquête dans la tribu de Montfaoué. Cinq échantillons prélevés à Montfaoué et deux échantillons à Petit-Couli contenaient de la trémolite, alors que deux échantillons de Montfaoué contenaient des fibres de chrysotile. Des prélèvements d'air réalisés à l'intérieur de trois maisons

enduites de *Pö* à Montfaoué et à Petit-Couli montraient un taux élevé de fibres durant les activités de ménage. Les analyses montraient également une pollution aérienne par des fibres d'amiante dans les tribus de Montfaoué et de Nédivin, cette dernière ne présentant pas d'habitation badigeonnée de *Pö*.

L'enquête INSERM incluait 15 mésothéliomes pleuraux, dont neuf étaient certifiés. Les témoins étaient choisis au hasard dans les listes électorales. L'exposition au *Pö* était évaluée à travers un questionnaire portant sur la participation à la préparation du *Pö* et sa présence sur l'habitation. L'analyse statistique montrait que le risque de mésothéliome pleural était fortement associé à l'exposition au *Pö*. La population exposée au risque de trémolite avait été calculée en faisant l'hypothèse que l'exposition environnementale était négligeable, et que l'habitat recouvert de *Pö* constituait la principale source d'exposition aux fibres. Le nombre d'habitats « à risque » était estimé à 5000 à partir des données du recensement de 1992. Les auteurs concluaient que les pistes pourraient constituer une autre source d'exposition, mais qu'elle semblait faible. Ils recommandaient la mise en place d'une campagne d'information visant à supprimer l'usage du *Pö*, l'identification exhaustive des habitations recouvertes de *Pö*, la décontamination ou la destruction des habitats à risque, une étude géologique d'identification des zones à trémolite, et des mesures sanitaires incluant une campagne de dépistage radiologique.

Or plusieurs biais importants pouvaient fausser les résultats de l'étude INSERM. La réelle présence de fibres dans le *Pö* auxquels les cas et les témoins avaient été exposés n'a pas été vérifiée sur le terrain. Par ailleurs, il est probable qu'une partie de la population tribale ne figurait pas sur les listes électorales au début des années 1990, ce qui a probablement entrainé un biais de sélection des témoins et la sous-estimation de l'exposition au *Pö* dans la population non malade. En effet, dans l'étude du risque de cancer du poumon associé au *Pö*, le ratio nb témoins / nb cas était plus élevé chez les non-mélanésiens (hommes: 1,5 ; femmes : 2,0) que chez les mélanésiens (hommes: 1,1 ; femmes : 0,9) [*Luce et al. 2000*]. Il est également remarquable de noter qu'aucune relation dose-effet n'était relevée : les meilleures variables pour analyser l'effet de l'exposition au *Pö* étant, d'après les auteurs, « jamais exposé » *versus* « exposé au moins une fois », quelle que soit la source (préparation du *Pö* ou résidence dans une maison badigeonnée de *Pö*) et la durée de l'exposition. La contamination aérienne de la tribu de Nédivin, où l'utilisation du

Pö était abandonnée depuis plus de 20 ans, était expliquée par l'hypothèse que le sol pouvait être contaminé par le ruissellement ancien des pluies sur les murs extérieurs.

Suite à cette étude, les autorités de santé publique de Nouvelle-Calédonie procédèrent dés 1997 à un vaste recensement des habitations recouvertes de *Pö* identifié comme « trémolitique », suivi d'une campagne de destruction et de reconstruction des « maisons trémolite ». Une cohorte des personnes exposées au *Pö* trémolitique a été constituée dans le but de mener une campagne de dépistage radiologique des anomalies pulmonaires. Au début de notre travail, en 2004, aucun résultat de ce suivi n'était encore communiqué.

1.3.3. Motivations et contexte de nos travaux

Dix ans après la fin de l'étude INSERM, de nombreuses questions restaient encore en suspens : quel est l'impact de l'amiante en Nouvelle-Calédonie ? Quelles sont précisément les régions concernées ? Quels sont les groupes (ethnie, sexe, âge) les plus touchés ? Le *Pö* explique-t-il l'ensemble des cas de mésothéliome (et l'excès éventuel de cancers broncho-pulmonaires) ou bien existe-t-il d'autres sources de contamination en Nouvelle-Calédonie ?

Le problème de l'amiante environnemental en Nouvelle-Calédonie était devenu de plus en plus préoccupant pour les autorités publiques, qu'il s'agisse de l'Etat français (indemnisation des victimes) ou du territoire calédonien (enjeux industriels et actions sanitaires). La dimension minière du pays était loin d'être étrangère à cette problématique, certaines associations la plaçant au cœur du débat. Il était donc urgent de mener des travaux approfondis, alliant l'analyse de la répartition des cancers liés à l'amiante sur le territoire à celle des différentes sources de contamination possibles.

L'enregistrement des cancers en Nouvelle-Calédonie a démarré en 1977 avec la création du Bureau des Statistiques oncologique. Les différents médecins anatomopathologistes de l'Institut Pasteur de Nouvelle-Calédonie, qui étaient les seuls à exercer en Nouvelle-Calédonie, se sont succédés pour collecter les données

parallèlement à leurs fonctions de diagnostic, avec des interruptions, parfois de plusieurs années, dues au manque de personnel disponible. L'ouverture d'un laboratoire libéral d'anatomo-cyto-pathologie en 1995 avait entrainé indirectement l'échappement d'une partie des données au registre.

Dans ce contexte, assurant le poste de responsable du service d'épidémiologie à l'Institut Pasteur de Nouvelle-Calédonie et nommée responsable scientifique du registre du cancer NC à partir de décembre 1999, j'ai consacré les premières années de ma mission à remettre en route le registre. A partir de 2002, la qualité des données du registre s'était améliorée grâce à la participation plus complète du secteur libéral, et l'incidence des cancers enregistrés se stabilisait à des taux que l'on pouvait considérer comme fiables. Cette situation permettait d'envisager de réaliser des travaux de recherche à partir des données du registre. En effet le rôle d'un registre ne se limite pas à dénombrer les malades. Après le recensement continu et exhaustif des cas incidents d'une maladie dans une population définie, il a également pour mission de réaliser les études épidémiologiques nécessaires pour la compréhension de la maladie dans la population étudiée, et utiles pour envisager des actions de santé publique (prévention, dépistage, évaluation, etc).

Plus d'une centaine de cas de cancers de la plèvre étaient enregistrés au Registre du Cancer de Nouvelle-Calédonie en 2004. Grâce à ce nombre, très largement supérieur à celui des cas inclus dans les études précédentes, des études suffisamment puissantes et fiables pouvaient être réalisées pour analyser, d'une part, la répartition géographique de la maladie et, d'autre part, les liens avec différents facteurs de risque possibles. Afin de répondre aux questions posées ci-dessus, nos travaux se sont déroulés en plusieurs étapes successives, dont les objectifs sont détaillés dans le chapitre suivant.

Chapitre 2. Objectifs et Démarche – Historique de nos travaux

« La science consiste à passer d'un étonnement à un autre »

Aristote

Les travaux qui constituent cette thèse se sont déroulés en quatre étapes principales :

- Etude de l'incidence des cancers en Nouvelle-Calédonie - Mise en évidence de la sur incidence des cancers respiratoires et des mésothéliomes
- Analyse des mésothéliomes à l'échelle de la commune - Mise en évidence des secteurs à forte incidence et étude des liens avec la géologie, le *Pö* et l'activité minière
- Enquêtes épidémiologiques et géologiques autour des cas dans les secteurs à risque élevé - Recherche des facteurs d'exposition possible à l'amiante naturel
- Etude écologique dans les 100 tribus d'un secteur englobant les zones à risque élevé – Analyse des déterminants environnementaux du mésothéliome malin pleural en Nouvelle-Calédonie

2.1. Mise en évidence de la surincidence des mésothéliomes et des cancers respiratoires en Nouvelle-Calédonie

La première étape de ma démarche était directement reliée à la mission de surveillance des cancers que j'assurais au sein de l'Institut Pasteur de Nouvelle-

Calédonie. Elle a consisté à rechercher les données concernant tous les cas incidents de cancers, calculer et analyser les incidences standardisées selon le groupe ethnoculturel et la province de résidence, à étudier leur évolution dans le temps et à les comparer aux taux métropolitains et mondiaux. Cette étape a permis de mettre en évidence les incidences particulièrement élevées des cancers respiratoires et des mésothéliomes en Nouvelle-Calédonie, mais également d'autres cancers comme ceux de la thyroïde.

Ce travail a fait l'objet d'un article paru en avril 2005 dans le Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire publié par l'Institut National de Veille Sanitaire, et intitulé : « *Registre du cancer de Nouvelle-Calédonie, bilan de 15 années de surveillance, 1989-2003* », ainsi que de rapports publiés annuellement. La plaquette résumant les 30 années d'enregistrement des cancers en Nouvelle-Calédonie, de 1977 à 2007 est présentée à la fin de cette partie.

2.2. Etude à l'échelle communale : recherche des zones à risque et des liens avec la géologie, le *Pö* et l'activité minière

Des études scientifiques ont montré la présence de fibres d'amiante dans le nickel calédonien [*Langer 1980*], d'autres dans le *Pö* utilisé pour enduire les habitations kanakes [*Luce 2000*]. Les autorités sanitaires ont mené une vaste campagne de destruction de ces maisons. Cependant certaines associations environnementales accusent l'exploitation du nickel d'être la principale responsable des cancers liés à l'amiante. De plus la bibliographie internationale révèle la présence de serpentinites dans le sol calédonien [*Guillon 1973, Lartham 1986, Lessard 1978, Pan 2005, Trescases 1975*], indiquant la possibilité d'une exposition environnementale liée à un certain contexte géologique. L'exposition à l'amiante en NC est probablement multifactorielle ; il est important de passer en revue les différentes sources possibles d'exposition afin de n'en négliger aucune et de pouvoir prendre, de la façon la plus complète possible, les mesures de protection des populations.

Afin de mieux cerner les groupes concernés par l'exposition à l'amiante, une étude cas-témoins a été conduite sur tous les mésothéliomes pleuraux confirmés histologiquement, enregistrés de 1984 à 2002 au Registre du Cancer de Nouvelle-Calédonie. L'incidence du mésothéliome par commune a été étudiée pour mettre en évidence les principaux foyers. Puis une analyse statistique incluant le recensement des cases à *Pö* trémolitique, l'activité minière et la présence de serpentinite dans le sol de la commune de résidence a été réalisée afin de rechercher les facteurs significativement associés à la répartition géographique des cas de mésothéliome.

Ce travail a fait l'objet d'un article paru en 2007 dans la revue Cancer Detection and Prevention, intitulé « Pleural mesothelioma in New Caledonia : An acute environmental concern » [*Baumann et al. 2007*].

2.3. Enquêtes épidémiologiques et géologiques autour des cas dans les deux secteurs les plus à risque

Dès 2004, un groupe de recherche a été constitué qui réunissait l'Institut Pasteur de Nouvelle-Calédonie (IPNC), le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) et l'Institut pour la Recherche et le Développement (IRD). L'équipe de recherche était constituée de Pierre Maurizot, expert senior en géologie, directeur de l'antenne BRGM de Nouvelle-Calédonie, Bernard Robineau, enseignant-chercheur en géologie de l'environnement détaché à l'IRD, Jean-Paul Ambrosi, géochimiste de l'environnement, chargé de recherche au Centre National de la Recherche Scientifique, détaché à l'IRD, et moi-même, épidémiologiste à l'IPNC et responsable scientifique du registre du cancer de Nouvelle-Calédonie. J'étais chargée de piloter l'équipe. Nous avons monté trois projets successifs qui ont été financés par le Ministère de l'Outre-Mer et complétés par le Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie. L'objectif principal était d'identifier et de hiérarchiser les sources environnementales d'exposition à l'amiante en Nouvelle-Calédonie.

La zone d'étude du premier projet englobait les communes de Houailou et Bourail, deux régions géologiquement différentes qui rassemblaient 35,3% des cas. Les objectifs de ce projet étaient :

- de mener sur le terrain des enquêtes épidémiologiques et géologiques autour de chaque cas de mésothéliome enregistré sur l'une des deux communes, afin de relever les informations concernant les différentes sources possibles d'exposition aux fibres d'amiante : histoire résidentielle des cas, histoire professionnelle, analyse et localisation du *Pö*, roches amiantifères mises à nu...

- d'échantillonner et d'analyser la minéralogie de tout matériau potentiellement amiantifère, afin de déceler et d'identifier la nature des fibres.

- de rassembler les données dans un Système d'Information Géographique, afin de construire des cartes sur lesquelles devaient figurer à la fois les données géologiques, minéralogiques et épidémiologiques. Ces cartes étaient établies dans le but d'aider à la compréhension de la survenue du mésothéliome à Houaïlou et à Bourail, ainsi qu'à l'évaluation du risque amiante environnemental sur les deux communes étudiées.

Les résultats de ces travaux ont été publiés dans le rapport *IPNC FB MOM* 2007 « *Facteurs de risque du mésothéliome en Nouvelle-Calédonie : données épidémiologiques et géologiques. Confrontation des données épidémiologiques et des données géologiques pour étudier l'étiologie du mésothéliome environnemental en Nouvelle-Calédonie : application dans les deux zones test des communes de Houailou et de Bourail.* »

Un second programme de recherche a été mené sur les communes de Koné, Touho et Poindimié. Il comprenait les volets suivants :

- enquête épidémiologique couplée à l'étude géologique dans cette seconde zone à risque identifiée par l'étude communale, afin de comparer les résultats (sources d'exposition à l'amiante, nature des matériaux amiantifères) avec ceux de l'enquête précédente,

- pose de capteurs de fibres sur les deux secteurs étudiés afin de mettre en évidence la présence de fibres dans l'air et de déterminer leur nature minéralogique.

Ce programme était complété par la mise au point d'un capteur géophysique destiné à repérer les tronçons de pistes recouverts de serpentinite.

Les résultats ont été publiés dans deux rapports :

- *L'amiante environnemental en Nouvelle-Calédonie : Confrontation des données épidémiologiques et des données écologiques dans le secteur de Koné-Touho-Poindimié, et Identification des fibres aériennes d'amiante dans les zones à risques de Houailou-Bourail. Rapport IPNC FB MOM 2008*.

- *Amiante environnemental en Nouvelle-Calédonie : Identification des fibres aériennes d'amiante dans les zones à risques de mésothéliome révélées par l'enquête épidémiologique dans le secteur de Koné-Touho-Poindimié. Rapport BRGM RP- 56198 – FR, 2008.*

2.4. Etude écologique sur les 100 tribus du secteur Houaïlou-Bourail-Poya-Koné-Poindimié-Touho-Hienghène

Ce troisième projet, financé en partie par le Ministère de l'Outre-Mer, a été réalisé après une enquête financée par le Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie sur tous les cas de mésothéliome non encore investigués lors des deux précédentes études.

Deux axes de travail étaient définis dans l'étude financée par le Gouvernement :

1) poursuite de l'enquête épidémiologique, géologique et minéralogique autour de tous les cas de mésothéliome non encore étudiés,

2) mise au point de l'utilisation d'un capteur hyperspectral en télédétection pour cartographier les minéraux fibreux.

Les résultats de ces travaux ont été publiés dans le rapport *BRGM* RP- 57103 remis au Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie en 2009 : « *Amiante environnemental en Nouvelle-Calédonie : Poursuite de l'enquête épidémio-géologique et Méthodologie d'utilisation d'un capteur hyperspectral* ».

Puis un secteur d'étude, qui englobait les deux zones déjà étudiées ainsi que deux zones connues pour la présence de trémolite, a été défini. Afin de pouvoir évaluer la part des différents facteurs révélés par les enquêtes précédentes:

- *Pö* trémolitique,
- affleurements de serpentine ou d'amphibole,
- carrières de serpentinite,
- proximité du réseau routier,
- proximité du secteur minier
- couvert végétal
- encaissement des vallées,

l'étude éco-épidémiologique a été étendue à l'ensemble des tribus du secteur d'étude, à la fois dans celles où le mésothéliome avait été enregistré et dans celles indemnes de cas.

Ce travail n'a pas pu être terminé dans le cadre de mon poste à l'IPNC, la nouvelle direction décidant d'interrompre mon contrat juste après ma dernière mission sur le terrain. Il a été cependant mené à son terme, grâce au concours du BRGM qui a continué d'assurer les analyses minéralogiques et à celui du directeur du laboratoire ERIM de l'Université de la Nouvelle-Calédonie, qui a accepté de co-diriger ma thèse (la partie géologique étant dirigée par le directeur du CNRT Nickel et son environnement). J'ai ainsi réalisé les analyses statistiques au sein de l'unité ESPACE de l'IRD, qui était mon laboratoire d'accueil pour ce travail, et rédigé l'article accepté aussitôt dans la prestigieuse revue *Environmental Health and Perspectives*, présenté à la fin du chapitre 6.

Chapitre 3. Les cancers en NC – Mise en évidence de la sur incidence des cancers liés à l'amiante

3.1. Fonctionnement du registre du cancer de Nouvelle-Calédonie

Le Registre du Cancer de Nouvelle-Calédonie recense toutes les tumeurs malignes survenant chez les résidents de Nouvelle-Calédonie, y compris celles diagnostiquées ou traitées à l'extérieur. Sont exclues : les tumeurs bénignes, les récidives et les métastases dont la tumeur primitive est connue et enregistrée. Les tumeurs malignes *in situ* sont enregistrées mais exclues de l'analyse.

Les missions du registre sont : la surveillance de l'incidence des cancers en Nouvelle-Calédonie, l'étude des différences inter-ethniques ou géographiques, l'évaluation de programmes de dépistage ou de prévention et la conduite de travaux de recherche épidémiologique. Ses objectifs se situent sur un double plan : santé publique et recherche.

En termes de santé publique, les principaux objectifs du registre concernent :

- la surveillance : détermination de l'incidence globale annuelle des cancers et des différents taux d'incidence en fonction de la localisation anatomique, du sexe, de l'ethnie, des provinces et des tranches d'âge,
- l'appui scientifique à la mise en place et à l'évaluation d'actions de prévention.

Les objectifs du registre en termes de recherche sont essentiellement :

- l'analyse des facteurs de risque liés aux modes de vie (mise en évidence des différences interethniques, analyse de la répartition géographique de certains cancers),

- la comparaison des taux d'incidence standardisés avec ceux des autres pays du Pacifique, de la France et des autres régions du monde, et l'étude des particularités propres à la Nouvelle-Calédonie.

Le registre fonctionne sous la supervision d'un Comité du Registre présidé par la Direction des Affaires Sanitaires et Sociales de la Nouvelle-Calédonie (DASS NC). Ce comité se réunit annuellement pour valider les travaux de l'année, discuter des problèmes rencontrés par le registre, et formuler des recommandations pour l'année à venir.

Les sources de données sont diverses :

- les laboratoires d'anatomo-cyto-pathologie privé et public. Tous les comptes-rendus (CR) concernant les cancers sont récupérés trimestriellement directement auprès du laboratoire du CHT de Nouvelle-Calédonie. Ce laboratoire collabore volontiers au registre et son responsable est fréquemment sollicité pour aider à l'interprétation des CR. Ceux du laboratoire libéral transitent annuellement par la DASS. Cela provoque un délai considérable (par exemple, les CR de l'année 2006 n'ont pu être récupérés qu'en fin d'année 2007), nuisible à la qualité des données;

- le laboratoire de cytologie de l'Institut Pasteur de Nouvelle-Calédonie (IPNC). Les doubles de CR sont recueillis pour les leucémies et myélomes et le responsable est consulté ponctuellement pour certaines précisions;

- les déclarations obligatoires de cancer adressées par les médecins et chirurgiens (CHT, cliniques privées, dispensaires…). Ces déclarations sont bien suivies par la plupart des services hospitaliers, suite à la mise en place d'une demande de déclaration au registre envoyée avec le CR histologique du laboratoire du CHT, et par quelques médecins libéraux seulement;

- le service des archives du CHT. La procédure est lourde, la consultation se fait sur rendez-vous, pour un nombre limité de dossiers, et les dossiers ne sont pas tous retrouvés;

- le service du contrôle médical de la CAFAT, caisse primaire d'assurance maladie, dont le fichier informatisé regroupe toutes les caisses, et les données

des Evacuations Sanitaires. Ce fichier est consulté pour vérifier et compléter les données nominatives, de résidence, dates de naissance et de décès, dernières nouvelles. Ce travail ne peut être réalisé qu'une fois par an, pour des raisons de disponibilité du personnel de ce service ;

- la base de données informatisée des analyses médicales du laboratoire de l'IPNC ;

- la base de données informatisée du CHT;

- les certificats de décès. Le fichier anonyme des certificats de décès est tenu par la DASS NC. Le croisement annuel des données n'a été accordé qu'à partir de 2007;

- les services d'état-civil des mairies. Ces services sont consultés une fois par an pour compléter et vérifier les données administratives.

3.2. Bilan de 15 années de surveillance des cancers en Nouvelle-Calédonie : de 1989 à 2003

L'article ci-après, publié en 2005 dans le Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire qui est édité par l'Institut National de Veille Sanitaire, a été rédigé après cinq années passées à remettre en route l'activité du registre et à en améliorer la qualité.

L'incidence des cancers est présentée pour l'ensemble de la période 1989-2003 selon le site et le sexe, par Province de résidence et par groupe ethnoculturel. Son évolution est étudiée pour chaque site anatomique de cancer, et les taux sont comparés avec ceux de la France et de la population mondiale.

Le risque de cancer augmente avec l'âge. Afin de pouvoir comparer les taux d'incidence entre des populations différentes, ceux-ci sont standardisés en rapportant le taux brut de cancer par tranches d'âge de 5 ans à une population de référence (voir détails en page 3 de la publication « *Registre du Cancer de Nouvelle-Calédonie : données 2007 – 30 années d'enregistrement des cancers en Nouvelle-*

Calédonie »). La population choisie est la population mondiale qui sert de référence pour les taux publiés par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), le Centre International de la Recherche sur le Cancer (CIRC) et l'International Association of Cancer Registries (IACR). Les données décrivant la population calédonienne proviennent des recensements de 1989 et de 1996, et des estimations pour les années intermédiaires réalisées par l'Institut Territorial de la Statistique et des Etudes Economiques (ITSEE, devenu ISEE suite à l'Accord de Nouméa).

Sur l'ensemble des 15 années étudiées, les trois principaux sites de cancers chez les hommes sont les cancers respiratoires (26,3% de l'ensemble des cancers masculins), les cancers digestifs (20,6%) et les cancers génitaux (14,3%). Les principaux sites de cancers chez les femmes sont : le sein (21,2%), les organes génitaux (18,8%) et la thyroïde (18,5%). Comparés à ceux de la France et du monde, les taux d'incidence des cancers de la thyroïde et des mésothéliomes sont remarquablement élevés en Nouvelle-Calédonie. L'augmentation générale des cancers est probablement due à un meilleur dépistage, en particulier pour les cancers cutanés, les cancers du sein et les cancers de la prostate.

Le nombre annuel de cas de mésothéliomes est comparable dans les deux sexes (4,1 cas moyens par an chez les hommes et 3,6 chez les femmes), indiquant une exposition non professionnelle à l'amiante. La Province Nord présente des taux d'incidence annuelle trois à quatre fois plus élevés que les autres provinces : 10,8 nouveaux cas annuels pour 100 000 hommes et 12,2 pour 100 000 femmes, soit un ordre de grandeur valant 100 fois celui de l'incidence mondiale. De la même façon, le taux d'incidence des cancers respiratoires est deux à trois fois plus élevé en Province Nord pour les femmes. Le groupe des mélanésiens présente le risque de mésothéliome le plus important pour les deux sexes.

En conclusion, sur l'ensemble de la période 1989-2003, les cancers respiratoires et les mésothéliomes présentent des incidences remarquablement élevées en Nouvelle-Calédonie dans les deux sexes, particulièrement en Province Nord et chez les Mélanésiens, confirmant une probable exposition environnementale à l'amiante.

bulletin épidémiologique hebdomadaire

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Institut de veille sanitaire

BEH

Epidémie de trichophyties cutanées chez les judokas, pôle France d'Orléans, octobre 2004 - avril 2005 p. 171

n° 34/2005

30 août 2005

Registre du cancer de Nouvelle-Calédonie, bilan de 15 années de surveillance, 1989-2003

Francine Baumann, Yannick Rougier

Institut Pasteur de Nouvelle-Calédonie, Nouméa

INTRODUCTION

La Nouvelle-Calédonie est un pays français d'Outre-Mer situé dans le Pacifique Sud. Le territoire est divisé en Province Nord, Province Sud, et Province des Iles Loyautés, où vivent différents groupes ethno-culturels : mélanésiens (44,1 %), européens (34,1 %), wallisiens (9,0 %), tahitiens (2,6 %), vietnamiens (1,4 %), etc. La population a été estimée en 2003 à 220 000 habitants [1] dont la moitié a moins de 25 ans, avec un taux d'accroissement naturel de 16 pour 1 000.

L'enregistrement des cancers existe depuis 1977. En 1995, la gestion du Registre est confiée à l'Institut Pasteur de Nouvelle-Calédonie et depuis 1998, le Registre est qualifié par le Comité national des registres.

Cet article fait le point sur les 15 dernières années d'enregistrement. Après l'analyse des données selon le groupe ethnoculturel et la province de résidence, est présentée l'évolution des incidences annuelles selon le sexe et le site anatomique, puis leur comparaison avec les données françaises et mondiales.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les cas inclus sont les tumeurs malignes chez les résidents de Nouvelle-Calédonie, y compris celles prises en charge en dehors du territoire. Sont exclues les récidives et les métastases dont la tumeur primitive est connue ; les tumeurs in situ ne participent pas à l'analyse. Les cancers cutanés basocellulaires et spinocellulaires sont inclus, mais analysés séparément des mélanomes.

Les données recueillies concernent : le site du cancer, des données démographiques (sexe, âge, groupe ethnoculturel, commune de résidence, activité professionnelle), la consommation de tabac, le type histologique, l'extension du cancer, l'existence d'un cancer antérieur connu, le traitement et la date du décès.

Les règles de codage topographique et morphologique suivies sont celles préconisées par le Circ selon la classification CIM10. L'enregistrement informatique se fait de façon anonyme à l'aide du logiciel Canreg3 du Circ, et l'exploitation statistique annuelle est réalisée avec EpiInfo6fr.

Les données proviennent de trois sources : les comptes-rendus anatomocytopathologiques (recueil actif), les feuilles de déclaration remplies par les médecins (recueil passif), et les listes des médecins référents fournies annuellement par la Cafat (unique assurance maladie en Nouvelle-Calédonie). Un contrôle de qualité est effectué avant l'enregistrement informatique pour éliminer les doublons, puis un second contrôle est réalisé par Canreg avant validation du cas.

Tous les résidents sont pris en charge par la Cafat ou par l'Aide médicale gratuite. Peuvent échapper au Registre, les patients n'ayant accès à aucune structure de soins et pris en charge par les voies coutumières ; ils restent exceptionnels car de nombreux dispensaires sont répartis sur l'ensemble de la Nouvelle-Calédonie.

Les données de description de la population ont été obtenues à partir des deux derniers recensements officiels (1989 et 1996) et des estimations fournies par l'Institut de la statistique et des études économiques. Pour des raisons d'exhaustivité, les taux d'incidence standardisée à la population mondiale ont été comparés à ceux de la France et du monde d'après les données 2003.

RÉSULTATS

Situation transversale sur la période globale 1989-2003 (tableau 1)

De 1989 à 2003, 6 103 déclarations ont été validées, soit 407 cancers annuels en moyenne, dont 51,2 % chez les hommes. Le taux d'incidence standardisé à la population mondiale pour l'ensemble des cancers est plus élevé chez les hommes (275,6) que chez les femmes (242,6).

Les cancers féminins les plus fréquents sont le sein (21,2 %), l'utérus et les ovaires (18,8 %) et la thyroïde (18,5 %).

Chez les hommes prédominent les cancers des poumons (26,3 %), digestifs (20,6 %), de la prostate et des testicules (14,3 %).

Les cancers sont diagnostiqués plus tôt dans la vie, chez les femmes (moyenne : 56,8 ans, contre 63,2 ans pour les hommes), en particulier les cancers de la thyroïde (à partir de 20 ans), de l'utérus (à partir de 25 ans) et du sein (à partir de 30 ans).

Analyse selon le groupe ethnoculturel (figure 1)

Chez les hommes l'incidence standardisée globale des cancers est beaucoup plus importante pour les européens : 303,5. Ceux-ci pré-

Tableau 1

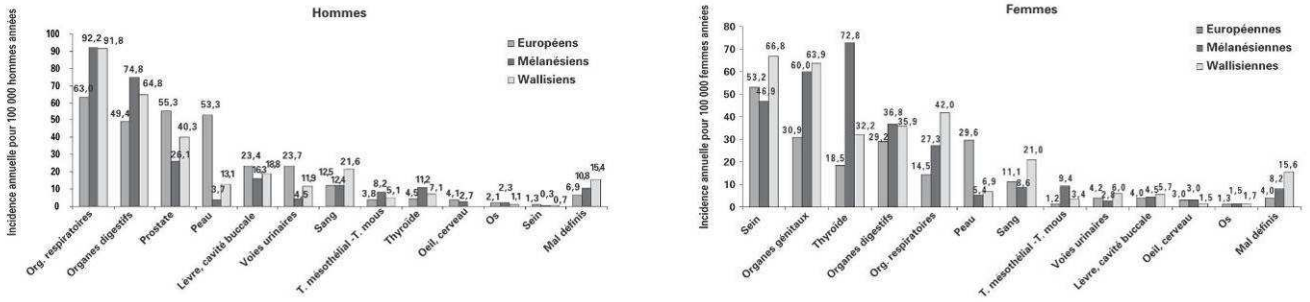
Nombre moyen annuel de cas incidents et taux standardisés à la population mondiale, pour 100 000 personnes années, par province, par localisation et par sexe, Nouvelle-Calédonie, 1989-2003

	Hommes			Incidences par province				Femmes			Incidences par province			
Topographie	Nombre moy/an	%	Taux incidence	Sud	Nord	Iles	Province inconnue	Nombre moy/an	%	Taux incidence	Sud	Nord	Iles	Province inconnue
Lèvre, cavité buccale	15,7	7,5	19	13,8	10,2	**17,6**	25,90 %	3,3	1,7	3,7	2,7	3	4,2	24,20 %
Organes digestifs	43,1	20,6	57,4	37	44,8	**84**	28,50 %	25,4	12,7	32,5	22	23,5	**39,3**	26,00 %
Organes respiratoires	54,9	26,3	73	48,5	62,3	**96,9**	22,80 %	16,7	8,4	22,3	10,8	**27,9**	17,2	25,90 %
Os, cartilage articulaire	1,9	0,9	2,1	1,5	2,2	1,8	38,60 %	1,3	0,7	1,3	1	1,6	0,6	30,80 %
Peau	20,7	9,9	26,9	**29,4**	11,9	3,4	16,10 %	13,5	6,8	15,4	**16,2**	8,6	1,4	19,30 %
Tissus mésothéliale -T. mous	4,1	2	5,1	4,3	**10,8**	2,7	9,80 %	3,6	1,8	4,4	3,1	**12,2**	4,9	16,70 %
Sein	0,7	0,3	0,9	0,7	0,5	0	28,60 %	42,4	21,2	51,8	**39,6**	**40,5**	29,1	21,20 %
Organes génitaux	29,8	14,3	42,9	**22,8**	**26,4**	12,5	46,30 %	37,5	18,8	45,1	28,3	**47,6**	**51,6**	32,30 %
Voies urinaires	11	5,3	14,6	10	8	6	35,10 %	3,1	1,6	3,9	2,9	1,1	2	32,30 %
Oeil, cerveau	2,5	1,2	2,8	2,7	1,4	2,1	21,30 %	2,4	1,2	2,7	2,1	3	4,1	13,90 %
Thyroïde	6	2,9	7	4,1	6,8	**14,5**	17,80 %	36,9	18,5	42,2	21,3	47,4	**96,1**	19,10 %
Site mal défini ou indéfini	8,9	4,3	9	4,4	9,7	9,8	9,00 %	5,1	2,6	6,3	2,2	6,3	5,5	18,30 %
Sang	12,4	5,9	14,5	9,8	5,1	10,6	16,70 %	8,6	4,3	10	6,6	5,4	7	10,80 %
TOTAL	**209**	**100**	**275,6**	**189**	**200,1**	**261,8**	**26,60 %**	**199,8**	**100**	**242,6**	**159,8**	**228,1**	**263**	**21,50 %**

La publication d'un article dans le *BEH* n'empêche pas sa publication ailleurs. Les articles sont publiés sous la seule responsabilité de leur(s) auteur(s) et peuvent être reproduits sans copyright avec indication de la source.

Figure 1

Incidences annuelles moyennes standardisées à la population mondiale par site selon le groupe ethnique, hommes et femmes, Nouvelle-Calédonie, 1989-2003



sentent les taux les plus élevés de cancers de la prostate (55,3) et de la peau (53,3). Les mélanésiens présentent le taux global le plus faible : 261,6. Le taux d'incidence globale des wallisiens est intermédiaire : 292,2.

Les cancers de la peau concernent presque exclusivement les européens, et les cancers de la prostate sont deux fois plus fréquents dans ce groupe. Les cancers digestifs et respiratoires sont plus importants chez les mélanésiens et les wallisiens.

Chez les femmes l'incidence standardisée globale des cancers est plus importante dans le groupe des wallisiennes : 302,8 et des mélanésiennes : 286,4 (européennes : 204,5). L'incidence des cancers du sein et des cancers respiratoires est plus élevée chez les wallisiennes ; celle des cancers de l'utérus et des cancers digestifs chez les mélanésiennes et les wallisiennes. Les cancers cutanés ne sont importants que pour les européennes. Le cancer de la thyroïde concerne en majorité les mélanésiennes, c'est le premier cancer dans ce groupe (72,8). Ce cancer figure parmi les trois cancers les plus fréquents chez la femme en Nouvelle-Calédonie depuis 1995.

Analyse selon le site et la province de résidence (tableau 1)

L'incidence standardisée pour chaque province est sous-estimée de 25 %, car le lieu de résidence manque dans 25 % des déclarations.

La Province des Iles présente des incidences plus importantes des cancers de la thyroïde (femmes : 96,1), pulmonaires (hommes : 96,9) et digestifs (hommes : 84,0 ; femmes : 39,3). Le mésothéliome est 3 à 5 fois plus incident en Province Nord (hommes : 10,8 ; femmes : 12,2). Les incidences des cancers de la peau sont plus élevées en Province Sud, celles des cancers du sein et de la prostate dans les provinces Nord et Sud.

Evolution globale sur la période 1989-2003 (figure 1)

Les taux d'incidence standardisés à la population mondiale sont globalement plus élevés chez l'homme, avec une augmentation de + 26,5 % chez les hommes et + 25,5 % chez les femmes.

De 1995 à 2002, la chute de l'incidence, qui touche un peu plus les cancers masculins, correspond à un défaut de déclaration dans le secteur libéral.

Evolution selon le site anatomique (tableau 2)

Alors que l'incidence des cancers digestifs diminue, l'augmentation concerne certains cancers : peau (X10), prostate (X3), thyroïde (X3) et sein (X1,5).

Comparaison des taux 2003 d'incidence standardisée à la population mondiale (tableau 2) avec ceux de la France et du monde [2]

Thyroïde : depuis 1995 plus de 50 cas sont enregistrés chaque année. L'incidence vaut 6 à 15 fois les taux mondiaux (hommes : 1,3 ; femmes : 3,4) et 3 à 7 fois les taux français (hommes : 2,3 ; femmes : 7,4). Les femmes mélanésiennes des Iles et de la côte Est présentent un risque relatif 3 fois plus élevé que les autres.

Mélanomes malins cutanés : leur incidence vaut 2,5 à 4 fois celle du monde (hommes : 2,8 ; femmes : 2,6).

Sein : leur incidence est proche de celle de la France (91,9), et le double de la population féminine mondiale (37,4). Elle est moins élevée dans la Province des Iles, probablement en raison d'un mode de vie plus traditionnel.

Utérus et ovaires : leur incidence est le double des taux français (30,4) et mondiaux (29,3). Les cancers du col de l'utérus représentent 50 % des cas, les cancers de l'endomètre 30 %, et les cancers de l'ovaire 20 %. Le groupe à plus fort risque est celui des mélanésiennes : incidence 71,5.

Mésothéliomes : l'incidence standardisée chez les hommes est 3 fois plus élevée que dans le reste du monde (1,7) et 20 fois plus chez les femmes (0,2). Les taux égaux dans les deux sexes signent un problème environnemental [3] ; une étude a montré que le mésothéliome était lié à la présence dans le sol d'une roche pouvant contenir de la trémolite [6].

Poumon : bien que tous les groupes soient touchés, le risque est

Tableau 2

Evolution de l'incidence standardisée des cancers pour 100 000 personnes années selon le site et le sexe, Nouvelle-Calédonie, 1989-2003

HOMMES	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Oro-Pharynx	18,9	17,8	29,6	17,7	24,6	11,7	18,2	20,2	18,6	23,5	26,9	16,6	14,4	12,7	16,4
Organes digestifs	91,4	85,5	59,0	70,4	69,8	53,2	52,3	63,4	44,4	50,1	47,7	31,3	29,9	47,0	64,6
Organes respiratoires	67,4	96,1	94,3	84,2	92,4	103,4	115,9	58,8	80,1	56,1	58,8	53,2	29,2	60,8	66,4
Os et cartilage	1,1	2	2,1	4	-	4,0	3,8	1,7	2,3	2,7	3,0	0,9	0,9	0,9	2,2
Peau	8,1	4,7	9,4	6,1	21,8	11,0	17,3	7,4	15,0	16,5	14,5	37,5	60,9	83,7	49,6
Mésothéliome	4,3	4,6	6,1	8,1	1,4	4,4	8,0	6,7	2,4	9,0	8,6	5,8	1,3	2,9	3,1
Sein	-	2,0	2,0	1,9	-	-	-	-	-	2,7	1,1	-	-	1,3	3,0
Génital	23,8	33,6	40,2	35,8	17,8	28,0	48,1	38,8	48,9	37,8	34,4	34,5	15,2	73,3	97,6
Voies urinaires	18,5	17,3	26,6	24,4	18,3	11,1	16,9	16,7	14,6	9,4	14,5	7,4	4,3	10,8	14,7
Oeil, cerveau	5,1	2,1	9,8	1,5	4,3	4,0	2,8	3,1	2,2	0,9	4,6	-	1,8	14,1	0,9
Thyroïde	-	2,4	7,8	3,6	7,6	7,9	13,8	10,7	5,0	15,8	4,1	2,8	3,2	7,9	9,2
Tissus hématologiques	29,2	8,8	16,0	12,6	14,4	11,3	18,5	27,3	14,0	14,7	20,1	10,7	1,3	11,9	5,6
Site mal défini	1,4	8,6	13,1	12,5	14,3	19,8	11,0	13,0	5,0	14,0	5,5	3,5	3,9	5,9	7,0
TOTAL	**269,9**	**285,5**	**316,0**	**282,8**	**286,8**	**269,1**	**336,4**	**267,9**	**254,7**	**252,9**	**243,9**	**204,3**	**166,4**	**322,9**	**341,4**

FEMMES	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Oro-Pharynx	1,8	6,7	4,1	5,6	4,7	5,2	6,2	7,4	7,2	0,9	1,1	2,1	1,0	5,4	3,9
Organes digestifs	41,1	32,5	42,5	55	30,6	45,8	30,0	44,8	30,2	38,0	26,5	24,6	12,3	24,1	26,6
Organes respiratoires	20,2	23,2	16,4	23,1	27,2	28,0	25,5	14,8	21,0	25,0	28,7	27,7	7,3	23,2	18,2
Os et cartilage	-	-	1,6	0	1,1	1,0	0,9	2,6	2,9	2,7	1,9	1,8	-	2,7	0
Peau	4,2	5,0	3,9	7,0	6,9	13,4	8	5,2	7,4	5,6	16,2	12,5	50,9	40,6	25,6
Mésothéliome	3,6	3,9	8,0	4,4	5,5	7,1	8,7	4,9	0,9	2,2	1,0	6,4	0	6,1	4,4
Sein	52,5	47,1	45,4	50,7	52,9	50,9	64,6	58,7	56,8	43,7	26,9	49,1	24,4	61,5	72,4
Génital	48,4	50,4	65,4	44,6	36,2	47,1	51,7	57,0	44,8	55,5	41,2	37,1	13,0	43,5	79,6
Voies urinaires	5,4	2,4	1,6	3,4	2,7	4,3	3,0	4,0	4,6	3,9	5,7	3,4	2,1	2,0	9,4
Oeil, cerveau	7,7	4,3	6,2	4,0	1,1	7,0	0	3,1	1,1	4,2	0	0,7	1,0	0,9	1,1
Thyroïde	15,9	25,3	23,6	23,6	38,3	28,1	59,9	62,8	58,2	68,3	54,8	40,3	34,7	40,0	43,6
Tissus hématologiques	11,1	10,3	11,9	23,6	13,5	9,8	7,2	10,4	11,7	7,8	7,1	12,3	6,6	6,6	5,1
Site mal défini	-	7,8	9,7	11,5	3,5	10,9	9,0	1,4	5,3	6,5	4,2	2,5	5,0	9,1	7
TOTAL	**211,9**	**219,0**	**240,2**	**253,7**	**224,4**	**258,4**	**274,8**	**277,0**	**252,0**	**264,2**	**215,2**	**220,7**	**158,1**	**265,4**	**266,0**

plus élevé chez les wallisiens : hommes 152,2, femmes 75,8. En France, les taux d'incidence sont de 52,6 pour les hommes et 8,8 pour les femmes ; dans le monde : hommes 35,5, femmes 12,1. Oro-pharynx : l'incidence est plus élevée chez les européens : hommes 23,3, femmes 7,2. Les taux sont plus importants qu'en France (hommes : 14,8, femmes : 2,7) et dans le reste du monde (hommes : 6,3, femmes : 3,2).
Prostate : l'incidence vaut deux fois le taux français (59,3) et quatre fois celui du monde (25,3).

DISCUSSION

Le Registre du cancer de Nouvelle-Calédonie a pour principal objectif la qualité. En 1995, l'ouverture d'un laboratoire privé d'anatomocytopathologie avait entraîné la non transmission d'une partie des données. Depuis 2002, la collaboration des médecins de ce laboratoire a permis au Registre d'améliorer son exhaustivité.
Les données montrent une constante progression des cancers. Cette augmentation peut être attribuée à une meilleure exhaustivité, à l'augmentation et au vieillissement de la population, à la modification du risque et à l'évolution des pratiques médicales. Les cancers sont diagnostiqués à un stade plus précoce : moins de 25 % ont été dépistés à un stade d'envahissement ganglionnaire ou métastatique en 2003, alors que les stades avancés constituaient près de 60 % de l'ensemble des cancers jusqu'en 1997 [4, 5].
Les risques de cancer sont différents selon les groupes ethnoculturels, probablement liés aux modes de vie (alimentation, tabac, habitat, accès aux soins ...) et à des facteurs génétiques. Le groupe européen est plus touché par les cancers de la prostate et les cancers cutanés. Les mélanésiens présentent les taux d'incidence les plus importants de cancers du poumon, de la thyroïde et de l'utérus. Le groupe wallisien se présente de façon intermédiaire avec une forte incidence des cancers digestifs.
Certains cancers sont liés à des facteurs locaux, tel le mésothéliome en Province Nord. Dans les Iles Loyautés, où les habitants possèdent souvent leurs propres plantations (tabac, voire cannabis), les cancers du poumon présentent la plus forte incidence. De même, les cancers de la thyroïde et les cancers de l'estomac sont plus incidents chez les Loyaltiens. La Province Sud, majoritairement habitée par les groupes non mélanésiens, est plus concernée par les cancers cutanés et les cancers du sein.

CONCLUSION

Les particularités ethniques et géographiques de la Nouvelle-Calédonie confèrent à son Registre un intérêt épidémiologique particulier. La mise en évidence des facteurs de risque environnementaux, ou liés au mode de vie, permet de mener des actions de santé publique : une étude épidémiologique sur l'étiologie des cancers de la thyroïde a été réalisée par l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (analyses en cours).
Une étude de risque du mésothéliome menée en 1994 [3] a mis en évidence le rôle d'une chaux locale (le « Pö ») ; les autorités sanitaires ont lancé un programme de destruction des habitations concernées. En 2004 une étude cas-témoins de l'Institut Pasteur [6] a montré l'insuffisance du Pö à expliquer tous les cas, et la concentration de cette maladie dans certaines régions minières. Un projet de recherche sur ce sujet, mené conjointement par l'Institut Pasteur de Nouvelle-Calédonie, l'Institut de recherche pour le développement et le Bureau de recherche géologique et minière, est financé par le ministère de l'Outre-Mer.

RÉFÉRENCES

[1] Ahmed-Michaux P et Roos W, Images de la population de la Nouvelle-Calédonie, Principaux résultats du recensement 1996, Démographie Société, 1997 ; 55.
[2] Ferlay J, Bra F, Pisani P and Parkin DM, GLOBOCAN 2002, Cancer Incidence, Mortality and Prevalence Worldwide, IARC 2003.
[3] Luce D, Bugel I, Goldberg P, Goldberg M, Salomon C, Billon-Galland MA, Nicolau J, Quénel P, Faverotte J and Brochard P, Environmental Exposure to Tremolite and Respiratory Cancer in New Caledonia : A Case-Control Study, Am. J. Epidemi., 2000, 151 : 259-65.
[4] F. Baumann, Rapport 2003 du Registre du cancer de Nouvelle-Calédonie, 2004.
[5] F. Baumann, Rapport 2004 du Registre du cancer de Nouvelle-Calédonie, 2005.
[6] F. Baumann et Y . Rougier, Risk factors of Mesothelioma in New Caledonia : the role of environmental exposure to Tremolite, 26e congrès de l'IARC (International Association of Cancer Registries), Pékin, 2004.

3.3. Etat des lieux des cancers en Nouvelle-Calédonie en 2007 et évolution sur les 30 dernières années

L'année 2007 marquait le trentième anniversaire de l'enregistrement des cancers en Nouvelle-Calédonie. Pour cette occasion, une plaquette spéciale a été éditée et largement distribuée au corps médical calédonien, aux autorités ainsi qu'à la Ligue contre le Cancer afin de diffuser l'information sur l'incidence des cancers en Nouvelle-Calédonie. Cette plaquette remplaçait le rapport annuel du registre, beaucoup plus copieux, moins facilement abordable et donc probablement peu utilisé. Un effort a été fait afin de rendre la présentation des données plus attrayante.

Ce travail était le fruit de l'équipe que j'encadrais au registre : la secrétaire du registre, une épidémiologiste junior et moi-même ; il a bénéficié de la relecture de l'épidémiologiste de la DASS NC. L'historique du registre était présenté par le Dr Rougier, ancien chef du laboratoire d'anatomo-cyto-pathologie de l'IPNC et

fidèle collaborateur au registre.

Suite à un audit réalisé en 2007, une démarche qualité avait été entreprise afin d'améliorer les données (p.2 de la plaquette). Les procédures ont été rédigées et les données antérieures vérifiées. L'audit avait en outre permis d'ouvrir les portes de nouvelles sources de données, en particulier celles du registre des décès tenu par la DASS NC. Ces données anonymes ne permettaient pas de récupérer de nouveaux cas de manière fiable mais, combinées à celles récupérées auprès de la CAFAT et des services d'état-civil des mairies, elles ouvraient enfin la possibilité de mettre en route des études de survie des cancers. Une étude de la survie des cancers broncho-pulmonaires en Nouvelle-Calédonie est présentée en p. 11 de la plaquette.

Pour l'année 2007, les principaux cancers chez les hommes étaient les cancers génitaux (32,4% de l'ensemble des cancers masculins), les cancers respiratoires (17,5%), et les cancers digestifs (16,8%). Chez les femmes prédominaient les cancers du sein (28,6%), les cancers génitaux (14,9%) et les cancers digestifs (12,9%). L'incidence standardisée des cancers respiratoires était de 60 pour 100 000 hommes années et de 20 pour 100 000 femmes années, soit une légère décroissance par rapport aux taux enregistrés sur la période 1989-2003.

L'étude de l'évolution sur 30 années montrait une forte progression des cancers du sein, de la prostate et de l'utérus, déjà notée lors de l'étude précédente, et reflétant probablement une activité de dépistage plus soutenue de la part des médecins. Les taux d'incidence des cancers des tissus mous, majoritairement représentés par les mésothéliomes, se situaient pour l'ensemble de la période 1978-2007 entre 2 et 5 nouveaux cas pour 100 000 habitants dans les deux sexes, sans marquer d'évolution. L'incidence des cancers broncho-pulmonaires était plus élevée chez les hommes et les femmes de la Province Nord.

En conclusion, l'étude des cancers sur les trente années d'enregistrement montre la sur incidence des cancers respiratoires et des mésothéliomes malins dans les deux sexes en Nouvelle-Calédonie, confirmant une exposition environnementale à l'amiante, particulièrement en Province Nord. Le nombre annuel de mésothéliomes enregistrés reste stable, alors que les cancers respiratoires présentent un léger déclin sur les dix dernières années.

Registre du cancer de Nouvelle-Calédonie : bilan des données 2007

30 années d'enregistrement des cancers en Nouvelle-Calédonie: 1977 –2007

Institut Pasteur de Nouvelle-Calédonie

BP 61—98845 NOUMEA cedex

Tel : (687) 27.36.34

Francine BAUMANN, épidémiologiste, responsable scientifique du registre

fbaumann@pasteur.nc

Élodie MAGNAT épidémiologiste

Rachèl DAMBREVILLE secrétaire médicale,

Sylvie LAUMOND-BARNY, médecin épidémiologiste DASS-NC

GOUVERNEMENT DE LA NOUVELLE CALÉDONIE

Note du Comité du Registre : les résultats synthétiques du registre sont annuellement présentés au moyen de cette plaquette. Les données sont également disponibles sur les sites de l'IPNC et de la DASS NC. Un rapport plus détaillé sera édité périodiquement.

Historique et Fonctionnement du Registre

L'histoire du registre, de 1977 à 1999

par le Dr Yannick Rougier, médecin anatomopathologiste à l'IPNC de 1998 à 2007

Le Bureau des Statistiques oncologiques a été créé le 1er janvier 1977 à la Direction du Service de Santé et de l'Hygiène Publique de la Nouvelle Calédonie et Dépendances. La gestion du fichier du cancer a été confiée au laboratoire d'anatomie-pathologique de l'IPNC.

La mise à jour du fichier s'est arrêtée en 1981 par manque de personnel disponible pendant trois années. En 1985, le Directeur de l'Institut Pasteur à Nouméa (Dr J.P. Moreau) a proposé de reprendre la gestion de ce fichier, qui est devenu Registre du cancer, avec l'approbation du Directeur Territorial des Affaires Sanitaires et Sociales. Il a été tenu par le Dr M.C. André, puis par le Dr D. Dubourdieu à partir de juin 1986, qui a participé activement à l'information sur l'utilité du dépistage du cancer du col de l'utérus par frottis.

L'arrivée d'un second anatomopathologiste en 1987, puis l'informatisation du Registre en avril 1989 avec l'installation du logiciel CANREG par le Centre International de la Recherche contre le Cancer, et la collaboration temporaire d'un médecin-épidémiologiste de la Commission du Pacifique Sud, F. Bach, ont facilité l'étude épidémiologique des cancers (400 cas-année enregistrés). Les analyses ont fait ressortir la fréquence élevée des cancers pleuro-pulmonaires chez l'homme, du sein chez la femme, l'incidence très élevée des cancers de la thyroïde et du col de l'utérus chez la femme mélanésienne, du cancer colorectal chez l'homme et la femme européens. En 1993, les données du Registre ont suscité une étude de l'INSERM sur les mésothéliomes pleuraux, puis en 1997 sur les cancers de la thyroïde

En 1996, le départ d'un anatomo-pathologiste a rendu la gestion du Registre très problématique jusqu'à l'embauche d'un médecin-épidémiologiste vacataire d'avril 1998 à mars 1999, puis d'une épidémiologiste-biostatisticienne nommée responsable scientifique du registre depuis décembre 1999.

Fonctionnement

L'article 5 de la délibération N° 491 du 11 août 1994 a rendu obligatoire la déclaration des nouveaux cas de cancer. Depuis 2008, une modification de la délibération prévoit que tout médecin ayant connaissance du cancer doit le déclarer.

La gestion du registre a été confiée officiellement à l'Institut Pasteur de Nouvelle-Calédonie en 1998; ses missions et obligations sont: le recueil des données, leur analyse et la conduite de travaux de recherche. Le financement est assuré par une subvention du Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie. Le registre a obtenu l'autorisation relative au traitement automatisé d'informations nominatives par la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) en 1999. Il a été qualifié de 1998 à 2008. Un Comité du registre se réunit annuellement pour valider le travail du registre, donner les futures orientations et aider le registre à résoudre les problèmes rencontrés.

Critères d'inclusion : toute tumeur maligne chez un patient résident en Nouvelle-Calédonie depuis au moins 6 mois au moment du diagnostic.

Sont exclues : les tumeurs bénignes, les récidives et les métastases d'un cancer dont la tumeur primitive est connue et enregistrée.

Les tumeurs malignes *in situ* sont enregistrées mais exclues de l'analyse. Les tumeurs cutanées autres que mélanomes sont analysées séparément.

Sources d'information: les laboratoires d'anatomo-cytopathologie, le laboratoire de biologie médicale de l'IPNC, les déclarations et compléments d'information fournis par les médecins, le contrôle médical de la CAFAT, le service des archives du CHT, le service de radiothérapie à Sydney, les certificats de décès.

Objectifs

L'objectif principal est le recensement continu, exhaustif et nominatif des cas de cancer dans la population de Nouvelle-Calédonie.

Santé publique : surveillance épidémiologique des cancers (fréquence, gravité, évolution en fonction de la localisation anatomique et des caractéristiques socio-démographiques), évaluation de programmes de prévention et de la prise en charge thérapeutique.

Recherche : étude des particularités de la NC, analyse de facteurs de risque liés aux modes de vie.

Les faits marquant 2008

703 cancers invasifs ont été enregistrés pour l'année 2007 : 392 chez les hommes, 311 chez les femmes.

Enregistrement des données 2007

En raison du délai entre le diagnostic du cancer et la complétude du dossier, l'analyse et la publication se font à l'année n+2.

Démarche qualité réalisée en 2008

La démarche qualité entreprise à la suite des résultats de l'audit de 2007 a été poursuivie, avec notamment:

- Ecriture des procédures:
  - recueil et validation des données pour un cas
  - recherche des doublons
  - classification des tumeurs
  - enregistrement des cancers multiples
  - recherche du statut vital
- Vérification des données administratives auprès du service du Contrôle Médical de la CAFAT, des services d'état -civil des mairies, des données du CHT et du laboratoire médical de l'IPNC.
- Contrôles du codage et de la saisie : 18 % des dossiers 2007 ont été contrôlés. Le taux d'erreurs de codage est <1% pour toutes les rubriques sauf le stade (5%). La procédure de codage du stade a été améliorée, en particulier concernant les extensions régionales. Il n'a été relevé aucune erreur de saisie sur les données 2007.
- Reprise des dossiers antérieurs dans la base nominative de CANREG4 : 30% des dossiers ont été revus et saisis, ce qui a permis de retrouver et d'éliminer une vingtaine de doublons
- Croisement des données avec celles du registre des décès
- Retour aux dossiers cliniques : 91% des cancers broncho -pulmonaires et 46% des cancers du col de l'utérus

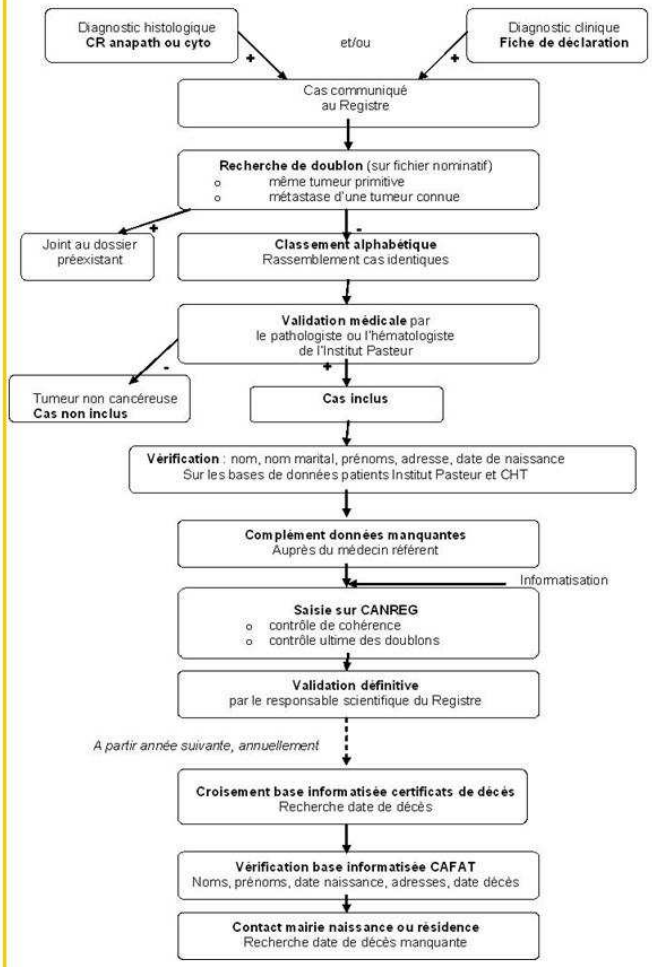
Amélioration de la qualité des données

Le rapprochement avec le fichier des certificats de décès à la DASS NC, les données administratives de la CAFAT et des services d'état-civil des mairies a permis d'améliorer la connaissance du statut vital ainsi que la qualité des données administratives.
Suite à l'évolution de CANREG 4 (données nominatives, nombre de sources, TNM), la mise à jour de la base antérieure sera terminée à la fin de l'année 2009.

Nouvelles sources de données

- Le service des archives du CHT
- La Médecine du Travail
- Le service de radiothérapie à Sydney

Schéma du recueil et de la validation d'un cas



Evaluateurs de la qualité des données

- Nb moyen de sources par cas 2008 = 2,5.
- Confirmation histologique = 100%, sauf pour :
  - les cancers du foie (56%),
  - les cancers du pancréas (67%),
  - les lymphomes et leucémies (59%).

Travaux de recherche en cours

- Facteurs d'exposition environnementale à l'amiante.
- Etude de survie sur les cancers broncho-pulmonaires.
- Evaluation de la campagne de dépistage du cancer du col de l'utérus.

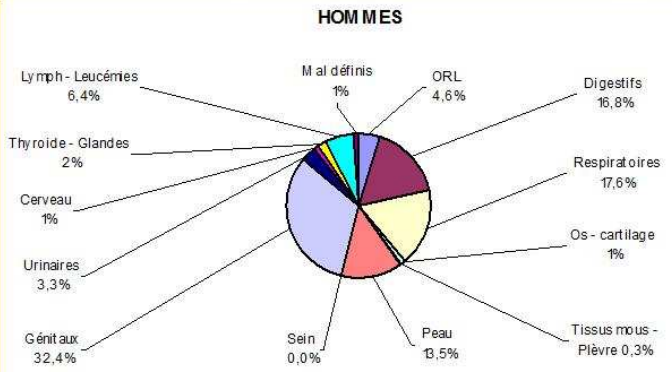
Perspectives

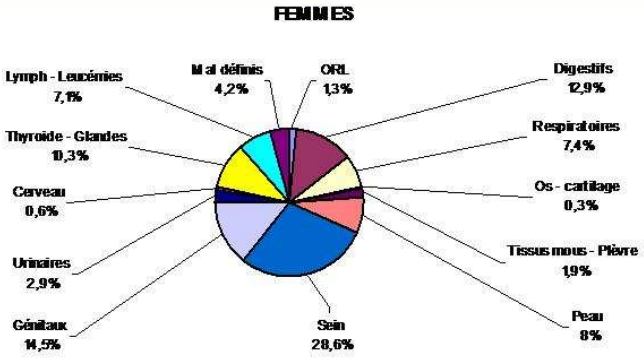
- Poursuite de la mise à jour nominative et de la recherche de doublons sur les données antérieures à 2005
- Analyses selon la couverture sociale
- Utilisation de marqueurs tumoraux pour rechercher des nouveaux cas
- Participation du réseau pluridisciplinaire ONCO NC: amélioration de la stadification, recueil du traitement et de cas sans histologie
- Nouvelle évolution de la base prévue fin 2009 : enregistrer les différentes sources pour chaque cas

Présentation orale au 30ème Congrès scientifique de l'International Association of Cancer Registries, Sydney

F. Baumann, V. Rouleau, M. Barbiez-Bejan. *Cutaneous Malignant Mesothelioma in New Caledonia : Incidence and Histological data by Gender, Age and Ethnicity, 1989-2007*.

Répartition selon le site (groupes CIM 10) et le sexe des cancers enregistrés en 2007





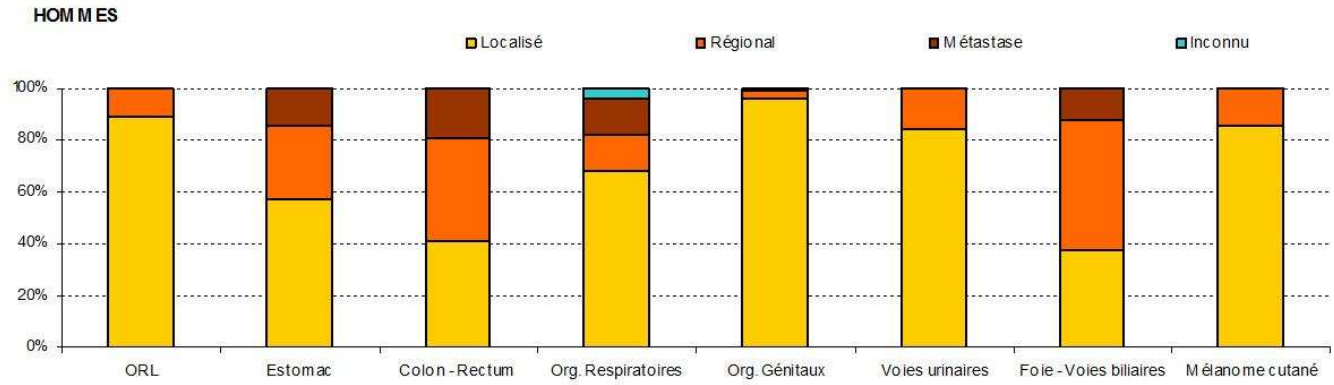
NB : sur ces figures, le groupe des cancers cutanés regroupe les mélanomes, les cancers basocellulaires et spinocellulaires.

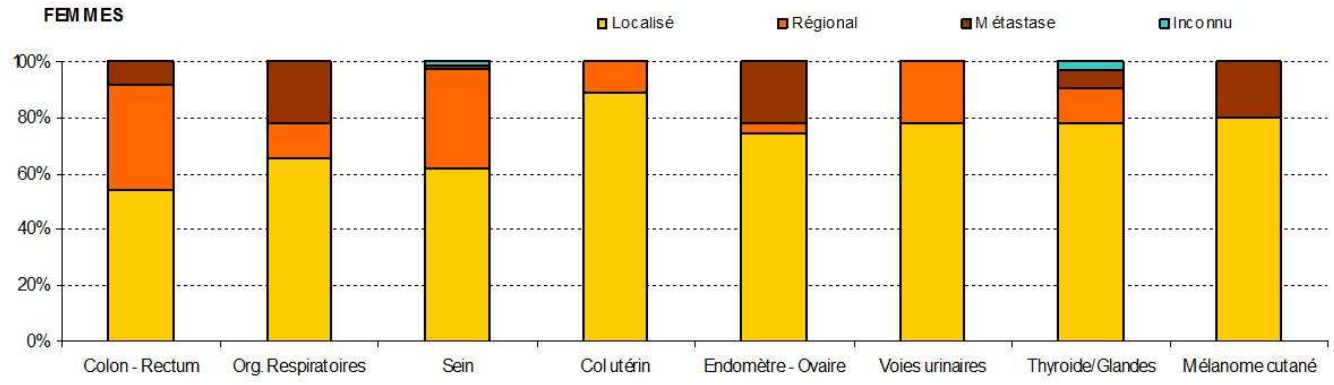
Chez les hommes prédominent :
1 - les cancers génitaux
2 - les cancers respiratoires
3 - les cancers digestifs
4 - les cancers cutanés

Chez les femmes, les cancers les plus fréquents sont :
1 - les cancers du sein
2 - les cancers génitaux
3 - les cancers digestifs
4 - les cancers de la thyroïde

La répartition des cancers est présentée ci-dessus selon les groupes de localisation définis par la classification internationale des maladies, 10ème version (CIM10). Dans la suite de ce document, les cancers seront analysés selon des sites plus précis correspondant à des situations différentes d'exposition ou de pronostic: cancers de l'estomac, cancers colo-rectaux, cancers du foie et des voies biliaires… Les tumeurs cutanées baso et spino-cellulaires seront analysées séparément des mélanomes malins, les états pré-leucémiques seront également présentés à part des lymphomes, myélomes et leucémies.

Stade d'extension au diagnostic selon le site et le sexe des cancers les plus fréquents en NC





Les sites des cancers qui ont été le plus fréquemment diagnostiqués en 2007 à un stade avancé (métastase ou envahissement ganglionnaire) sont par ordre décroissant :

Hommes
- Foie et voies biliaires : 63%
- Colon-rectum : 59%
- Estomac : 43%

Femmes
- Colon-rectum : 46%
- Sein : 37%
- Poumons : 35%

Incidences standardisées selon le site, le sexe et l'âge des cancers enregistrés en 2007

Méthodologie

Le calcul des taux d'incidence a été effectué au moyen de l'estimation établie à partir du dernier recensement effectué en 2004 par l'ISEE, qui estimait en 2007 la population calédonienne à 240 390 habitants.

Le taux brut représente la fréquence des nouveaux cas pour 100 000 personnes en une année; il permet de suivre l'évolution de l'incidence sur la population calédonienne. Afin de comparer les taux d'incidence entre des populations différentes, la standardisation sur l'âge permet d'éliminer l'effet du aux différences de structures d'âge à partir d'une population servant de référence (*population mondiale type*). Le taux standardisé annuel (TSA) correspond au nombre de cas incidents dans l'année pour 100 000 personnes en Nouvelle-Calédonie, avec une structure par âge comparable à celle de la population mondiale type (*cf tableau ci-contre*).

Conclusions

L'apparition du cancer est fortement liée à l'âge : moins de 2% des cas se situent dans la tranche des 0-14 ans, et l'incidence augmente avec l'âge. Le cancer est diagnostiqué généralement plus tôt chez la femme (85% des cancers à partir de 40 ans) que chez l'homme (87% des cancers à partir de 50 ans), $p<10^{-5}$. Cela s'explique surtout par les taux élevés de cancers du sein et du col de l'utérus chez la femme de moins de 50 ans.

L'incidence standardisée de l'ensemble des cancer est plus importante chez l'homme (337 pour 100 000) que chez la femme (250 pour 100 000), en particulier pour les cancers des voies respiratoires, de l'appareil digestif et de la peau (*cf tableau ci-dessous*).

Tranche-d'âge	Hommes NC	Pop. Mondiale	Femmes NC
0-4 ans	10532	12000	9896
5-9 ans	11543	10000	11010
10-14 ans	11493	9000	10725
15-19 ans	11018	9000	10652
20-24 ans	9538	8000	9293
25-29 ans	8557	8000	8744
30-34 ans	9457	6000	9687
35-39 ans	9378	6000	9602
40-44 ans	8779	6000	8501
45-49 ans	7269	6000	7323
50-54 ans	6144	5000	5867
55-59 ans	5641	4000	5030
60-64 ans	4392	4000	3911
65-69 ans	3127	3000	3199
70-74 ans	2042	2000	2225
75+	2389	2000	3426
TOTAL	121299	100000	119091

HOMMES		Tranches d'âge																	
Site du cancer	Total	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75+	Taux brut	TSA
ORL	18	-	-	-	1	-	-	-	-	-	3	4	2	1	3	1	3	14,8	15,2
Œsophage	8	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	2	1	1	1	1	6,6	6,6
Estomac	14	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	1	1	2	2	2	3	11,5	12,1
Pancréas/Intestin	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	-	-	1	3,3	3,3
Colon - Rectum	32	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	4	1	6	5	4	10	26,4	28,0
Foie -Voies biliaires	8	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	2	1	1	-	1	1	6,6	6,3
Org. Respiratoires	69	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4	5	13	12	15	8	11	56,9	59,6
Os, cartilage	4	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	1	3,3	3,2
Mélanome cutané	7	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	1	-	1	1	-	2	5,8	5,8
Autres t. cutanées	46	-	-	1	-	-	-	1	-	-	3	2	11	5	6	5	12	37,9	38,6
Tissus mous	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	0,6
Sein	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0
Org. Génitaux	127	-	-	-	-	-	-	1	-	1	2	6	7	28	31	18	33	104,7	113,3
Voies urinaires	13	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	-	2	-	1	1	6	10,7	10,7
Cerveau-SN	4	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3,3	4,0
Thyroïde/Glandes	8	-	-	-	-	1	-	1	-	1	1	1	-	2	1	-	-	6,6	6,6
Lymph. Myél. Leuc.	25	-	1	-	-	-	-	-	3	4	3	2	2	4	-	-	6	20,6	19,7
Mal définis	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	1	-	-	1	3,3	3,3
Tx/âge/sexe, Totaux	392	19	9	9	9	31	0	63	53	125	317	489	781	1504	2112	2009	3854	323,2	337,0

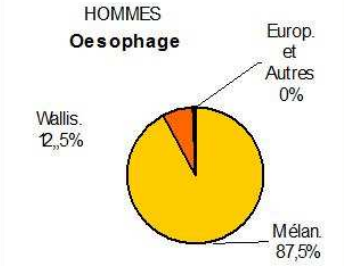
FEMMES		Tranches d'âge																	
Site du cancer	Total	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75+	Taux brut	TSA
ORL	4	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1	-	-	-	-	1	3,4	2,8
Oesophage	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,8	0,6
Estomac	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	-	1	-	1	4,2	4,0
Pancréas/Intestin	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	2	1	-	5,0	5,2
Colon-Rectum	24	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	4	3	4	5	2	5	20,2	20,0
Foie-Voies biliaires	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1	-	1	3,4	3,1
Org. Respiratoires	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4	2	4	4	2	3	19,3	19,7
Os, cartilage	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	0,8	0,9
Mélanome cutané	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	-	1	4,2	4,2
Autres t. cutanées	20	-	-	-	-	1	1	-	1	1	1	1	1	2	1	2	6	16,8	13,9
Tissus mous	6	-	1	-	-	-	-	-	-	1	1	-	1	-	1	1	-	5,0	5,1
Sein	89	-	-	-	-	1	1	6	8	8	11	14	11	8	5	8	8	74,7	70,6
Col utérin	18	-	-	-	-	-	-	2	4	5	1	-	2	-	1	2	1	15,1	13,0
Org. génitaux	27	-	-	-	-	-	-		1	2	5	4	4	3	5	2	1	22,7	22,9
Voies urinaires	9	1	-	-	-	-	-	-	1	-	1	1	-	-	2	1	2	7,6	7,5
Cerveau-SN	2	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1,7	1,9
Thyroïde/Glandes	32	-	-	1	-	-	2	3	3	4	1	3	2	5	4	2	2	26,9	26,0
Lymph. Myél. Leuc.	22	2	1	-	-	-	1	-	3	2	1	2	2	1	4	1	2	18,5	18,5
Mal définis	13	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	3	1	1	5	1	10,9	10,9
Tx/âge/sexe, Totaux	311	40	18	9	0	22	57	124	219	318	369	631	756	742	1189	1349	1052	261,1	250,6

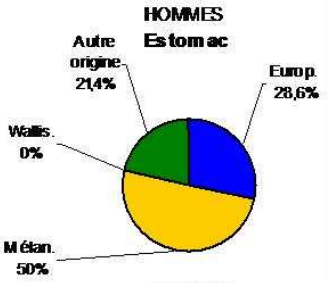
Répartition selon le site, le sexe et la communauté des cancers enregistrés en 2007

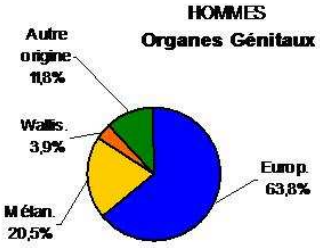
L'absence de données démographiques par communauté ethno-culturelle lors du recensement de 2004 n'a pas permis le calcul des taux d'incidence ni la comparaison de la répartition des cancers selon la communauté. N'est donc représentée que la répartition des cancers selon la communauté par site et par sexe. La donnée communauté a été précisée par le médecin ou recherchée à partir du nom (de jeune fille pour les femmes).

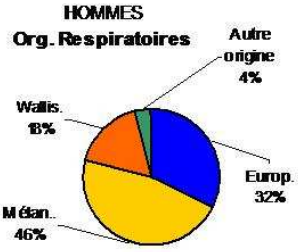
La population mélanésienne est plus touchée que les autres groupes par les cancers broncho-pulmonaires dans les deux sexes, de l'œsophage et de l'estomac chez les hommes, de la thyroïde, du col et de l'endomètre chez les femmes. Dans la population européenne, on observe une proportion plus élevée des cancers cutanés dans les 2 sexes, des cancers ORL, génitaux et des voies urinaires chez les hommes, et des cancers du sein chez les femmes. Les cancers de l'endomètre et des organes respiratoires sont remarquablement élevés chez les femmes wallisiennes.

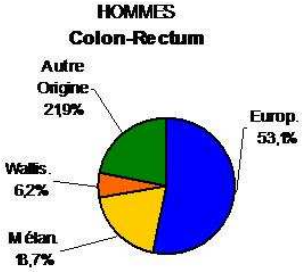
HOMMES	Européen		Mélanésien		Wallisien		Autre origine		Total
Site du cancer	Effectifs	%	Effectifs	%)	Effectifs	%	Effectifs	%	
ORL	10	4,9%	7	5,5%	0	0,0%	1	2,6%	18
Œsophage	0	0,0%	7	5,5%	1	4,8%	0	0,0%	8
Estomac	4	2,0%	7	5,5%	0	0,0%	3	7,9%	14
Pancréas - Intestin	1	0,5%	3	2,3%	0	0,0%	0	0,0%	4
Colon-Rectum	17	8,3%	6	4,7%	2	9,5%	7	18,4%	32
Foie-Voies biliaires	3	1,5%	3	2,3%	2	9,5%	0	0,0%	8
Organes Respiratoires	23	11,2%	38	29,7%	4	19,0%	4	10,5%	69
Os, cartilage .	1	0,5%	3	2,3%	0	0,0%	0	0,0%	4
Mélanome cutané	5	2,4%	2	1,6%	0	0,0%	0	0,0%	7
Autres tumeurs cutanées	34	16,6%	10	7,8%	1	4,8%	1	2,6%	46
Mésothéliomes/Tissus mous	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	1	2,6%	1
Organes Génitaux	81	39,5%	26	20,3%	5	23,8%	15	39,5%	127
Voies urinaires	9	4,4%	2	1,6%	0	0,0%	2	5,3%	13
Cerveau - SN	1	0,5%	2	1,6%	0	0,0%	1	2,6%	4
Thyroïde - Glandes	2	1,0%	5	3,9%	1	4,8%	0	0,0%	8
Lymph. Myél. leucémies	13	6,3%	6	4,7%	3	14,3%	3	7,9%	25
Mal définis	1	0,5%	1	0,8%	2	9,5%	0	0,0%	4
Total	205		128		21		38		392

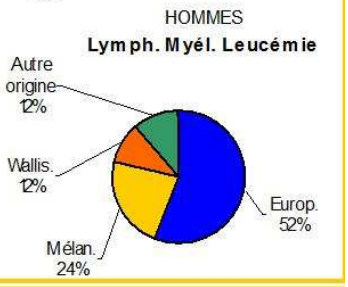




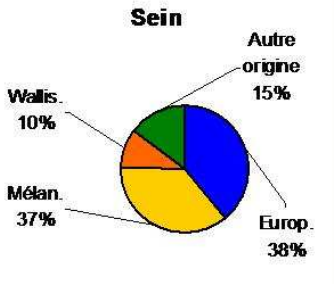


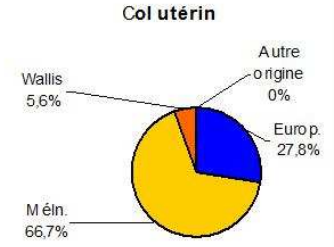


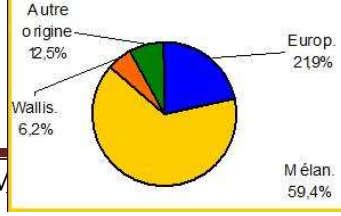


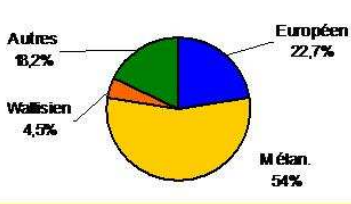


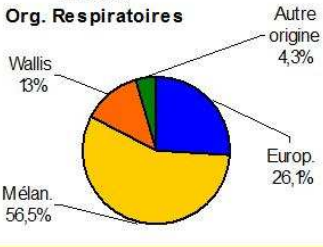
FEMMES	Européen		Mélanésien		Wallisien		Autre origine		Total
Site de cancer	Effectifs	(%)	Effectifs	(%)	Effectifs	(%)	Effectifs	(%)	
ORL	3	2,3%	1	0,8%	0	0,0%	0	0,0%	4
Œsophage	1	0,8%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	1
Estomac	2	1,5%	0	0,0%	2	8,7%	1	3,4%	5
Pancréas - Intestin	3	2,3%	1	0,8%	0	0,0%	2	6,9%	6
Colon - Rectum	10	7,6%	8	6,3%	1	4,3%	5	17,2%	24
Foie - Voies biliaires	2	1,5%	0	0,0%	1	4,3%	1	3,4%	4
Organes Respiratoires	6	4,5%	13	10,2%	3	13,0%	1	3,4%	23
Os, cartilage	1	0,8%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	1
Mélanome cutané	4	3,0%	1	0,8%	0	0,0%	0	0,0%	5
Autres tumeurs cutanés	18	13,6%	1	0,8%	0	0,0%	1	3,4%	20
Mésothéliomes/Tissus mous	2	1,5%	4	3,1%	0	0,0%	0	0,0%	6
Sein	46	34,8%	33	26,0%	4	17,4%	6	20,7%	89
Col utérin	5	3,8%	12	9,4%	1	4,3%	0	0,0%	18
Endomètre ovaire	7	5,3%	12	9,4%	5	21,7%	3	10,3%	27
Voies urinaires	6	4,5%	1	0,8%	2	8,7%	0	0,0%	9
Cerveau - SN	0	0,0%	2	1,6%	0	0,0%	0	0,0%	2
Thyroïde - Glandes	7	5,3%	19	15,0%	2	8,7%	4	13,8%	32
Lymphomes Myélomes Leucémies	5	3,8%	12	9,4%	1	4,3%	4	13,8%	22
Mal définis	4	3,0%	7	5,5%	1	4,3%	1	3,4%	13
Total	132		127		23		29		311

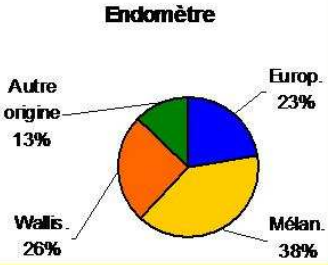










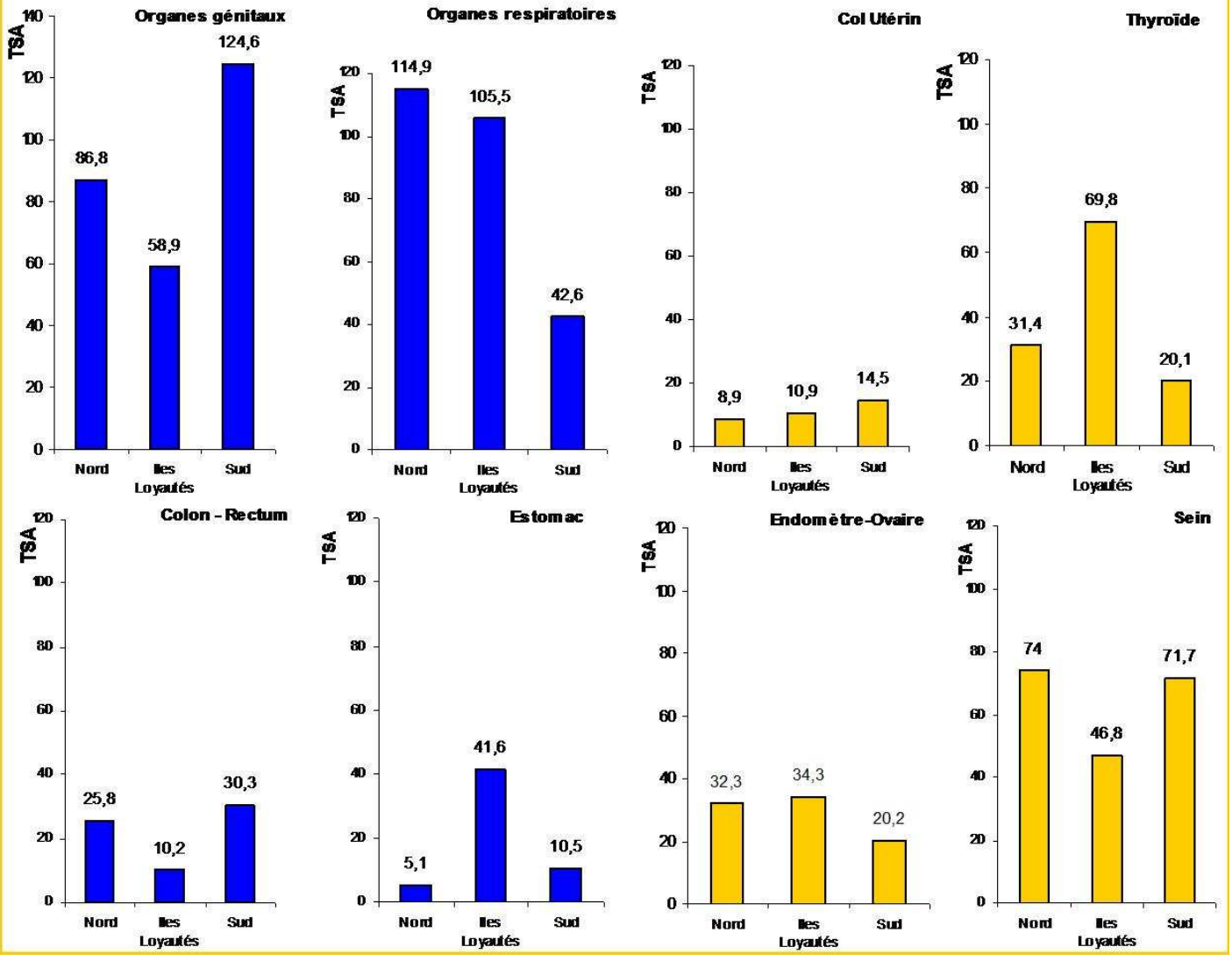


Incidences des cancers 2007 selon le site, le sexe et la Province de résidence

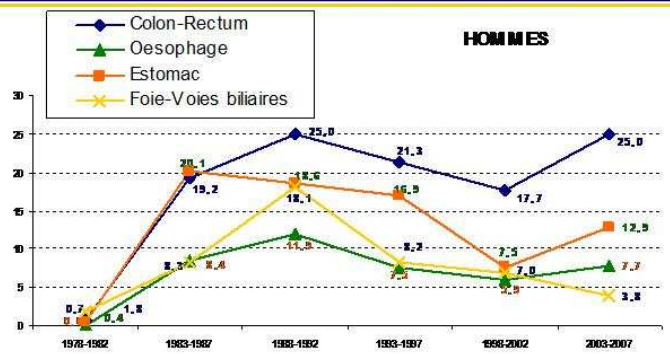
Remarque: Le lieu de résidence enregistré est celui au moment du diagnostic. Par définition, sont considérées résidentes les personnes vivant en Nouvelle-Calédonie depuis au moins 6 mois. En raison du faible effectif des populations en provinces Nord et Iles, les données d'incidence sont à prendre avec prudence.

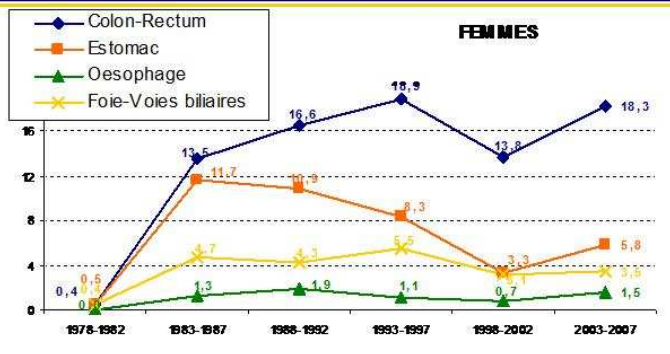
Dans les Iles Loyautés, les cancers de l'estomac présentent un TSA plus élevé chez les hommes que dans les autres provinces, et les cancers de la thyroïde sont plus élevés pour les 2 sexes. Les cancers broncho-pulmonaires et les cancers de l'oesophage sont plus incidents chez les hommes des provinces Nord et Iles Loyautés. Les cancers colo-rectaux sont plus incidents chez les hommes des provinces Sud et Nord, les cancers génitaux masculins plus élevés en Province Sud, les cancers du sein plus élevés en provinces Sud et Nord.

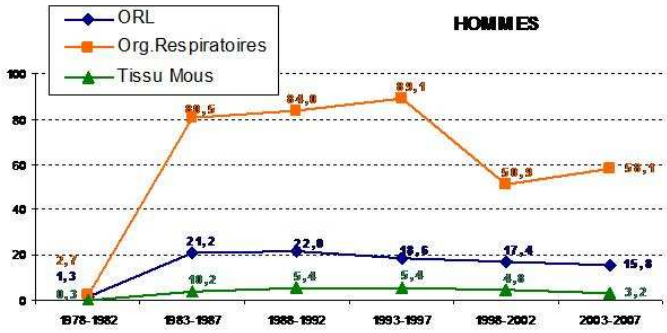
HOMMES							FEMMES					
Iles Loyautés		Nord		Sud			Iles Loyautés		Nord		Sud	
Nb	TSA	Nb	TSA	Nb	TSA	Groupes topographiques	Nb	TSA	Nb	TSA	Nb	TSA
2	24,1	4	19,0	12	13,6	ORL	0		0		4	3,7
1	14,2	4	19,2	2	2,0	Œsophage	0		0		1	0,8
4	41,6	1	5,1	9	10,5	Estomac	0		1	5,7	3	3,1
0		1	4,5	3	3,4	Pancréas - Intestin	1	10,3	1	5,5	4	4,5
1	10,2	5	25,8	26	30,3	Colon - Rectum	2	18,7	4	20	18	19,9
2	18	0	0,0	5	5,2	Foie - Voies biliaires	1	5,4	1	5,5	2	2,3
9	105,5	22	114,9	38	42,6	Organes Respiratoires	0		7	34	16	18,3
0		1	0,0	3	3,3	Os - Cartilage	0		0		1	1,3
1	14,2	1	4,4	5	5,5	Mélanome cutané	0		1	6	4	4,2
0		9	42,2	37	41,5	Autres tumeurs cutanées	0		0		20	20,3
0		0	5,2	1	0,9	Tissus mous	1	9,1	2	10,8	3	3,8
5	58,9	16	86,8	106	124,6	Organes Génitaux	3	34,3	6	32,3	18	20,2
-	-	-	-	-	-	Col utérin	1	10,9	2	8,9	15	14,5
1	10,2	0	0	12	13,1	Voies urinaires	0		0		9	10,1
1	11,7	1	3,9	2	2,7	Cerveau - SN	1	11,5	0		1	0,9
3	30,5	0		5	5,8	Thyroïde - Glandes	7	69,8	6	31,4	19	20,1
0		0		0		Sein	5	46,8	16	74	68	71,7
1	7,9	4	20,2	19	19,7	Lymphomes Myél. Leucémies	1	8	5	27,6	15	16,5
1	14,2	1	4,7	2	2	Mal définis	1	11,1	5	26,5	7	7,7
32	361,0	70	355,8	287	326,7	Total	24	236,1	57	288,2	228	243,9

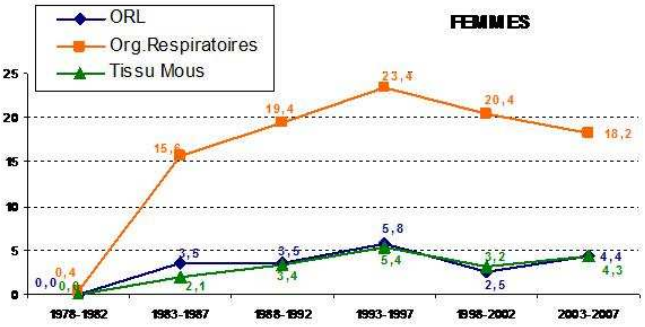


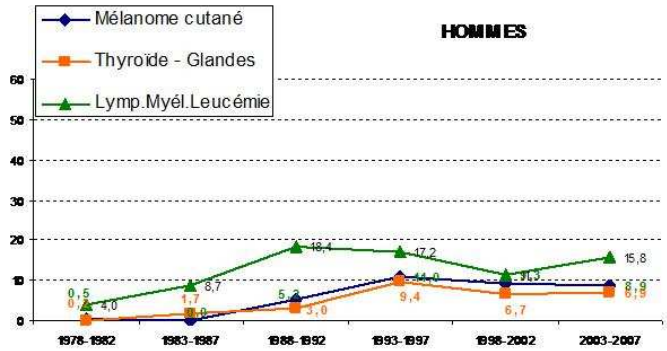
Évolution de l'incidence standardisée par site et par sexe : 1978-2007

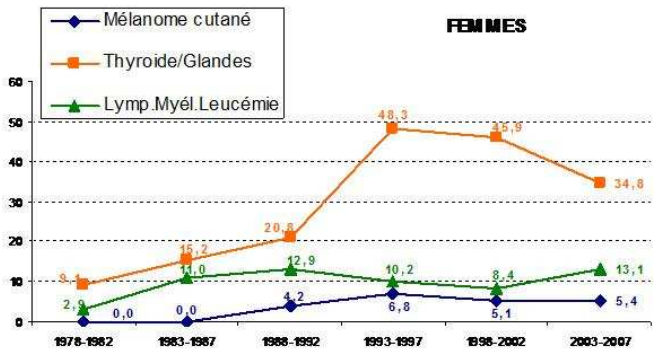


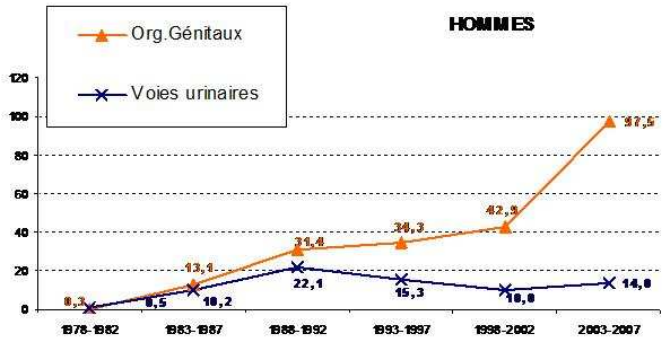


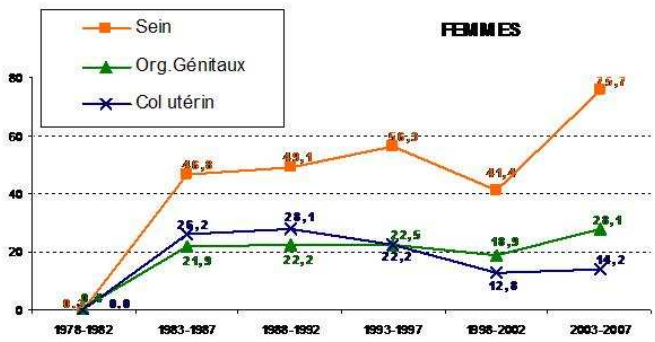










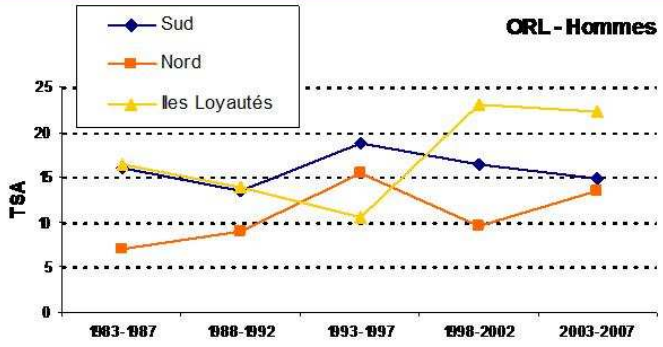


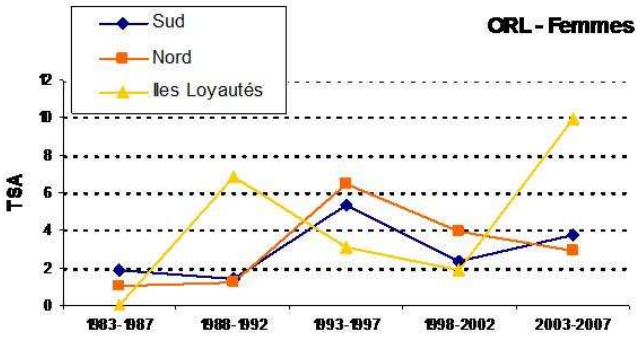
Les graphiques ci-dessus présentent, pour chaque site de cancer et par sexe, l'évolution du taux d'incidence standardisé sur l'âge à la population mondiale (TSA), calculée sur 6 périodes de 5 ans. Le taux est calculé pour 100 000 personnes-année.

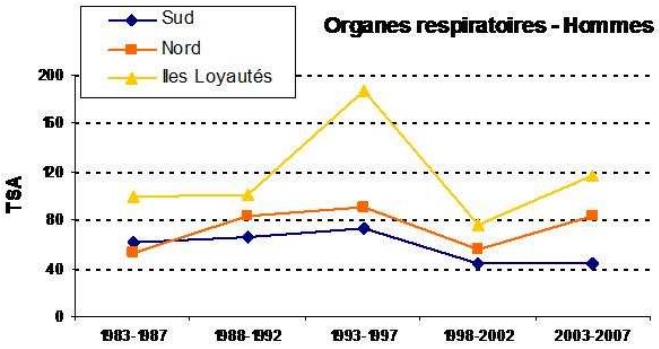
Les périodes 1978-1982 et 1983-1987 correspondent au démarrage de l'activité d'enregistrement des cancers; les taux ne sont probablement pas exhaustifs sur ces 10 années. Sur l'ensemble de ces graphiques, la chute du TSA pour la période 1998-2002, d'autant plus remarquable que les taux sont élevés, correspond au sous-enregistrement des cancers dû à un défaut de déclaration dans le secteur libéral à cette époque. Grâce à la bonne collaboration du laboratoire libéral d'anatomo-cyto-pathologie, cette situation a été corrigée depuis 2002.

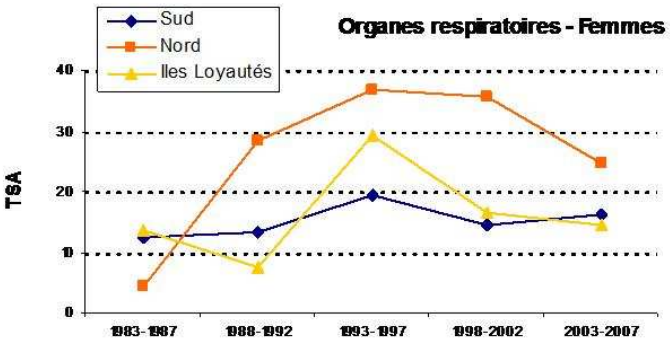
L'ensemble des cancers n'évolue pas dans le même sens. Alors que certains sites présentent des taux relativement stables (lymphomes et leucémie, tissus mous, colo-rectum), d'autre sont en progression (sein, organes génitaux masculins et féminins), reflétant probablement une activité de dépistage accrue. En particulier, le pic concernant les cancers de la prostate coïncide avec l'installation d'un urologue dans le secteur libéral. L'importance des cancers du sein justifie la mise en place d'un programme de dépistage organisé dès 2009. Le cancer de la thyroïde, après avoir présenté un pic durant la période 1993-1997, correspondant à une activité de dépistage plus intense, décroit régulièrement depuis 1998, malgré les méthodes plus actives de recherche des microcarcinomes adoptées par les anatomopathologistes depuis 1995. La campagne de dépistage du cancer du col de l'utérus, démarrée en 1994, permet de détecter les lésions à des stades pré-cancéreux, ce qui entraine une baisse de l'incidence de ce cancer.

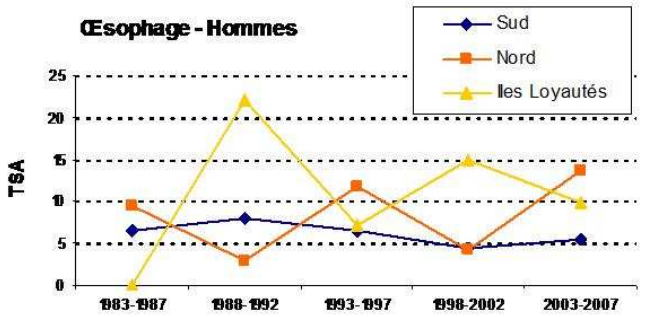
Évolution de l'incidence (*) par Province

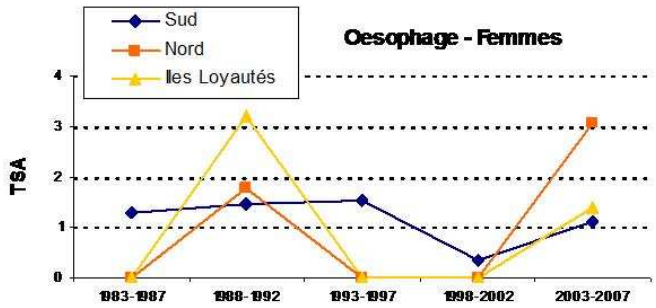


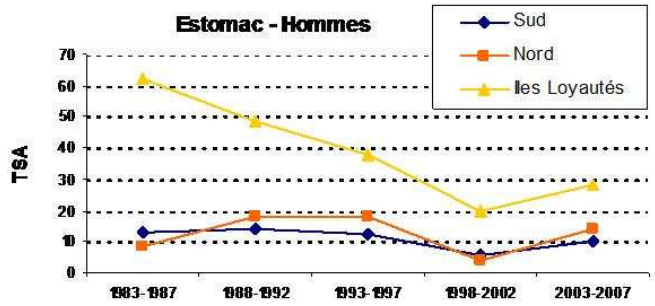


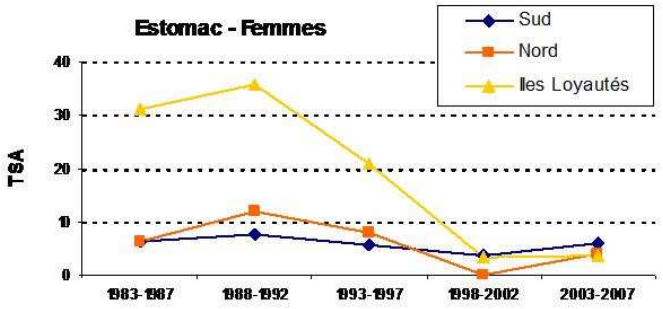


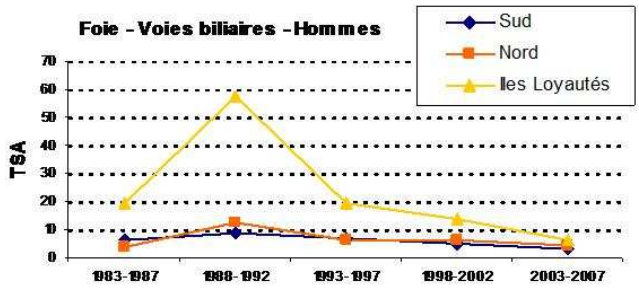


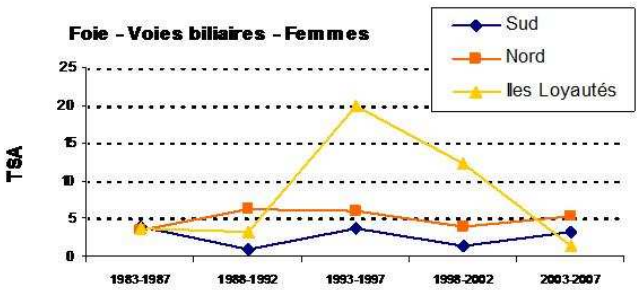






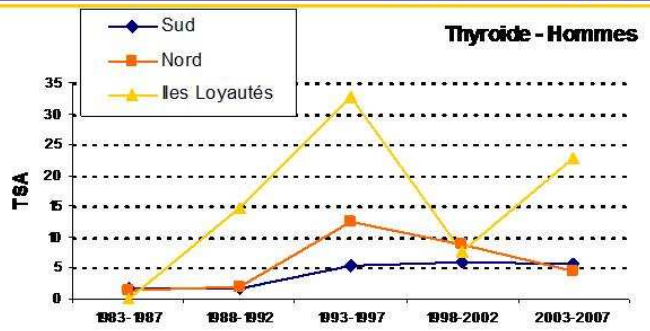


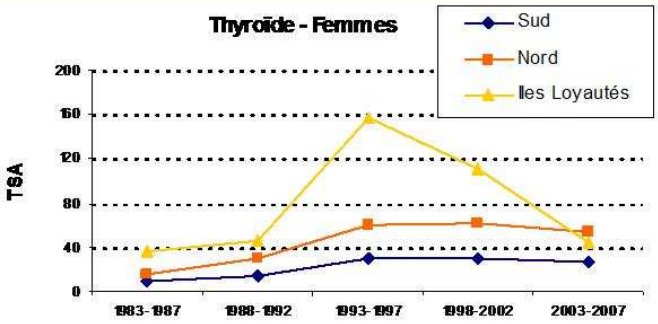


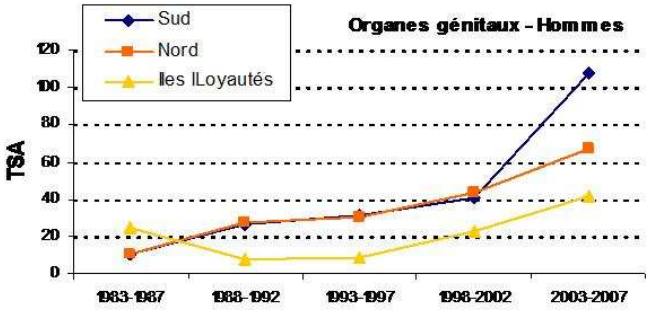


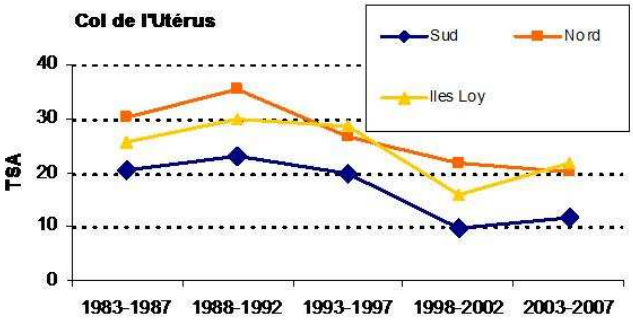
* *Incidence standardisée sur l'âge (population mondiale) pour 100 000 personnes année (moyenne annuelle).*
La province de résidence est celle à laquelle réside le patient au moment du diagnostic de cancer.

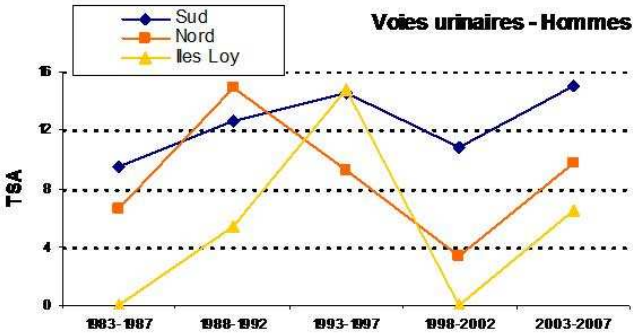
Évolution de l'incidence (*) par Province

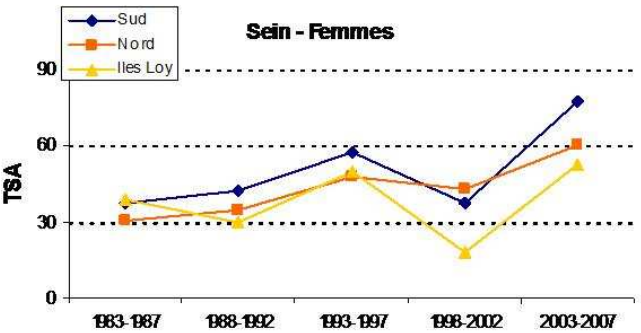


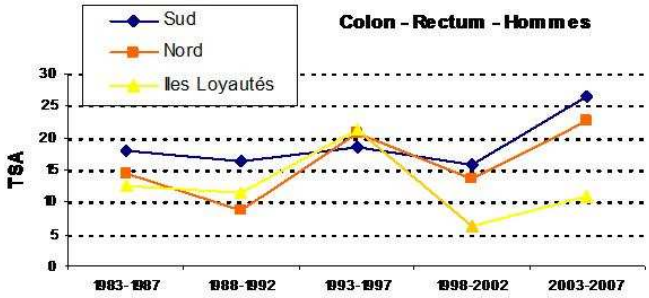


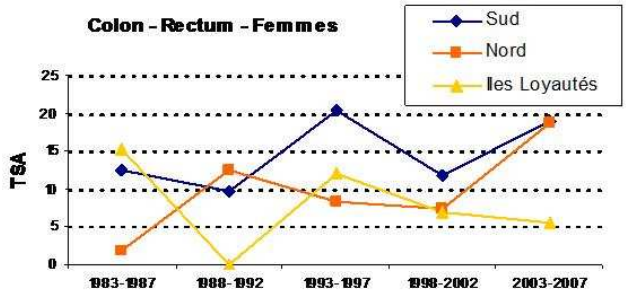


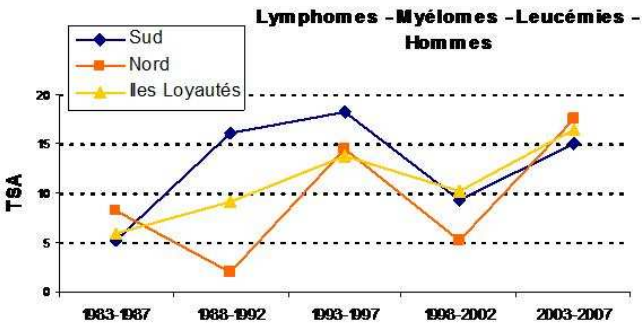


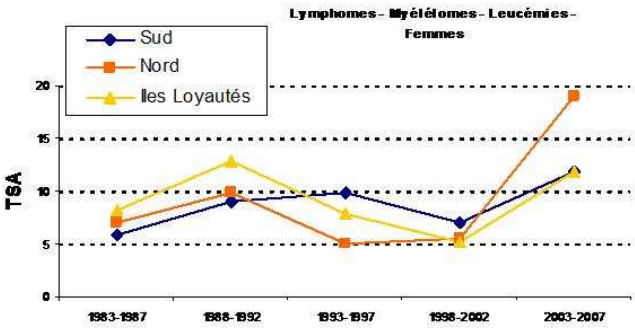






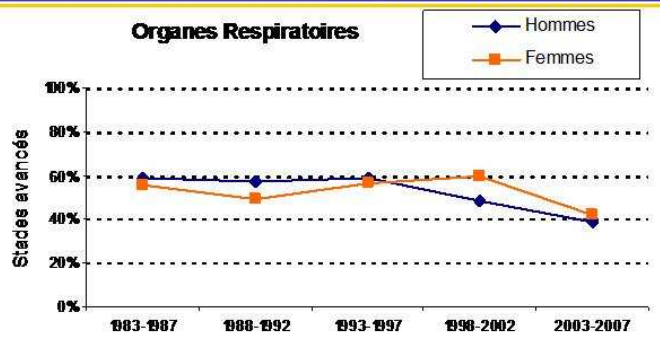


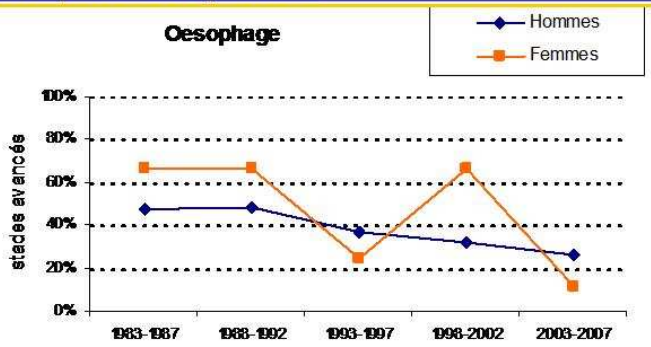


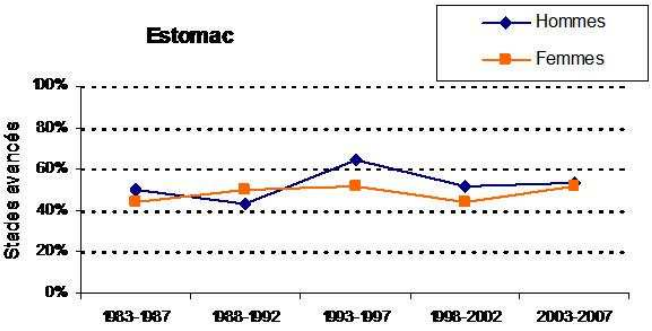


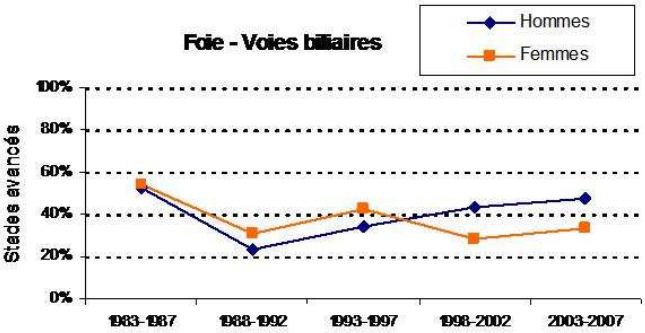
La faible population dans les province Iles et Nord entraine de fortes variations pour les cancers à faible incidence (ORL, œsophage, lymphomes-leucémies et urinaires dans les 2 sexes, thyroïde chez les hommes, colo-rectum chez les femmes); elles sont donc à interpréter avec prudence. Les cancers de la thyroïde sont moins incidents en province Sud, ceux des organes génitaux masculins sont moins incident dans les Iles. Les cancers de l'estomac, et ceux du foie et des voies biliaires présentaient des incidences beaucoup plus élevées dans les Iles dans les années 1980, celles-ci diminuant régulièrement sur les 15 dernières années, jusqu'à rejoindre les taux beaucoup plus stables des deux autres provinces. Les cancers broncho-pulmonaires sont plus élevés chez les hommes des Loyautés, et chez les femmes de la province nord, probablement en relation avec l'exposition à l'amiante environnemental.

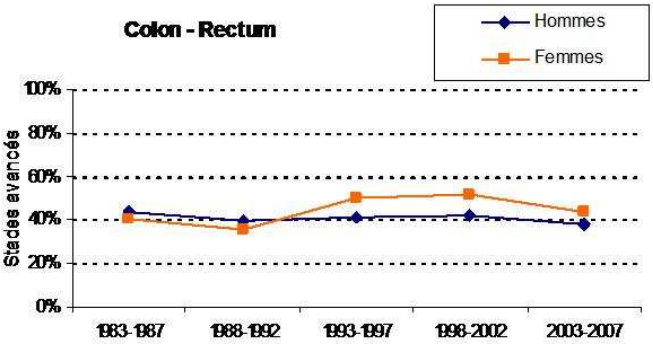
Évolution des stades avancés par site et par sexe

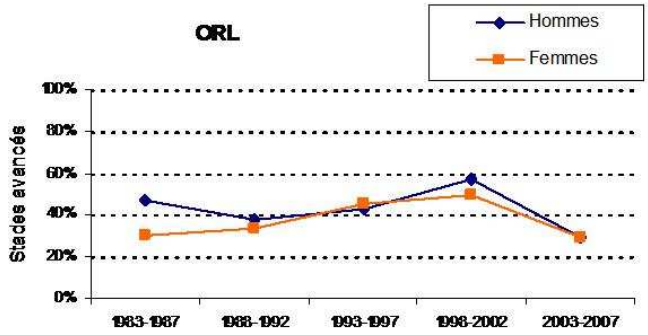


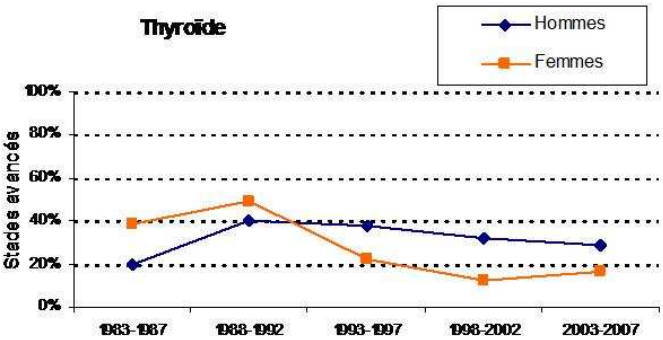


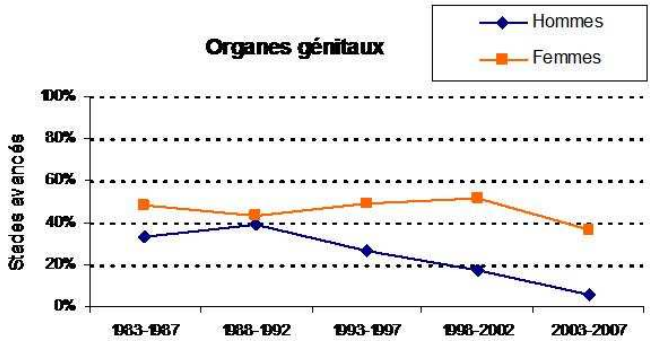


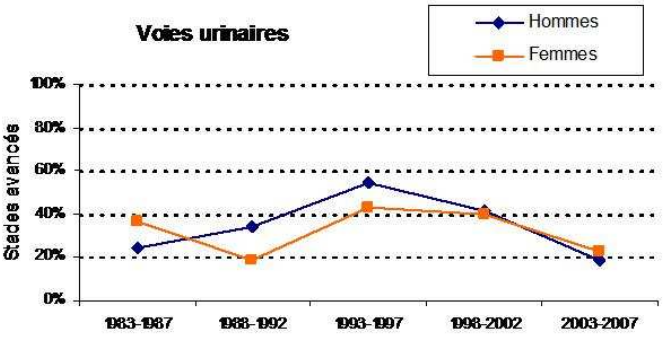


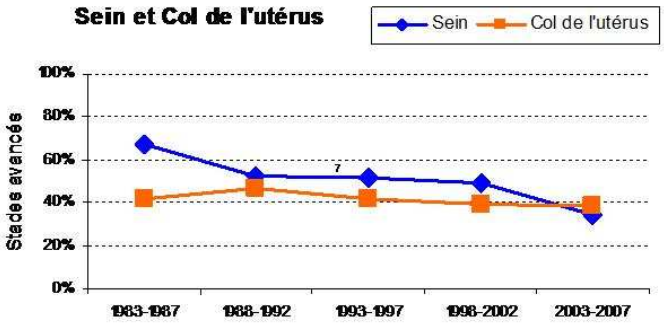












Remarque : Les stades avancés regroupent : les stades d'envahissement régional, ganglionnaire ou métastatique

Les taux présentés sont les pourcentages de stades avancés sur chaque période de cinq ans. Cette information est recueillie soit directement auprès du médecin, soit à partir du recoupement des données figurant sur les divers comptes-rendus anatomopathologiques. Pour les cancers à faible incidence, les variations peuvent être liées à l'observation d'1 ou 2 cas particuliers, les taux sont à interpréter avec prudence dans ce cas. Globalement, la proportion de stades avancés diminue pour les cancers de l'œsophage, les cancers de la thyroïde, les cancers génitaux masculins et cancers urinaires, indiquant un diagnostic plus précoce.

Étude de la survie des cancers broncho-pulmonaires en Nouvelle-calédonie, 1990-2005

Introduction: En Nouvelle-Calédonie (NC), les cancers broncho-pulmonaires (KBP) représentent les cancers les plus fréquents chez l'homme, et le 5ème site de cancer chez les femmes. L'objectif principal de cette étude était d'analyser la survie des KBP en NC, selon le sexe, l'âge, le groupe ethnoculturel, l'usage du tabac et le type histologique.

Méthodes: Tous les KBP enregistrés au Registre du cancer de NC 1990 à 2005 inclus ont été sélectionnés, soit 991 cas. Les taux d'incidence ajustés sur l'âge à la population mondiale (*ASR* pour 100 000 personnes-année) ont été calculés selon le sexe et les principaux groupes ethniques. Les moyennes ont été comparées à l'aide du *test t de Student*, les pourcentages en utilisant le *test du Chi2 de Pearson*. Les courbes de survie ont été comparées en utilisant le test du *log Rank*, ou le test de *Wilcoxon* quand les courbes se croisaient. Les analyses univariées ont été réalisées avec la régression de *Cox*, après avoir testé l'hypothèse des risques proportionnels, et l'analyse multivariée a été ajustée sur le groupe ethnique, la province de résidence, le stade, le grade et le traitement. Les analyses statistiques ont été réalisées avec STATA.

Résultats: Sur la période 1990-2005, l'*ASR* des KPB en NC était de 62,1 chez les hommes et 19,0 chez les femmes, et a décru de façon significative chez les hommes.

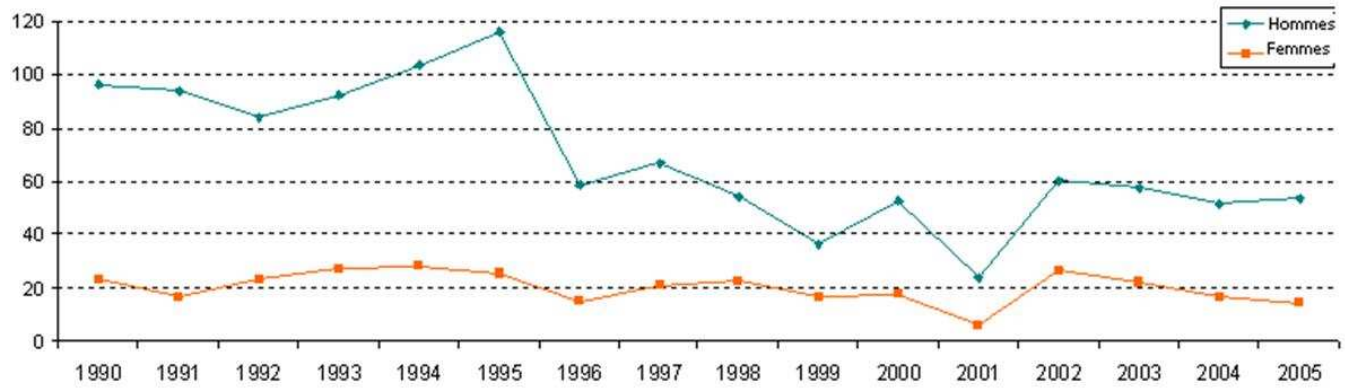


Fig.1. Evolution de l'incidence des cancers broncho-pulmonaires par sexe, 1990-2005 (ASR pour 100 000 p.a.)

L'incidence était plus élevée chez les mélanésiens (*ASR* hommes: 90,7; *ASR* femmes: 26,1) et les polynésiens (82,9; 37,9) que chez les caucasiens (54,2; 12,8). Le sex-ratio H/F valait 2,9:1 chez les non Européens et 4,2:1 chez les Européens (*p*=0,02).

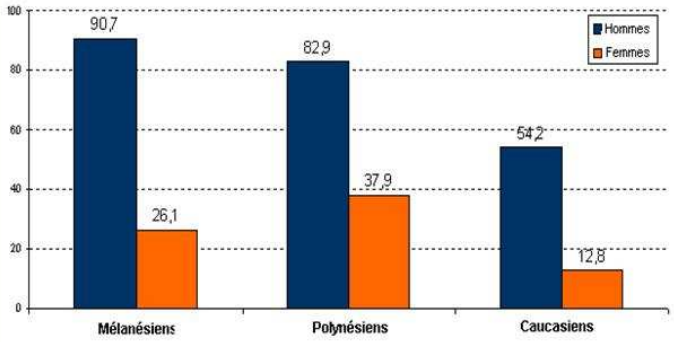


Fig.2. Incidences des HBP par groupes ethniques et par sexes, 1990-2005 (ASR pour 100 000 p.a.)

La survie relative à 6 mois et à 1 an était de 68,0% [*IC95%*, 65,7; 70,1] et de 35,9% [31,4; 41,1], sans différence significative entre sexes ni entre groupes ethniques. Le risque de mortalité était plus élevé pour les plus âgés, les carcinomes à petites cellules, les grades élevés et les métastases, et plus faible pour les non fumeurs, les adénocarcinomes, les carcinomes épidermoïdes et les patients traités par chirurgie. On n'a noté aucune différence significative entre les périodes 1990-99 et 2000-2005.

La moyenne d'âge au diagnostic était de 62,4 ans (11-92). Parmi les patients pour lesquels l'usage du tabac était connu, 3,5% des hommes n'avaient jamais fumé et 26.6% des femmes (*p*=0,000). Les adénocarcinomes étaient plus fréquents chez les femmes (41,6%, *p*=0,001) et les carcinomes épidermoïdes chez les hommes (44,2%, *p*=0,007). Les carcinomes à petites cellules représentaient 9% des KBP et les autres sous-types 16% dans les deux sexes. Les métastases étaient plus fréquentes chez les non Européens (35,7%) que chez les Européens (24,1%, *p*=0,025), et pour les *adénocarcinomes* (35,5%) que pour les autres sous-types histologiques (29,3%, *p*=0,0001).

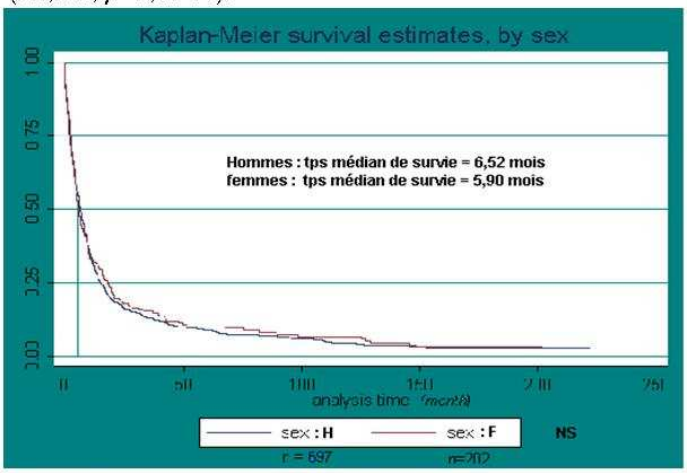


Fig.3. Courbes de survie et temps médian de survie selon le sexe, et résultats des tests de comparaison

Conclusions: L'incidence des KBP a décru chez les hommes durant la période 1990-2005, mais le risque de mortalité est resté stable. Les non Européens présentaient une incidence plus élevée, avec des métastases plus fréquentes. La survie était meilleure pour les patients traités par chirurgie, les non fumeurs, et les personnes de moins de 65 ans.

Évaluation de la campagne de dépistage du cancer du col de l'utérus en NC
Population à haut risque

Introduction: Le cancer du col de l'utérus est un problème majeur de santé publique en Nouvelle-Calédonie (NC), avec une incidence standardisée (*22,2 /100 000*) deux fois plus élevée qu'en Australie ou en France. Les objectifs de cette étude étaient de déterminer les indicateurs adaptés à l'évaluation de la campagne organisée de dépistage, de les analyser et d'identifier les groupes ethniques, les groupes d'âge et les provinces à haut risque.

Méthodes: Les critères d'évaluation à court terme concernent l'analyse de tous les frottis et toutes les histologies réalisés sur le territoire de 2003 à 2008. La 2ème étape, plus étendue dans le temps, est l'analyse de tous les cancers du col du registre, de 1985 à 2006. Une comparaison avant-après campagne a été conduite. Au total, 17 indicateurs ont été construits, répartis en 5 catégories : impact, qualité, suivi, efficacité et à long terme.
Les analyses statistiques, tests du X^2 et tests ANOVA, et les graphiques ont été exécutés avec le logiciel avec StataSE8. Le seuil de significativité a été choisi à 5% .

Résultats: ***Indicateurs d'impact***

On observe une nette augmentation du nombre de frottis cervico-utérins (FCU) réalisés en NC depuis 1995 (Fig1). En revanche, le taux de couverture par FCU reste insuffisant. Environ 60% des femmes ciblées par le dépistage (17-65 ans) effectue au moins un FCU en 3 ans.

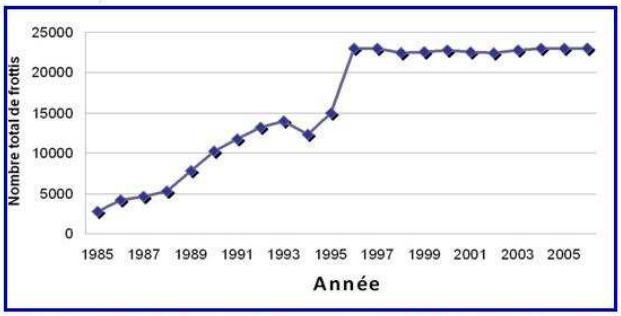


Fig.1. Nombre total de FCU réalisés en NC chez les femmes de 17 à 65 ans selon l'année

Indicateurs de qualité

Le pourcentage de frottis « non satisfaisant » de 0,6 % témoigne d'une bonne maîtrise des techniques de prélèvement. Le risque de cancer du col est maximal chez les plus de 50 ans mais le dépistage parait justifié dès 17 ans au vu du nombre important de lésions de bas et haut grade déjà présentes à cet âge. On observe une très bonne valeur prédictive des frottis.

Indicateurs d'efficacité

Le dépistage a permis, sur un volume de 135 839 frottis, la détection de 42 cancers invasifs et 510 lésions précancéreuses. Un nombre important de femmes échappe au dépistage organisé : 52% des femmes atteintes d'un cancer infiltrant n'avaient jamais réalisé de frottis. Le pourcentage de stades localisés est plus élevé chez les femmes ayant un bon suivi cytologique par rapport aux femmes sans antécédent ou à FCU de plus de trois ans (69% vs 40%, *p= 0,002*). Enfin, 9% des femmes atteintes d'un cancer avaient eu un FCU classé « normal » moins de 3 ans avant le diagnostic. Il existe donc une proportion non-négligeable de faux-positifs.

Indicateurs de suivi

Parmi les femmes dont le frottis s'est révélé anormal, on retrouve une proportion importante de patientes (26%) ne réalisant pas leur examens complémentaires selon les recommandations. Des différences existent entre provinces : 41% dans les Iles Loyautés, 38% dans le Nord contre 22% dans le Sud ($p<10^{-5}$).

Indicateurs à long terme

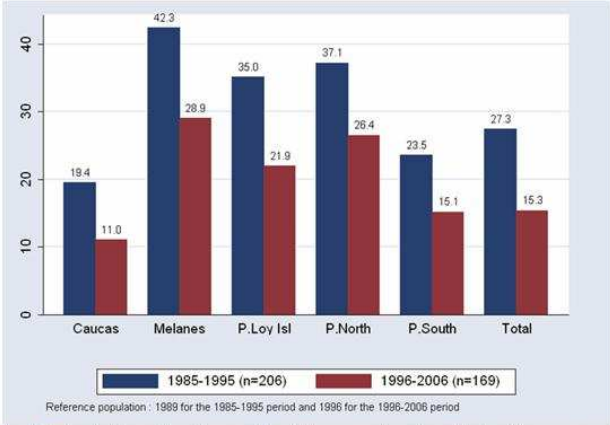


Fig.2. Evolution des taux d'incidence standardisés du cancer du col de l'utérus en NC, selon l'ethnie et la province. Comparaison avant-après campagne.

On observe depuis 1995 une baisse de l'incidence standardisée du cancer du col pour tous les groupes (*Fig2*). La répartition selon le stade au diagnostic s'est beaucoup améliorée avec le temps. Les cancers à un stade avancé (régional-métastases) représentaient 46,6% des cancers du col sur la période 1985-1995 et seulement 35,5 % sur la période 1996-2006 (OR = 1,59 [1,05 ; 2,41]).

Population à haut risque

Période	Caucasiennes	Mélanésiennes	OR	[IC 95%]
1985-1995	33,3 %	49,6 %	1,97	[1,0 ; 3,8]
1996-2006	18,6 %	43,9 %	3,43	[1,4; 8,1]
Total	27 %	47 %	2,4	[1,4 ; 4]

Tab.1. Pourcentages de stades avancés (régional-métastases) Comparaison entre Caucasiennes et Mélanésiennes

L'incidence du cancer reste beaucoup plus élevée chez les mélanésiennes et ce, même pour la période 1996-2006 (*Fig2*). Le pourcentage de stades avancés est significativement plus élevé chez les mélanésiennes que chez les européennes (*Tab1*). L'OR est supérieur durant la période 1996-2006 (3,4 vs 1,97), suggérant que la campagne a eu une répercussion plus importante chez les européennes. Enfin, le cancer du col touche les mélanésiennes à un âge plus précoce (48.7 vs 52.5, *p=0.,01*).

Conclusions: **La mise en place de la campagne organisée de dépistage a permis de doubler le nombre de frottis et de diagnostiquer les cancers à un âge et un stade plus précoces. Malgré de bons indicateurs de qualité et d'efficacité, le cancer persiste pour de multiples raisons : taux de couverture insuffisant, difficulté de prise en charge et de suivi des frottis anormaux... Le dépistage doit être mené de la manière la plus active possible auprès des mélanésiennes, ainsi qu'en Provinces Nord et Iles Loyautés.**

Chapitre 4. Analyse des mésothéliomes à l'échelle de la commune

4.1. Contexte et objectifs

Douze ans après l'étude de l'INSERM, le Registre des Cancers de Nouvelle-Calédonie avait enregistré près d'une centaine de cas de cancers de la plèvre et des tissus mous. L'incidence des mésothéliomes pour la période 1989-2003 était trois (pour les hommes) à huit fois (pour les femmes) plus élevée dans le groupe mélanésien que dans le groupe européen, et se concentrait dans la Province Nord [*Baumann et al 2005*].

Afin d'analyser plus précisément la répartition géographique de la maladie et les populations à risque, et d'explorer différentes hypothèses pouvant expliquer la contamination environnementale à l'amiante en Nouvelle-Calédonie (*Pö* « trémolitique », activité minière, roches amiantifères mises à nu lors d'activités humaines), une étude cas-témoins sur les mésothéliomes malins pleuraux (MM) a été menée à partir des données du registre. Cette étude a été complétée par l'analyse à l'échelle de la commune des relations existant entre la résidence des cas de mésothéliomes et les différents facteurs étudiés. Ce travail fait l'objet de l'article présenté dans les pages suivantes, publié en 2007 dans la revue Cancer Detection and Prevention : « *Pleural mesothelioma in New Caledonia: An acute environmental concern* ».

4.2. Matériel et méthodes

Les 68 cas inclus étaient tous les cancers de la plèvre enregistrés de 1984 à 2002 inclus, résidant en Nouvelle-Calédonie, avec un diagnostic histologique confirmé de mésothéliome. Pour chaque cas, deux témoins ont été sélectionnés au hasard dans le registre du cancer, appariés sur l'âge, le sexe et la date de diagnostic, parmi tous

les sites de cancers autres que la plèvre, le péritoine et le poumon. Cette méthode permettait de sélectionner les témoins dans une population similaire à celle des cas, hormis la présence d'un cancer pouvant être lié à l'amiante. Les deux groupes ont été comparés sur l'ethnie et la commune de résidence ; les risques relatifs ont été évalués par le calcul des odds ratios (OR) et de leurs intervalles de confiance à 95% (95% CI).

L'incidence du mésothéliome, standardisée sur l'âge à la population mondiale, a été calculée pour chaque commune sur la période 1984-2002, à partir des données de population fournies par le recensement de 1989. Les communes de moins de 1000 habitants ont été regroupées avec leurs voisines. Les trois facteurs de risque étudiés ont été évalués pour chaque commune par :

- le nombre de maisons recouvertes de *Pö* trémolitique recensées par les provinces,
- la présence de serpentinite sur le sol de la commune, selon la graduation suivante : 0 (pas de serpentinite), 1 (serpentinite à plus de 5 km d'une tribu), 2 (serpentinite à moins de 5 km d'une tribu), 3 (serpentinite à moins de 5 km de plusieurs tribus),
- l'activité minière (nulle, mineure ou majeure).

Les analyses univariées et multivariées des liens entre les facteurs étudiés et la maladie ont été réalisées par deux méthodes : la régression logistique comparant les communes avec et les communes sans cas de mésothéliome, et la régression linéaire qui prenait en compte le nombre de cas pour chaque commune.

4.3. Principaux résultats

Le groupe le plus touché était celui des Mélanésiens (61 cas), avec un odds ratio (OR) de 16,18 (95% CI : [5.68; 49.64]), comparé aux Européens. Tous les cas européens étaient des hommes de plus de 60 ans. Parmi les Mélanésiens, les deux sexes étaient également touchés par le mésothéliome (31 hommes et 30 femmes), et 13 cas (21%) avaient moins de 50 ans, ce qui confirme une exposition environnementale dès l'enfance pour ce groupe.

Comparées à Nouméa, six communes présentaient un risque relatif de mésothéliome pleural significativement élevé :

- Houailou : OR = 119, 95% CI : [34; 502],
- Kone : OR = 52, 95% CI : [12; 254],
- Touho : OR = 33, 95% CI : [5; 205],
- Bourail : OR = 21, 95% CI : [4; 112],
- Koumac : OR = 20, 95% CI : [2; 145],
- Poindimié : OR = 18, 95% CI : [3; 112].

Quelle que soit la méthode d'analyse, aucune relation significative n'a été retrouvée entre le *Pö* et le mésothéliome (*figure 7*), ni entre l'activité minière et le mésothéliome (*figures 8 et 9*). Seule la présence de serpentinite dans le sol de la commune de résidence (*figure 10*) est ressortie comme étant significativement associée au risque de mésothéliome (OR = 2,61, 95% CI : [0,96; 7,15]).

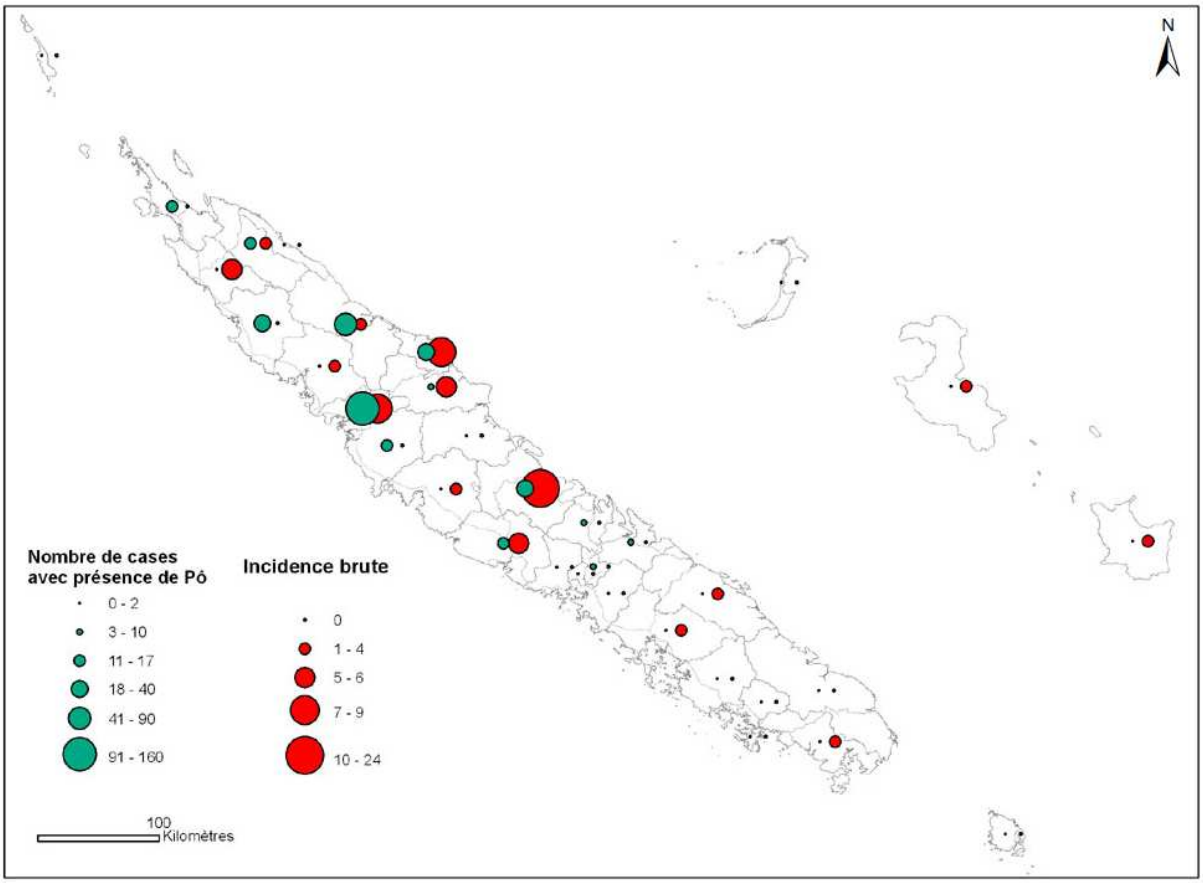


Figure 7 – Cartographie du nombre de cases enduites avec du *Pö* trémolitique comparé au nombre de cas de mésothéliome, par communes de résidence, NC1984-2002

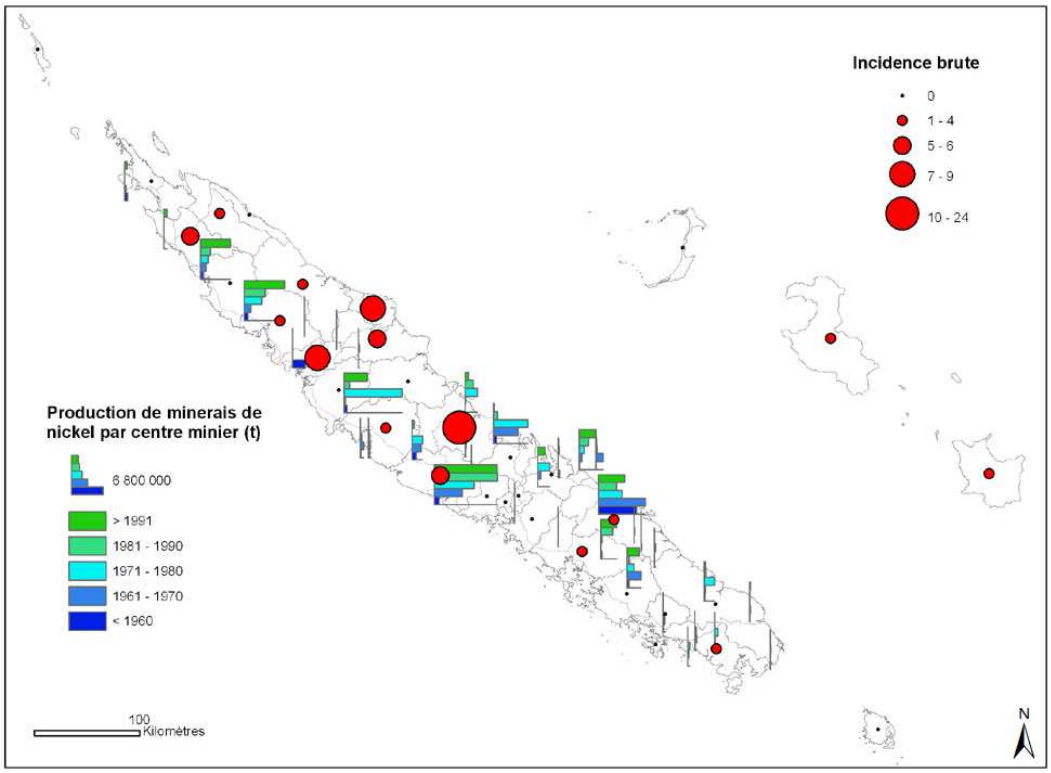


Figure 8 – Production décennale depuis 1960 de minerais de nickel par centre minier (*source DIMENC*) et incidence brute des mésothéliomes par commune de résidence (pour 100 000 p.a.), NC1984-2002

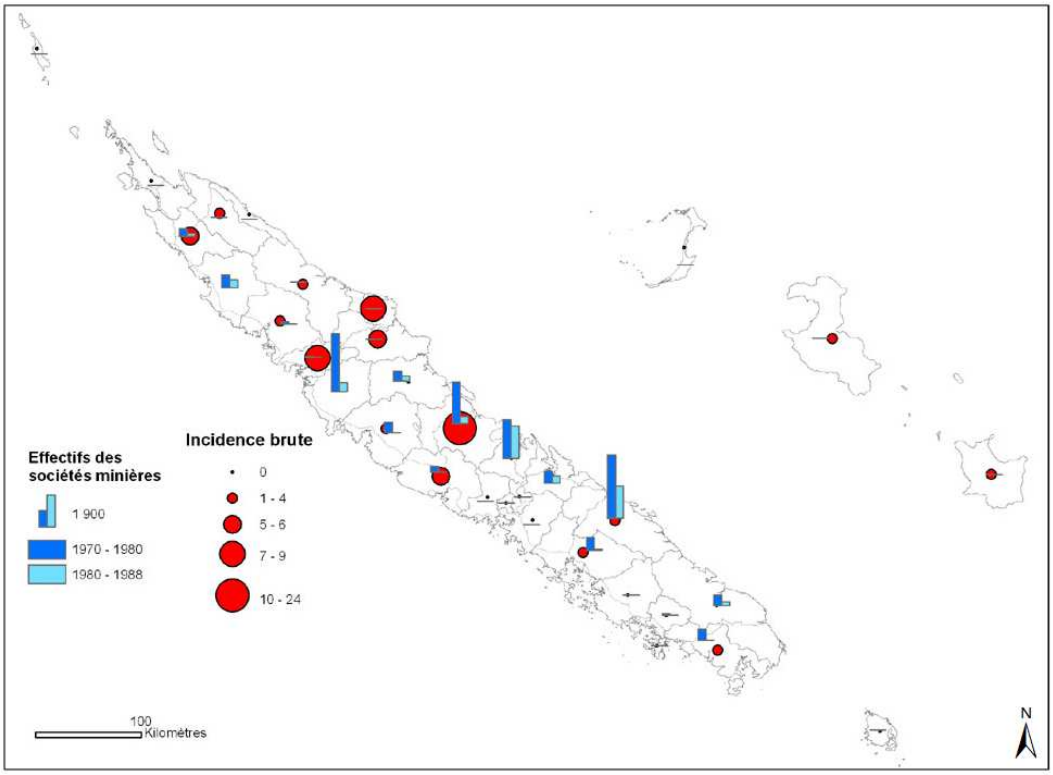


Figure 9 – Effectif des sociétés minières par commune (*source DIMENC*) et incidence brute des mésothéliomes par commune de résidence (pour 100 000 p.a.), NC1984-2002

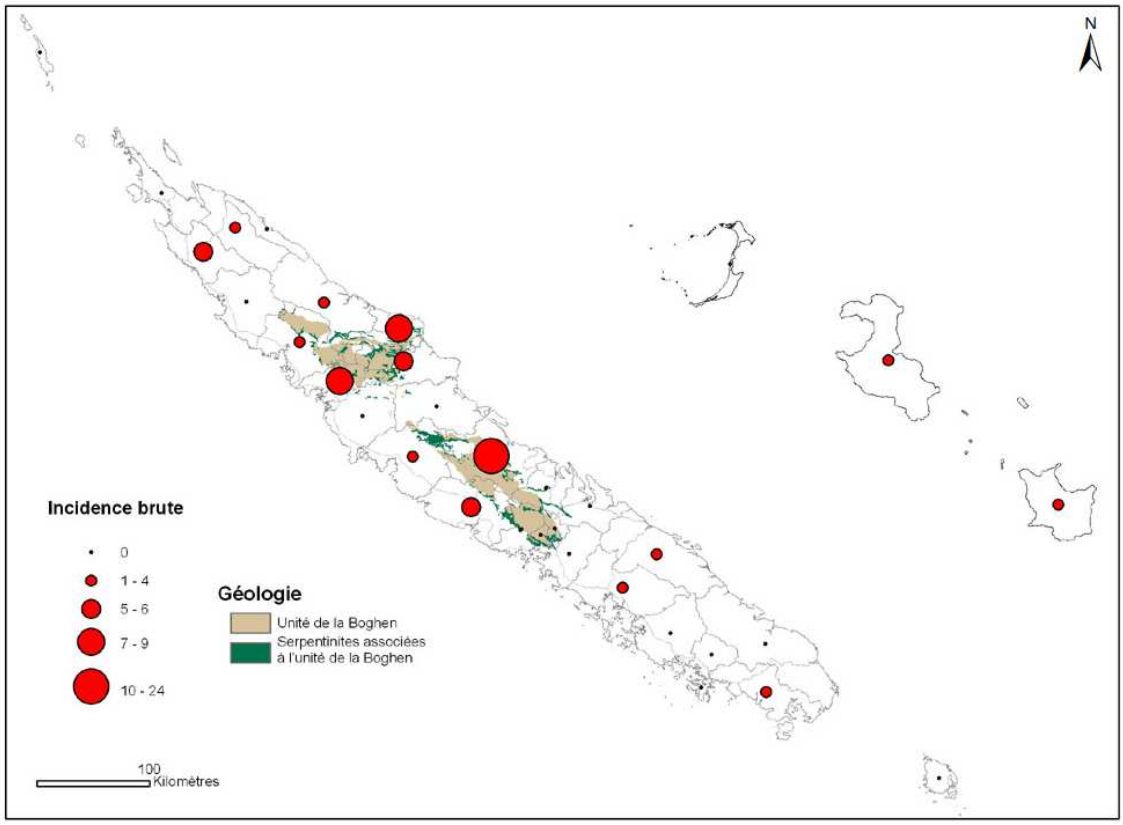


Figure 10 – Cartographie de l'unité de la Boghen et des serpentinites associées dans la Chaîne centrale *(source BRGM – DIMENC*) comparée à l'incidence brute des mésothéliomes pour 100 000 p.a. par commune de résidence, NC1984-2002

4.4. Conclusions

Cette étude a été réalisée à partir des données qui étaient disponibles au registre du cancer. Cela entrainait plusieurs limites : l'activité professionnelle, qui était rarement renseignée dans les déclarations de cancer, ne pouvait pas être prise en compte. D'après la répartition de la maladie selon l'âge et le sexe, ce risque d'exposition professionnelle concerne le groupe européen. Le groupe mélanésien présente toutes les caractéristiques d'une exposition environnementale. Par ailleurs, les communes enregistrées étaient les communes de résidence au moment du diagnostic, qui pouvaient être différentes de celles au moment de l'exposition. On pouvait raisonnablement considérer ce problème comme mineur, étant donnée la faible mobilité résidentielle des mélanésiens vivant en tribu.

Cette étape d'analyse des mésothéliomes à l'échelle de la commune a permis de cerner les deux secteurs les plus à risque en Nouvelle-Calédonie (plus d'un tiers des

cas étaient regroupés dans le secteur Houaïlou-Bourail, et près de 20% dans le secteur Koné-Touho-Poindimié), et de mettre en évidence le lien entre la maladie et la présence de serpentinite dans le sol. Le *Pö* trémolitique ne suffisait pas, à lui seul, à expliquer la répartition de la maladie en Nouvelle-Calédonie.

Suite à ces résultats, un groupe de recherche a été constitué, réunissant l'IPNC, le BRGM et l'IRD, dans le but de rechercher sur le terrain les sources d'exposition environnementale à l'amiante au moyen d'enquêtes épidémiologiques, géologiques et minéralogiques autour des cas de mésothéliome dans les secteurs à haut risque. Les résultats de ces enquêtes sont présentés dans les chapitres suivants.

ELSEVIER

Cancer Detection and Prevention 31 (2007) 70–76

Cancer Detection and Prevention

www.elsevier.com/locate/cdp

Pleural mesothelioma in New Caledonia: An acute environmental concern

Francine Baumann PhM[a,*], Yannick Rougier MD[b], Jean P. Ambrosi PhD[c], Bernard P. Robineau PhD[d]

[a] *Institut Pasteur de Nouvelle-Calédonie, Department of Epidemiology, BP 61–Noumea cedex 98845, New Caledonia*
[b] *Institut Pasteur de Nouvelle-Calédonie, Department of Anatomopathology, Noumea cedex 98845, New Caledonia*
[c] *Institut de Recherche pour le Développement, CEREGE UMR 161, Noumea cedex 98845, New Caledonia*
[d] *Institut de Recherche pour le Développement, UMR 161, Noumea cedex 98845, New Caledonia*

Accepted 24 October 2006

Abstract

Background: In 1991, a relationship was established between excess cases of pleural cancer in New Caledonia and a traditional lime, called "Pö", to cover houses. Our study aimed to determine whether the Pö is the only cause of mesothelioma in New Caledonia. *Methods*: Eligible cases were pleural tumor diagnosed between 1984 and 2002 with histological diagnosis of mesothelioma. For each case, two controls were selected from the cancer registry. Cases and controls were compared for the ethnic groups and the places of residence. To identify environmental risk factors, we used first a qualitative analysis comparing villages with and without mesothelioma cases, then a linear regression including Pö, mining activity and serpentinite in surface soil. *Results*: Sixty-eight cases were included: 37 men and 31 women. Melanesians had the highest risk (OR = 16.18; 95% CI = [5.68; 49.64]) and 30% of the cases lived in Houailou (OR = 119). Mining activity and Pö were not significant risk factors. The existence of a significant relationship between soil containing serpentinite and mesothelioma was demonstrated ($p = 0.017$). The sex ratio close to 1 and the number of young cases are consistent with environmental exposure. *Conclusion*: Pö did not explain all cases; only serpentinite in the soil was identified as a significant risk factor. A research project has been initiated in the area around Houailou, with the objective of constructing a model taking into account: exposure to the Pö, exposure to airborne pollution by asbestos fibres at the place of residence, and occupational exposure. Epidemiological and geological investigations are underway.
© 2006 International Society for Preventive Oncology. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

Keywords: Cancer; Pleural tumor; Asbestos; Pö; Serpentinite; Tremolite; Melanesian; Geological exposure; Risk factors; Airborne pollution; Geographical distribution; Ultrabasic rock; Lime; Mine dust; Mining activity; Airborne exposure

1. Introduction

Malignant pleural mesothelioma is a rare tumor resulting usually from exposure to asbestos fibres [1–5]. These minerals occur in two main silicate groups in ultramafic rock formation [6,7]: amphiboles and chrysotile. The risk of mesothelioma is the highest with amphiboles (tremolite, actinolite) and lower with chrysotile [5,8–12]. Mesothelioma may occasionally result from exposure to erionite fibres, as observed in Turkey [13]. In the same way, a few cases of mesothelioma due to silicon fibres were reported in India [14] and in Louisiana, USA, in sugar cane workers [15].

Median survival is 11 months for this tumor [16], which has a worldwide annual incidence of one to two cases per million [17,18]. Incidence increases with time since initial exposure, duration of exposure and cumulative exposure [7,9,19,20], with a mean latency period of 35 years [4,21,22]. This tumor is five times more frequent in men than in women [7,23] because 75% of cases are due to occupational exposure [24,25]. However, environment foci of mesothelioma have been identified in Greece [26,27], Cyprus [28], Turkey [29,30] and Corsica [18], in villagers living near asbestos bearing rocks [31]. Incidence rates are similar for men and women following environmental exposure [19,32].

* Corresponding author. Tel.: +687 27 36 34; fax: +687 27 33 90.
E-mail address: fbaumann@pasteur.nc (F. Baumann).

0361-090X/$30.00 © 2006 International Society for Preventive Oncology. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.
doi:10.1016/j.cdp.2006.10.009

Author's personal copy

New Caledonia is a French territory of 18.575 km^2 located in the South Pacific. This archipelago is divided into three provinces: Southern Province, Northern Province and Loyalty Islands. The largest island, called "La Grande Terre", is covered by an ophiolitic nappe of peridotite on one third of its surface. These ultramafic rocks are distributed in many massifs, some of them were mined for nickel and chrome [33]. Nowadays, nickel mining and refining underpin the economy of New Caledonia.

The population of New Caledonia was estimated in 2004 at 226,000 inhabitants, half of whom are under the age of 25. Various ethnic groups are present: Melanesians (44%), Europeans (34%), Polynesians (12%) and Asians (4%) [34]. Sixty-eight percent of the population live in the Southern Province. The east coast and Loyalty Islands are inhabited almost exclusively by Melanesians.

In 1991, a study performed by the Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale [16,20,35], concerning 15 cases of mesothelioma of which 9 were histologically confirmed, established a relationship between excess cases of primitive pleural cancer in New Caledonia and the use of a material known as "Pö", obtained from surrounding tremolite bearing outcrops, to cover the walls of houses. The analysis of some Pö samples and of airborne pollution in two houses covered with Pö were alarming enough to lead New Caledonian health authorities to initiate an information campaign outlawing the use of Pö, followed by a program of destruction of Pö-covered dwellings.

Twelve years after this study, the Cancer Registry of New Caledonia included about 100 mesothelioma cases. The world-standardized incidence of pleural cancer for the 1989–2003 period is 11.2 per 100,000 inhabitants per year for male Melanesians and 9.4 for female Melanesians, versus 3.8 for male Caucasians and 1.2 for female Caucasians [36]. The hypothesis that there were other possible contamination sources (dusts from the roads or from mining activity) could not be dismissed. The aim of our study was to determine whether the use of Pö is the only cause of pleural mesothelioma in New Caledonia. A case-control study of mesothelioma registered between 1984 and 2002 was conducted by the *Institut Pasteur de Nouvelle-Calédonie*.

2. Materials and methods

All occurrences of pleural mesothelioma are registered in the Cancer Registry of New Caledonia. Eligible cases were defined as registered persons with pleural malignant tumor diagnosed between 1984 and 2002, resident in New Caledonia, for which the declaration form was accompanied by histological diagnosis. During this period, 89 pleural malignant cancers were recorded in the Cancer Registry of New Caledonia. The diagnosis of mesothelioma was confirmed by histology and immunohistochemical marking for 68 of these cancers, which constituted the cases included in our study. If there were any doubt, the case was submitted for confirmation to MESOPATH, a French expert committee of pathologists.

For each case, we selected two controls from the Cancer Registry of New Caledonia, matched by gender, age and date of diagnosis. All controls had cancers at sites other than the pleura, peritoneum or lung. The major limitation of our choice is that cancer controls do not represent exactly the population of New Caledonia; for example, Caucasians are a little over-represented: this group composes 47.8% of the controls, and represents 42.3% of the general population aged more than 30 years. But these controls have the advantage of representing the same population as the mesothelioma cases as regards the access to health care and diagnosis. The second advantage of cancer controls is that data are collected in similar conditions for cases and controls.

We collected the following data for cases and controls: gender, age at diagnosis, ethnic group, place of residence, cancer site, date of diagnosis. We compared cases and controls for the variables "ethnic group" and "place of residence". Because of the small number of cases, the districts which had a number of inhabitants <1000 were merged with the closest district. The age-adjusted incidence rates were calculated using the 1989 census of New Caledonia and the World standard population.

For assessment of the asbestos exposure levels the following data for each place of residence were collected: the number of houses covered with Pö registered by the provincial authorities, the level of mining activity (major or minor), and an estimation of the grade of asbestos in the surface soil. The registration of houses covered with Pö by provincial authorities may not be full and complete. The data were collected during a very large campaign organized in 1997 over the whole territory, whose aim was to take down all the dwellings covered with Pö containing fibres. For each dwelling, a piece of Pö was taken and analysed by optical microscopy. This analysis carried out on the spot could not make a diagnosis of the mineralogical structure of the fibres (chrysotile or tremolite for example), and could have missed the very small fibres; some very isolated dwellings could also have been missed. But these possible reasons for non-exhaustive data did not seem to introduce a selection bias, and it was useful to compare the distribution of dwellings covered with Pö with the distribution of mesothelioma cases.

The asbestos grade was attributed to each district of residence according to the geological map of New Caledonia [33]. Each village was grouped with the Melanesian tribes which are located in the same district. The criterion used was the presence of serpentinite in the soil at a distance of less than 5 km from dwellings in the district. This distance corresponds to a 1-h walk, and walking is the mean of getting about most frequently used by Melanesians:

- grade = 0 if there is no serpentinite in the soil;
- grade = 1 if serpentinite is found in soil more than 5 km from dwellings;

Author's personal copy

- grade = 2 if serpentinite is found less than 5 km away from one tribe;
- grade = 3 if serpentinite is found less than 5 km away from several tribes.

In New Caledonia, the geographical distribution of the inhabitants is defined by the location of customary lands, and a large majority still live in the same area:

- Melanesian tribes live in areas defined by custom; some young Melanesians migrate to the main city Nouméa, but most of them are accustomed to returning to their tribal lands during weekends and holidays,
- Regarding Caucasians: rural people generally live in their own farming community, or in the village where they were born, and most people coming from France live in and around Nouméa.

Although the median time of latency is about 35 years for mesothelioma, and it was possible for some people to have changed their place of residence, we chose to keep the current place of residence for the analysis because the only notable movement of population was from their tribe/village to Nouméa; in this instance, some mesothelioma cases or controls were attributed to Nouméa instead of the subject's tribal district, where they could have been exposed.

Data were analysed with EpiInfo 6.04fr and STATA SE8. Relative risks were estimated by calculating odds ratios. To identify risk factors for mesothelioma, we first compared cases and controls using Mantel-Haenzel χ^2 tests, or Fisher's exact tests when the theoretical numbers were small, with an α risk of 0.05. Then we used two methods to compare the districts with mesothelioma cases and those with no mesothelioma cases: the first method was univariate and multivariate logistic regression. The second was univariate and multivariate linear regression, taking into account the number of cases and the risk factor levels. As the number of districts was small ($n = 28$), the risk level chosen for this analysis was 0.10.

3. Results

3.1. Description of cases and controls

Sixty-eight cases of mesothelioma were confirmed by histology, giving a crude incidence of 2 per 100,000 inhabitants per year. The cases comprised 37 men and 31 women, 31–81 years old. The mean age of the cases was 58.9 years (60.7 for men and 56.3 for women) and the median age was 59 years, with 17 cases under the age of 50. The age distribution was similar for both sexes.

The controls comprised 74 men and 62 women, aged 32–83 years. The mean age of the controls was 60.8 years for men and 56.8 years for women. Sixty-five controls were Caucasian (47.8%), 49 were Melanesian (36.0%), 8 were Wallisian (5.9%), and 14 belonged to other ethnic groups (Table 1). For the controls, the recorded cancer sites were: digestive in 41 cases (30.1%), thyroid in 20 cases (14.7%), breast in 15 cases (11.0%), oropharynx in 15 cases (11.0%), ovary and uterus in 12 cases (8.8%), cutaneous in 8 cases (5.9%), and others in 30 cases. This distribution is similar to the overall distribution of cancers in New Caledonia [3].

3.2. Ethnic and geographical risk factors for malignant pleural mesothelioma

Sixty-one of the mesothelioma cases (89.7%) were Melanesian, with a standard incidence rate (SIR) of 7.52 per 100,000 inhabitants per year, 5 were Caucasian (SIR: 0.57), 1 was Tahitian (SIR: 1.18) and 1 was Indonesian (SIR: 1.36) (Table 1). All Caucasian cases concerned men over the age of 60. The ethnic group with the highest level of exposure was the Melanesians (OR = 16.18; 95% CI = [5.68; 49.64]), with a sex ratio equal to 1.03.

About 30% of the cases, all Melanesian, lived in the area of Houailou (Table 2, Fig. 1), on the east cost of Northern Province. The places of residence associated with the highest risk of mesothelioma were:

Table 1
Distribution of cases and controls by gender, age class and ethnic group, age-adjusted incidence rates (SIR) of mesothelioma and odds-ratios by ethnic group, New Caledonia 1984–2002

	Caucasian	Melanesian	Wallisian	Tahitian	Indonesian	Ni-Vanuatu	Asian	Mixed race	Un-known	Total
Cases	5 (7.4%)	61 (89.7%)	0 (0.0%)	1 (1.5%)	1 (1.5%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	68 (100%)
M: 30–39/40–49 50–59/60–69/70+[a]	0/0/0/3/2	2/3/9/8/9	–	1/0/0/0/0	0/0/0/0/0	–	–	–	–	37
W: 30–39/40–49 50–59/60–69/70+[b]	0/0/0/0/0	2/6/10/8/6	–	0/0/0/0/0	0/0/1/0/0	–	–	–	–	31
Controls	65 (47.8%)	49 (36.0%)	8 (5.9%)	2 (1.5%)	2 (1.5%)	1 (0.7%)	3 (2.2%)	1 (0.7%)	5 (3.7%)	136 (100%)
SIR[c]	0.57	7.52	–	1.18	1.36	–	–	–	–	2.0
OR [95%CI]	1	16.18 [5.68;49.64]	–	–	–	–	–	–	–	

[a] M: 30–39/40–49/50–59/60–69/70+: distribution of men by age class.
[b] W: 30–39/40–49/50–59/60–69/70+: distribution of women by age class.
[c] Per 100,000 inhabitants per year, 1989 census (ISEE).

Author's personal copy

Table 2
Distribution of mesothelioma cases and controls by district of residence in New Caledonia, age-adjusted incidence rates (SIR) for 100,000 inhabitants per year, number of dwellings covered with Pö, grade of serpentinite and mining activity

District of residence	Inhabitants[a]	Frequency		SIR	OR [95% CI]	p	Pö	Grade of serpentinite	Mining activity in area
		cases	controls						
Noumea	65,110	3	44	0.4	1		0	0	1
Houailou	3,671	20	1	53.0	119 [34; 502]	$<10^{-6}$	40	3	1
Kone-Pouembout	3,773	7	5	16.2	40 [6; 196]	$<10^{-6}$	175	1	1
Touho	1,963	3	0	9.9	33 [5; 215]	$<10^{-6}$	24	2	0
Bourail	4,122	4	6	5.4	21 [4; 112]	$<10^{-6}$	17	2	1
Koumac	2,194	2	7	8.0	20 [2; 145]	$<10^{-5}$	0	1	1
Poindimié	3,590	3	4	6.6	18 [3; 112]	$<10^{-5}$	10	2	0
Boulouparis	1,456	1	1	3.5	–		0	1	0
Voh	1,686	1	3	3.2	–		1	1	1
Ouégoa	1,881	1	0	4.3	–		14	2	0
Poya	1,862	1	2	3.5	–		0	2	2
Hienghène	2,122	1	2	3.3	–		90	2	0
Thio	2,368	1	3	4.8	–		0	2	2
Mont Dore	16,370	6	8	2.3	–		0	0	1
Mare	5,646	1	1	1.5	–		0	0	0
Paita	6,049	1	6	1.7	–		0	0	1
Lifou	8,726	1	10	0.7	–		0	0	0
Kaala-Gomen	1,549	–	2	–	–		31	1	1
Poum	1,038	–	2	–	–		13	1	0
Ponerihouen	2,326	–	0	–	–		2	0	0
Canala	2,732	–	1	–	–		9	2	2
Kouaoua	1,234	–	2	–	–		6	1	2
La Foa–Moindou	3,253	–	3	–	–		10	1	0
Pouebo	2,242	–	2	–	–		0	0	0
Yate	1,408	–	0	–	–		0	0	1
Dumbea	10,052	–	6	–	–		0	0	1
Ouvea	3,540	–	3	–	–		0	0	0
Ile des Pins	1,465	–	0	–	–		0	0	0
Unknown		11	12			–	–		
Total	164,173	68	136	1.8	–		442		

The number of cases of each district is compared with the number of cases in Noumea; districts where the number of inhabitants is <1000 are grouped with the neighboring district.
[a] 1989 census (ISEE).

- Houailou (OR = 119, 95% CI = [34; 502], $p < 10^{-6}$)
- Koné (OR = 52, 95% CI = [12; 254], $p < 10^{-6}$)
- Touho (OR = 33, 95% CI = [5; 205], $p < 10^{-6}$).

3.3. Environmental risk factors for malignant pleural mesothelioma (Table 3)

More than one third of all cases living in dwellings covered with Pö were registered in Koné, 20% were in Hienghène, 9% in Houailou and 7% in Kaala-Gomen (Table 2, Fig. 1). Comparison of districts with and without mesothelioma cases by using either logistic regression or linear regression did not show any significant relationship between Pö and mesothelioma (Tables 2 and 3). Indeed, some districts containing houses covered with Pö and registered with the local authorities had no mesothelioma cases (Poum, Pouembout, Ponerihouen, Sarraméa), and other districts with registered mesothelioma cases had no houses covered with Pö (Koumac, Voh, Boulouparis). Although during 1984–1994, 80% of cases lived in a district in which houses covered with Pö were registered, versus only 59% during 1995–2002, no significant difference in the level of exposure to Pö was observed between the two periods: ($p = 0.078$).

Four districts were classified as having major mining activity: Thio, Poya, Canala, Kouaoua (Table 2, Fig. 1). No relationship was found between mining activity and mesothelioma.

Serpentinite was localized in the soil of 21 districts. It was located close to dwellings in nine districts, including Houailou (Table 2). Univariate logistic regression demonstrated the existence of a relationship (OR = 2.61; 95% CI = [0.96; 7.15]) between the presence of serpentinite in the soil and mesothelioma (Table 3). By using linear regression, the presence of serpentinite in the soil was found to be significantly associated with mesothelioma ($p = 0.017$).

Multivariate analysis, made by using linear regression, demonstrated the existence of a significant relationship between serpentinite and mesothelioma ($p = 0.067$); the other risk factors included in the model were not significant, but a relationship was found between Pö and serpentinite ($p = 0.022$). Multivariate logistic regression did not show any significant association, but the odds ratio concerning the presence of serpentinite in the soil between districts with and

Author's personal copy

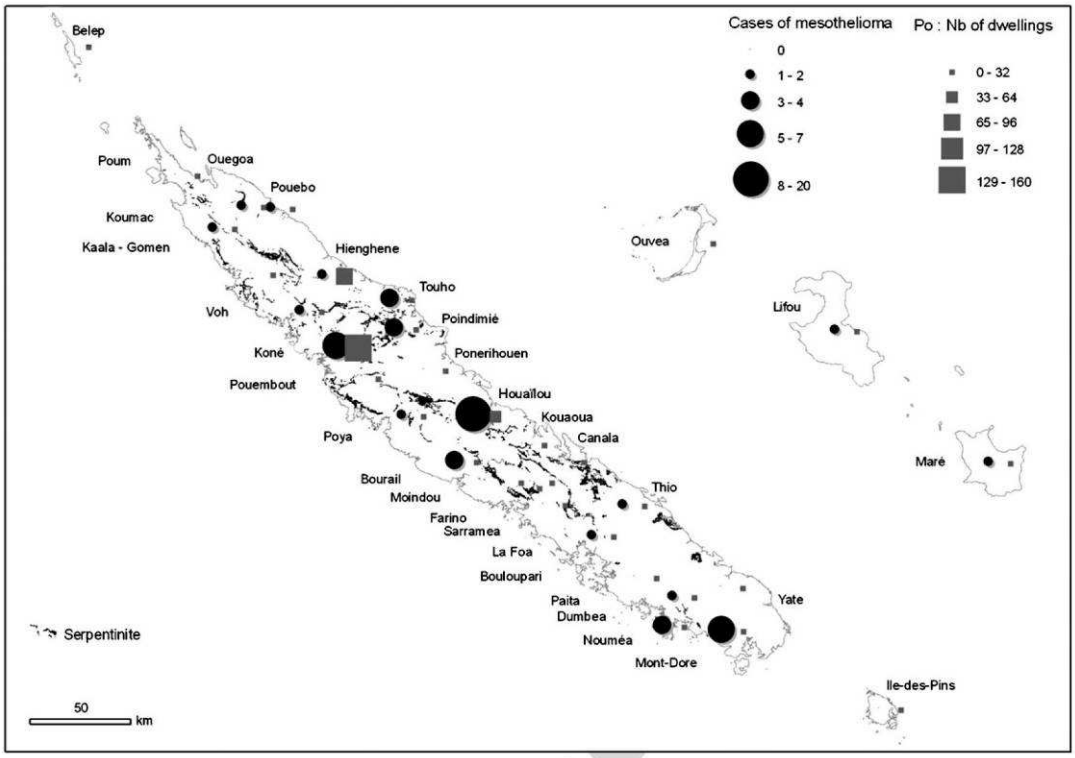


Fig. 1. Map of New Caledonia: geographical distribution of mesothelioma, Pö and serpentinite.

Table 3
Comparison of the districts with ($n = 17$) and without ($n = 15$) mesothelioma cases

	Logistic regression				Linear regression			
	Univariate analysis		Multivariate analysis		Univariate analysis		Multivariate analysis	
	Odds ratio [95%CI]	p	Odds ratio [95%CI]	p	$R2$	p	Coefficient (standard error)	p
Pö	1.02 [0.97; 1.07]	0.357	1.01 [0.98; 1.04]	0.598	0.129	0.061	0.028 (0.020)	0.179
Serpentinite	2.61 [0.96; 7.15]	0.061	2.49 [0.82; 7.58]	0.109	0.199	0.017	1.576 (0.820)	0.067
Mining activity	1.15 [0.39; 3.37]	0.800	0.84 [0.24; 2.90]	0.782	0.014	0.542	0.150 (1.003)	0.883

without mesothelioma cases was equal to 2.49 (95% CI = [0.82; 7.58]).

4. Discussion

Fourteen years after the initial study conducted by INSERM, the number of malignant pleural mesothelioma cases recorded in the Cancer Registry of New Caledonia, and confirmed by pathology, had increased by a factor of five, making it possible to carry out multifactorial analysis and to take the local Pö problem into account better.

Incidences by district were largely underestimated, particularly as place of residence was unknown for 11 of the 68 cases (16.2%). Furthermore, as this disease is often rapidly fatal, cases living in tribal areas far from care centers may not have been diagnosed. Despite these likely causes of underestimation, which apply particularly to Melanesians, the age-adjusted incidence rate was much higher in this group. The estimated relative risk for Melanesians was 16 times higher than that for Caucasians.

All malignant pleural mesothelioma cases in Caucasians occurred in men over the age of 60; these cases may have resulted from occupational exposure. In the other groups, the sex ratio close to 1 and the number of cases in patients under the age of 50 were consistent with environmental exposure. In New Caledonia, Caucasians live mainly in cities or rural towns, and very few in isolated ranches, but most Melanesians live in tribal areas. Even when they live in Noumea, they often return to their family's tribal area for long periods. The environmental problem may be due to an exposure to the Pö covering the dwellings of their tribe, if this Pö contains asbestos, or an exposure to the airborne pollution coming from ultramafic rocks uncovered by human activities.

Author's personal

Most of the cases lived along two geographical axes: the Bourail–Houailou axis in the southern third of New Caledonia (35.3% of all cases), and the Koné–Touho–Poindimié axis in the northern third of New Caledonia (19.1% of all cases). Both axes cross geological areas rich in ultrabasic rocks, where tracks run across the mountain chain and connect some tribal areas far from the coast.

We used two methods to analyse the districts and their possible risk factors; because of the small number of districts we first used logistic regression, comparing districts with and districts without mesothelioma cases, and then used linear regression to take into account the levels of the risk factors and the number of cases. The first method, which is qualitative, did not show any significant relationship between Pö and mesothelioma, while the quantitative method demonstrated the opposite by univariate analysis. In multivariate analysis, only the presence of serpentinite in the soil of the place of residence was identified as a significant risk factor for mesothelioma. The relationship between Pö and serpentinite could explain the results of the univariate linear regression.

Serpentinite is dangerous only if asbestos fibres are released, which may occur if the mineral is uncovered and if meteorological conditions or human activities lead to the suspension of soil dust in the air (dwellings downwind of mines or along tracks, for example). Pö could be dangerous if it was made with outcroppings which may contain asbestos fibres. This is possible where serpentinite is localized. Our evaluation of the serpentinite risk factor was limited by the precision of geological maps of New Caledonia. These maps were initially drawn up to provide information about mining resources. We now need to outline precise risk areas.

We could not consider all risk factors for mesothelioma in this retrospective study because it was based on the Cancer Registry of New Caledonia; occupational activities of patients in the mining sector (haulage, prospecting), in particular, were not considered. The aim of this first study was to analyse the geographical distribution of mesothelioma cases, and the relationship between this geographical distribution and the distribution of Pö, serpentinite and mining activity, which could be the origins of environmental exposure.

Mesothelioma is thus a multifactorial problem in New Caledonia. A research project financed by the French Overseas Territories Ministry has been initiated in the areas around Bourail and Houailou, with the aim of increasing our understanding of this problem. The objective is to construct and test a model taking into account all the known risk factors for mesothelioma: time of exposure to Pö, time of exposure to airborne pollution by tremolite or chrysotile at the place of residence, occupational exposure. Epidemiological and geological investigations are underway, with geochemical analysis of all samples. All the data will be integrated into a Geographical Information System.

Acknowledgements

We especially acknowledge Pierre Maurizot, manager of the New Caledonian section of the Bureau de Recherche Géologique et Minière, for his production of the map of New Caledonia with the graphical representation of the geographical distribution of mesothelioma, Pö and tremolite.

Sources of support: The Cancer Registry of New Caledonia functions with the financial support of: the Institut de veille sanitaire (IVS), the Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM), the Territoire de la Nouvelle-Calédonie and the Institut Pasteur. The data were recorded by using can Reg3, developed by the International Agency for Research on Cancer (IARC). The statistic analysis were done by using EpiInfo 6.04fr and STATA SE8.

References

[1] Dodson RF, O'Sullivan M, Brooks DR, Hammar SP. Quantitative analysis of asbestos burden in women with mesothelioma. Am J Ind Med 2003; 43(2):188–95.
[2] Merler E, Chellini E. Epidemiology of primary tumors of the pleura. Ann Ist Super Sanita 1992; 28(1):133–46.
[3] Morinaga K, Kishimoto T, Sakatani M, Akira M, Yokoyama K, Sera Y. Asbestos-related lung cancer and mesothelioma in Japan. Ind Health 2001; 39(2):65–74.
[4] Niklinsky J, Niklinska W, Chyczewska E, Laudanski J, Naumnik W, Chyczewski L, et al. The epidemiology of asbestos-related diseases. Lung Cancer 2004; 45(S1):S7–15.
[5] Suzuki Y, Yuen SR. Asbestos fibers contributing to the induction of human malignant mesothelioma. Ann N Y Acad Sci USA 2002; 982:160–76.
[6] Marchevsky AM, Wick MR. Current controversies regarding the role of asbestos exposure in the causation of malignant mesothelioma: the need for an evidence-based approach to develop medicolegal guidelines. Ann Diagn Pathol 2003; 7(5):321–32.
[7] Cugell D, Kamp D. Asbestos and the pleura. Chest 2004; 125:1103–17.
[8] Ross D, McDonald JC. Occupational and geographical factors in the epidemiology of malignant mesothelioma. Monaldi Arch Chest Dis 1995; 50(6):459–63.
[9] Hodgson JT, Darnton A. The quantitative risks of mesothelioma and lung cancer in relation to asbestos exposure. Ann Occup Hyg 2000; 44(8):565–601.
[10] Landrigan PJ, Nicholson WJ, Susuki Y, Ladou J. The hazards of chrysotile asbestos: a critical review. Ind Health 1999; 37(3):271–80.
[11] Nicholson WJ, Raffn E. Recent data on cancer due to asbestos in the U.S.A. and Denmark. Med Lav 1995; 86(5):393–410.
[12] Rees D, Myers JE, Goodman K, Fourie E, Blignaut C, Chapman R, et al. Case-control study of mesothelioma in South Africa. Am J Ind Med 1999; 35(3):213–22.
[13] Baris YL, Artvinli M, Sahin LAA. Environmental mesothelioma in Turkey. Ann NY Acad Sci 1979; 330:423–32.
[14] Das PB, Fletcher AG, Deodhare SG. Mesothelioma in an agricultural community in India: a clinicopathological study. Aust NZ J Surg 1976; 46:218–26.
[15] Rothschild H, Mulvey JJ. An increased risk for lung cancer mortality associated with sugar cane farming. J Natl Cancer Inst 1982; 68:755–60.
[16] Goldberg M, Goldberg P, Leclerc A, Chastang JF, Marne MJ, Dubourdieu D. A 10-year incidence survey of respiratory cancer and a case-

Author's personal copy

control study within a cohort of nickel mining and refining workers in New Caledonia. Cancer Causes Control 1994; 5:15–25.
[17] MacDonald AD, MacDonald JC. Epidemiology of malignant mesothelioma. Asbestos Relat Malignancy 1986;31–5.
[18] Rey F, Viallat JR, Boutin C, Farisse P, Billon-Galland MA, Hereng P, et al. Les mésothéliomes environnementaux en Corse du nord-est. Rev Mal Respir 1993; 10:339–45.
[19] Hansen J, de Klerk NH, Musk AW, Hobbs MS. Environmental exposure to crocidolite and mesothelioma: exposure-response relationships. Am J Respir Crit Care Med 1998; 157(1):69–75.
[20] Goldberg P, Goldberg M, Marne MJ, Hirsch A, Tredaniel J. Incidence of pleural mesothelioma in New Caledonia: a 10-year survey (1978–1987). Arch Environ Health 1991; 46:306–9.
[21] Rogers A, Nevill M. Occupational and environmental mesotheliomas due to crocidolite mining activities in Wittenoom, Western Australia. Scand J Work Environ Health 1995; 21(4):259–64.
[22] Britton M. The epidemiology of mesothelioma. Semin Oncol 2002; 29(1):18–25.
[23] Leigh J, Davidson P, Hendrie L, Berry D. Malignant mesothelioma in Australia, 1945–2000. Am J Ind Med 2002; 41(3):188–201.
[24] Viallat JR, Farisse P, Rey F, Boutin C. Epidemiologie et etiologie des mésotheliomes. Rev Prat 1990; 40:1842–5.
[25] Rees D, Goodman K, Fourie E, Chapman R, Blignaut C, Bachmann MO, et al. Asbestos exposure and mesothelioma in South Africa. S Afr Med J 1999; 89(6):627–34.
[26] Constantopoulos SH, Malamou-Mitsi V, Goudevenos J, Papathanasiou MP, Pavlidis NA, Papadimitriou CS. High incidence of malignant pleural mesothelioma in neighbouring villages of North-Western Greece. Respiration 1987; 51:266–71.
[27] Koike S. Health effects of non-occupational exposure to asbestos. Sangyo Igaku 1992; 34(3):205–15.
[28] McConnochie K, Simonato L, Mavrides P, Christofides P, Pooley FD, Wagner JC. Mesothelioma in Cyprus: the role of tremolite. Thorax 1987; 42:342–7.
[29] Yazicioglu S, Ilcayto R, Balci K, Sayli BS, Yorulmaz B. Pleural calcification, pleural mesotheliomas, and bronchial cancers caused by tremolite dust. Thorax 1980; 35:564–9.
[30] Gulmez I, Karl L, Buyukoglan H, Er O, Balkanli S, Ozesmi M. Evaluation of malignant mesothelioma in central Anatolia: a study of 67 cases. Can Respir J 2004; 11(4):287–90.
[31] Szeszenia-dabrowska N, Wilczynska U, Szymczak W, Laskowicz K. Environmental exposure to asbestos in cement workers: a case of additional exposure from indiscriminate use of industrial wastes. Ind J Occup Med Environ Health 1998; 11(2):171–7.
[32] Magee F, Wright JL, Chan N, Lawson L, Churg A. Malignant mesothelioma caused by childhood exposure to long-fiber low aspect ratio tremolite. Am J Ind Med 1986; 9:529–33.
[33] Paris JP. Atlas de la Nouvelle-Calédonie, Géologie [map]. Service cartographique de l'ORSTOM; 1981.
[34] Ahmed-Michaux P, Roos W. Images de la population de la Nouvelle-Calédonie. Principaux résultats du recensement 1996. Nouméa: Démographie Société;1997. p. 55.
[35] Luce D, Bugel I, Goldberg P, Goldberg M, Salomon C, Billon-Galland MA, et al. Environmental exposure to tremolite and respiratory cancer in New Caledonia: a case-control study. Am J Epidemiol 2000; 151(3):259–65.
[36] Baumann F. Rapport du Registre du cancer de Nouvelle-Calédonie. Noumea: Institut Pasteur de Nouvelle-Calédonie; 2003.

Author's personal copy

Chapitre 5. Enquêtes épidémiologiques et géologiques

« Ce sont rarement les réponses qui apportent la vérité, mais l'enchainement des questions » Daniel Pennav, La Fée Carabine

5.1. Objectifs et étapes

L'objectif principal de ces travaux était de déterminer la (ou les) source(s) possible(s) d'exposition environnementale à l'amiante en Nouvelle-Calédonie, afin d'évaluer le risque sanitaire d'exposition à l'amiante environnemental et que des actions de prévention puissent être menées, de façon à compléter celles déjà entreprises concernant le *Pö*. L'enquête épidémiologique devait déterminer les zones de résidence des cas au moment probable de l'exposition à l'amiante et les activités professionnelles ou domestiques qui pouvaient être à l'origine de l'exposition ; l'enquête géologique avait pour but d'identifier les substrats potentiellement amiantifères dans l'habitat et dans l'environnement géologique proche des cas étudiés ; la confrontation des données épidémiologiques et géologiques devait permettre la hiérarchisation de ces substrats.

L'équipe de recherche était constituée de Pierre Maurizot, expert senior en géologie, directeur de l'antenne BRGM de Nouvelle-Calédonie, Bernard Robineau, enseignant-chercheur en géologie de l'environnement détaché à l'Institut de Recherche pour le Développement (UMR 161), Jean-Paul Ambrosi, géochimiste de l'environnement, chargé de recherche au Centre National de la Recherche Scientifique, détaché à l'Institut de Recherche pour le Développement (UMR 161) et moi-même, épidémiologiste à l'Institut Pasteur de Nouvelle-Calédonie et responsable scientifique du registre du Cancer de Nouvelle-Calédonie,

Nos enquêtes se sont déroulées en trois étapes, suivant les trois projets successifs financés par le Ministère de l'Outre-Mer et complétés par le Gouvernement de la

Nouvelle-Calédonie. La première série d'enquêtes a été réalisée dans les communes de Houaïlou et Bourail, qui représentaient le secteur à plus haut risque de mésothéliome avec 35% des cas enregistrés (*figure 11*). La seconde série a été réalisée dans les communes de Koné, Touho et Poindimé, second secteur à haut risque avec environ 20% des cas. Enfin tous les cas restants, enregistrés sur la période 1984-2008 en Nouvelle-Calédonie, ont été investigués dans une troisième étape.

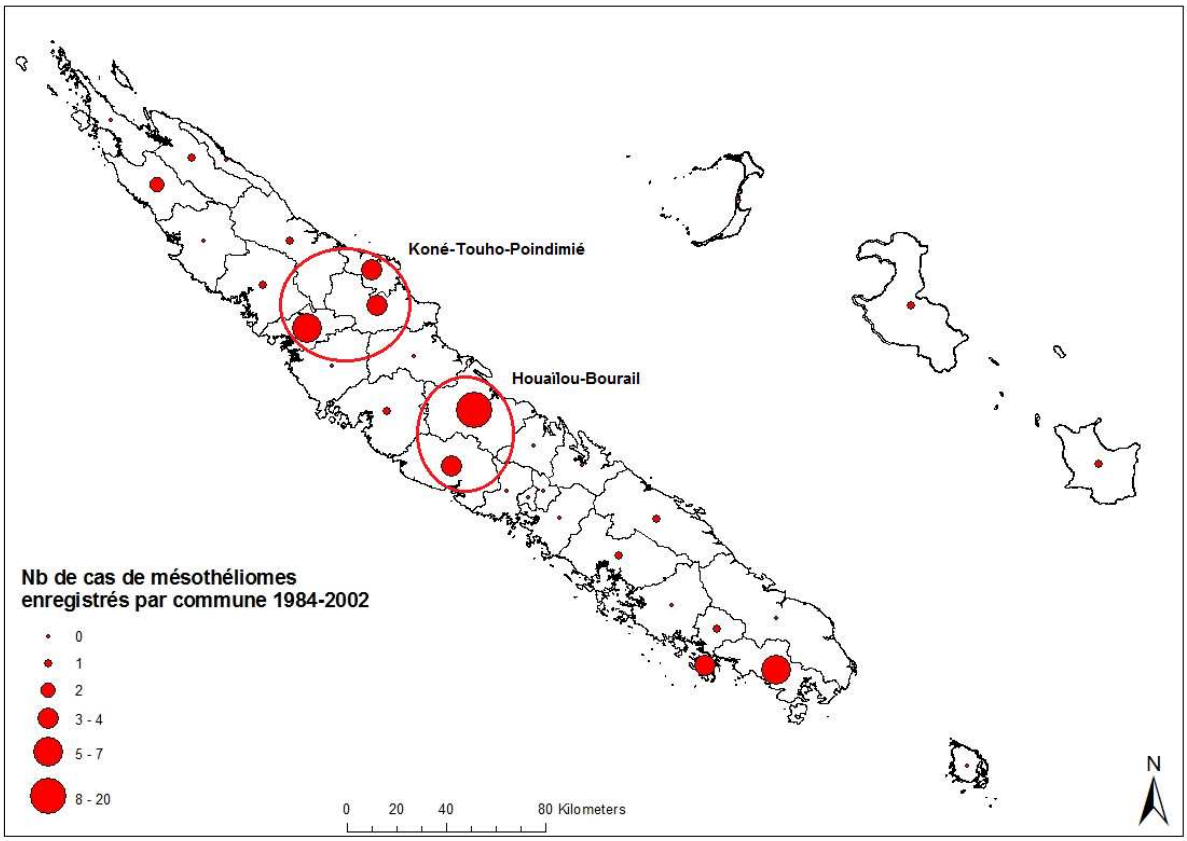


Figure 11 – Cartographie des nombres de cas de mésothéliomes recensés par commune, NC1984-2002

Les deux secteurs à risque identifiés figurent cerclés en rouge: autour de la transversale Houaïlou-Bourail (35% des cas) au centre, et autour de la transversale Koné-Touho-Poindimié, (19% des cas) au Nord.

Les deux centroïdes au sud correspondent aux cas enregistrés à Nouméa et au Mont Dore, les communes les plus importantes de Nouvelle-Calédonie, qui regroupent plus de 50% de la population. En termes d'incidence, ces deux

communes présentent les chiffres parmi les moins élevés de Nouvelle-Calédonie (cf chapitre précédent).

5.2. Méthodologie

5.2.1. Enquêtes épidémiologiques et géologiques

Les **enquêtes sur le terrain** avaient lieu après avoir pris contact et informé les mairies des communes concernées. L'enquête épidémiologique consistait à reconstituer les histoires résidentielles, scolaires et professionnelles des cas. Les services de l'état-civil ont été interrogés afin de situer la famille de chacun des cas de mésothéliome enregistrés sur la commune; nous avons obtenu de la sorte des contacts dans les différentes tribus concernées, à partir desquels nos recherches ont été facilitées. Au moins deux membres de la famille étaient rencontrés pour chaque cas étudié : conjoint, frère/sœur, ou enfant.

Un **questionnaire** a été élaboré, afin de recueillir les données suivantes :

- date et lieu de naissance
- date de décès
- lieux successifs d'habitation (coordonnées GPS, années de début et fin)
- description des habitations (matériau de construction, *Pö*)
- écoles fréquentées (coordonnées GPS, internat, années de début et fin)
- activités professionnelles (lieux successifs, années début et fin)
- activités professionnelles du conjoint pour les femmes
- activités domestiques: travaux aux champs, préparation du *Pö* (lieux, années de début et fin)
- autres activités (années de début et fin).

Les **lieux de résidence** successifs étaient repérés au GPS ; dans le cas où des cases recouvertes de *Pö* existaient encore sur les sites d'études, des échantillons étaient prélevés sur les murs extérieurs et intérieurs. Si le cas étudié avait vécu dans une case recouverte de *Pö* maintenant détruite, les anciens de la tribu étaient interrogés afin de situer les lieux de prélèvement du *Pö*, une observation

macroscopique du matériau était réalisée et des échantillons prélevés si le matériau présentait une potentialité de contenir des fibres.

La **géologie** des environs de la tribu (affleurements, pistes d'accès, talus, carrières) était examinée, repérée au GPS et échantillonnée, en particulier toutes les variétés de roches serpentineuses et/ou métamorphiques potentiellement sources d'amiante (serpentines, amphiboles). Des prélèvements étaient également réalisés sur les secteurs miniers proches des tribus.

La fiabilité des **cartes géologiques** a été examinée et vérifiée sur le terrain, afin de corriger et éventuellement compléter ces cartes concernant les zones d'affleurement des roches potentiellement amiantifères.

5.2.2. Analyses mineralogiques

Les différents prélèvements réalisés sur les cases recouvertes de *Pö*, sur les sources de *Pö*, sur les roches rencontrées autour des lieux d'habitation, sur les routes et carrières, sur les mines, ont été analysés dans un premier temps par microscopie optique en lumière polarisée (MOLP) au service de la DIMENC. Une partie de chaque échantillon est écrasée finement au mortier et la poudre obtenue diluée dans l'eau. La solution est ensuite étalée et séchée sur une lame de verre. Le dépôt est ensuite observé sur un microscope pétrographique, en lumière naturelle, pour constater et quantifier la présence de fibres et leur dimension moyenne grâce au réticule gradué sous plusieurs grossissements, puis sous lumière polarisée pour vérifier la nature minérale de ces fibres. Cette étape permet de décrire le matériau et de sélectionner les éléments fibreux. Le MOLP ne permet cependant pas de détecter les fibres de très faible diamètre.

Une analyse par diffraction des rayons X était ensuite réalisée au CEREGE, Aix-en-Provence, ou au BRGM, Orléans, afin d'identifier les minéraux principaux constituant les matériaux. La poudre d'échantillon est placée dans un portoir qui est soumis au rayonnement. Les pics de diffraction étant spécifiques de la structure de chaque minéral, leur analyse permet une détermination fine de tous les minéraux présents dans la poudre. Cette technique est surtout qualitative et ne peut donner qu'une

indication semi-quantitative de la présence des minéraux. Le seuil de détection est de l'ordre de 5%, mais peut largement varier en fonction de la nature des différentes phases.

Les observations au microscope électronique à balayage (MEB) ont été effectuées sur des échantillons choisis au CRMCN de Luminy, Marseille, ou au microscope électronique à transmission (MET) au BRGM.

5.2.3. Présentation des résultats et cartographies

L'ensemble des données (incidences des cas par tribus, divers facteurs de risque étudiés : exposition professionnelle, habitat recouvert de *Pö* « trémolitique », présence d'affleurements contenant des fibres d'amphiboles ou de serpentines, proximité de sites miniers…) ont été rassemblés dans un Système d'Information Géographique (ArcGis d'ESRI) afin de construire des cartes de la région étudiée, pour une meilleure évaluation du risque amiante environnemental.

Les taux d'incidence par tribu (pour 100 000 personnes années) ont été calculés à partir des données des recensements de 1983, 1989 et 1996.

Les cartes géologiques sur lesquelles sont superposées les différentes informations recueillies (incidences, résultats d'analyses minéralogiques) sont basées sur l'édition de la carte géologique à l'échelle du 1 / 200 000 [*Paris 1981*]. Cette échelle très synthétique a été utilisée dans un souci de simplification de lecture de l'information. Sur le terrain, nous avons utilisé une couverture plus détaillée à l'échelle du 1 / 50 000. Cette couverture est de qualité très inégale et les cartes n'ont pas été révisées depuis plus de 20 ans. La carte de Houaïlou a été levée dans les années 1971 à 1975 pour être publiée en 1983. La carte de Mé Maoya a été levée dans les années 1972 à 1980 pour être publiée en 1983. La base de données constituée est géoréférencée dans le système Lambert RGNC 1991.

5.3. Confrontation des données épidémiologiques et des données géologiques dans le secteur à haut risque de mésothéliome des communes de Houailou et de Bourail.

Cette série d'enquêtes a fait l'objet du premier financement obtenu auprès du Ministère de l'Outre-Mer : les résultats présentés ci-dessous ont été publiés dans le rapport IPNC FB MOM 2007 [*Baumann 2007b*].

5.3.1. Bilan de l'enquête épidémiologique

Cas inclus

Les cas inclus sont tous les cas de mésothéliome malin pleural confirmés par l'histologie, recensés au Registre du cancer de Nouvelle-Calédonie de 1984 à 2002 inclus sur les communes de Houaïlou et Bourail, soit 24 cas.

Afin de rechercher si des cas de mésothéliome pouvaient manquer au registre, nous avons rencontré les médecins des dispensaires de Bourail et de Houaïlou, ainsi que le pneumologue de Bourail. Nous avons ainsi appris que l'ensemble du corps médical et paramédical a été sensibilisé depuis le début des années 1990 au problème du mésothéliome; des missions sanitaires sur le terrain ont été mises en place. Toute personne présentant des signes suspects est systématiquement envoyée au CHT à Nouméa. A Houaïlou, les tribus situées dans la chaîne centrale sont très éloignées du dispensaire, ce qui rend l'accès aux soins plus difficile. Pour compenser cet éloignement, des tournées sont réalisées en tribu par les équipes médicales et paramédicales. Le mésothéliome est une maladie douloureuse, qui suscite rapidement l'appel à des structures médicales ; il serait peu probable que ces personnes soient restées éloignées des structures médicales dans cette situation.

Selon les déclarations de deux auxiliaires de santé kanaks, cette maladie serait généralement vécue par les « anciens » comme le résultat d'un « boucan ». Les personnes les plus âgées s'adressent d'abord au guérisseur pour traiter la maladie. Devant la souffrance et la rapide dégradation provoquées par les symptômes de la maladie, les enfants et les proches qui sont plus habitués à la culture occidentale

amènent leurs parents à se faire soigner au dispensaire. La médecine kanake ne s'oppose pas à la médecine occidentale, elles sont souvent complémentaires.

En conclusion, les surincidences observées reflètent très probablement la réalité. Aucun cas possible supplémentaire n'a donc été repéré auprès des instances médicales locales.

Répartition selon le sexe, l'âge et la tribu de résidence

Les sexes sont assez également répartis : les cas de mésothéliome sont 11 hommes de 41 à 87 ans, et 13 femmes de 31 à 86 ans, soit un sexe ratio H/M de 0,85 (*Annexe1 - tableau 1*). Les années de naissance s'échelonnent de 1905 à 1955.

Sur les 24 cas recensés, 20 résidaient dans la commune de Houaïlou au moment de leur maladie, 4 résidaient dans la commune de Bourail. Les lieux successifs de résidence ont été étudiés depuis la naissance. Sachant que le mésothéliome survient environ 30 ans après l'exposition à l'amiante, seules les habitations fréquentées plus de 20 ans avant la date de la maladie ont été considérées comme lieu de résidence à risque possible d'exposition (*Annexe1 - tableau 1*). Deux malades n'étaient pas originaires de Houaïlou ni de Bourail ; ils ont été exclus de cette étude.

La plupart des hommes vivant en tribu sont restés dans leur tribu de naissance ; cinq hommes se sont installés durant une période dans la tribu de leur femme. Les femmes ont généralement rejoint la tribu de leur époux après le mariage, sauf les deux plus jeunes qui sont parties travailler à Nouméa. La répartition par tribus de résidence est représentée sur la carte de la *figure 12*.

Les figures 11 et 12 présentent la distribution du mésothéliome selon les tribus dans la région de Houaïlou–Bourail en superposition à la carte géologique simplifiée. Les terrains les plus représentés dans la zone d'étude sont ceux de l'unité de la Boghen et ses nombreux filons de serpentinite, et les massifs de péridotites. Nos investigations sur le terrain ont montré le peu de fiabilité des cartes géologiques de ce secteur à l'échelle de notre problématique, et la sous-estimation de la surface occupée par l'unité de la Boghen et ses filons de serpentinite.

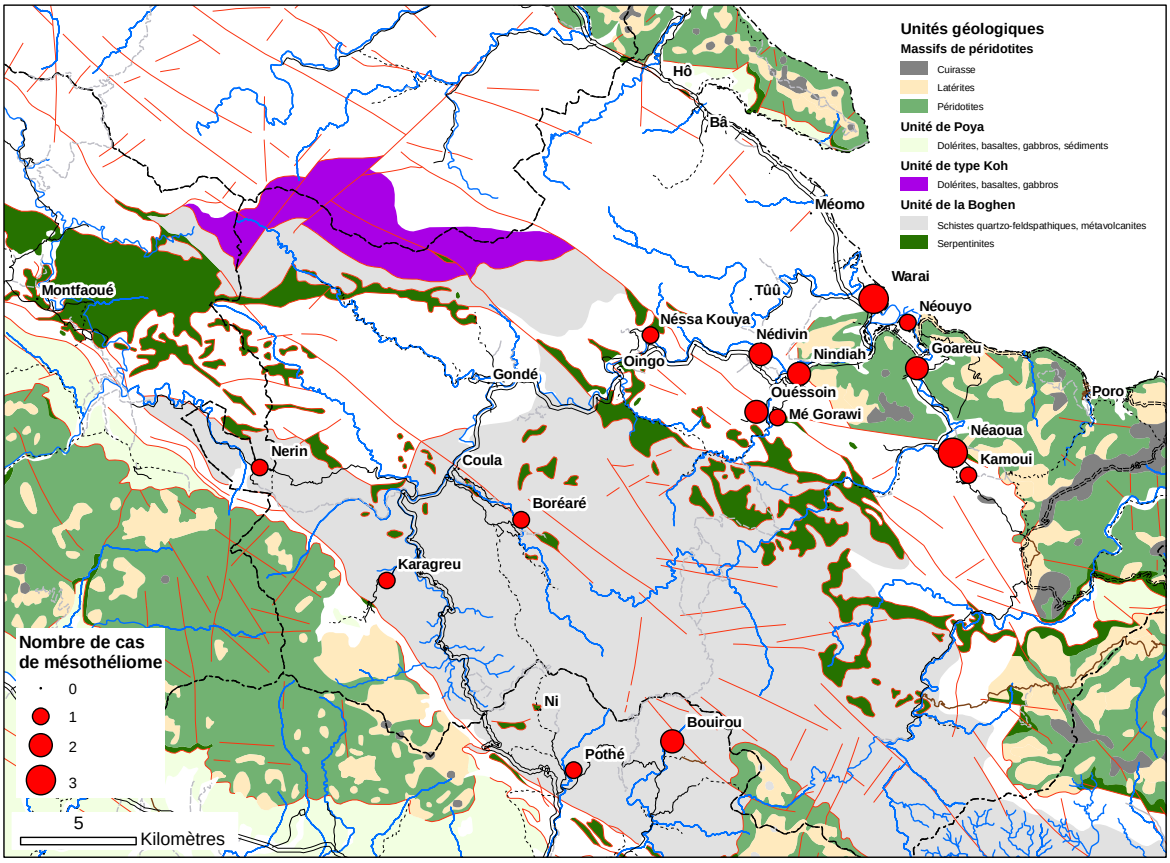


Figure 12 – Cartographie des nombres de cas de mésothéliome par tribu de résidence, région de Houaïlou-Bourail, 1984-2002

Bien que le nombre de cas rapporté à chaque tribu soit faible (1 à 3 cas), l'incidence par tribu, donnée pour 100 000 (ou 1 million) habitants années, permet de mieux évaluer le risque. En effet la population d'une tribu varie, sur Houaïlou et Bourail, d'une quinzaine de personnes (par exemple la tribu de Oingo) à plus de 250 habitants (par exemple la tribu de Bouirou). La *figure 13* fait ainsi ressortir différemment les zones « à risque » : les grosses tribus de Bouirou (au sud) et de Waraï (au nord-est) perdent de leur importance vis-à-vis du mésothéliome, au profit de Nérin (à l'ouest). Ces chiffres sont cependant à prendre avec prudence, étant donnés les petits nombres de cas par entité ; les intervalles de confiance des incidences sont d'autant plus larges que le nombre d'habitants est faible (*ils sont présentés dans la dernière partie de ce chapitre*).

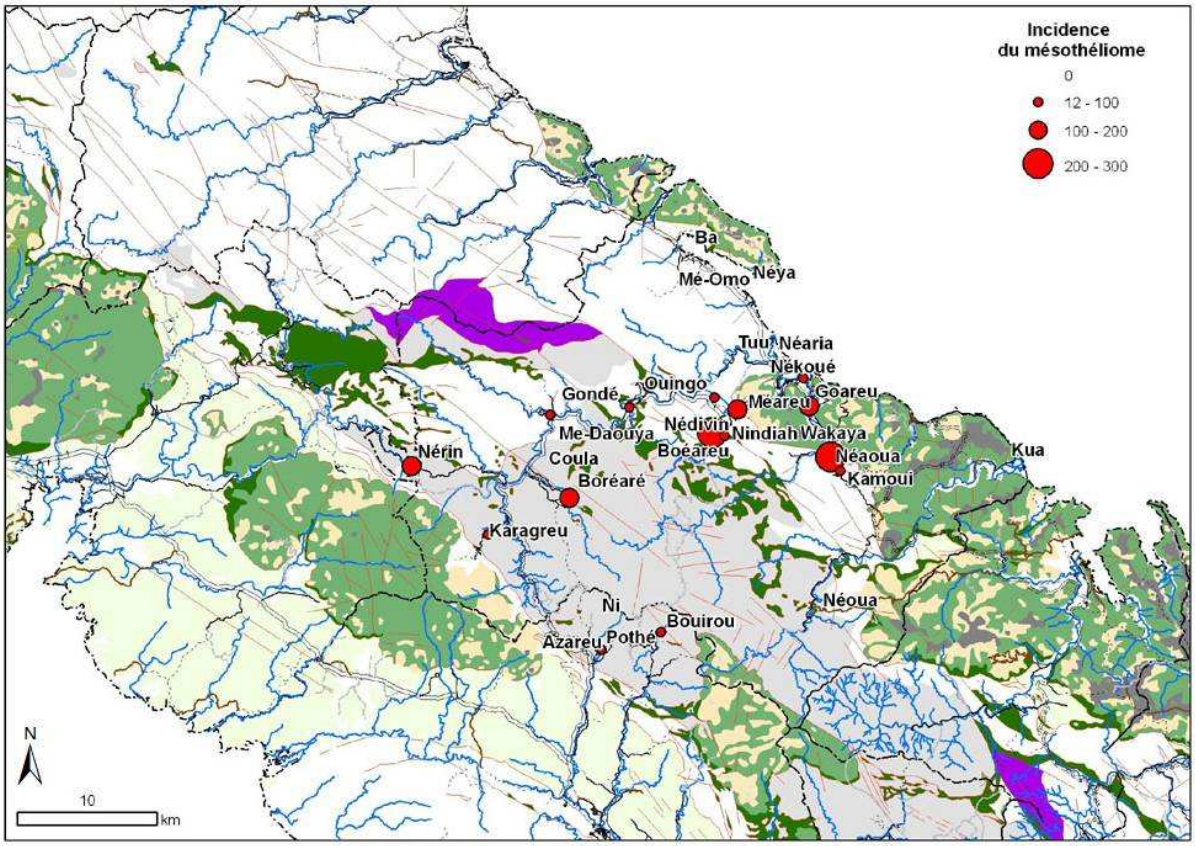
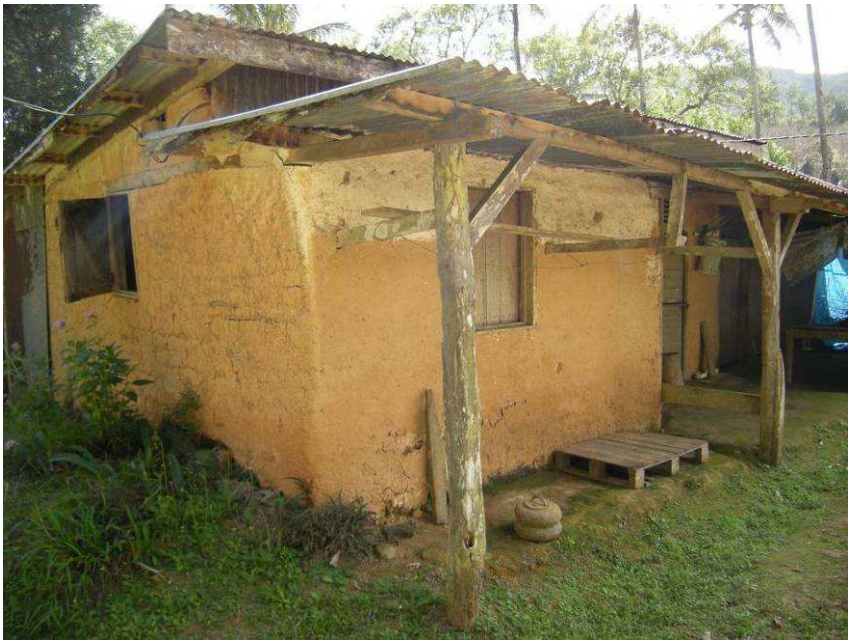


Figure 13 – Carte géologique de la région de Houailou et Bourail, incidences brutes par tribu du mésothéliome malin pleural, 1984-2003, pour 100 000 personnes année

Cette carte fait apparaître l'étalement des cas selon une bande Est-Ouest qui va de Nérin à l'Ouest jusqu'au village de Houaïlou à l'Est. L'incidence du mésothéliome est plus importante à proximité du village de Houaïlou, dans les tribus voisines du croisement de la transversale avec la route côtière, que dans les tribus situées au milieu de la chaîne, en pleine unité de la Boghen. L'exploitation minière, proche et dominant topographiquement ces tribus, peut être suspectée comme un facteur d'exposition possible à cette étape. Le détail de l'exploitation minière est étudié plus bas et présenté en *figure 14*.

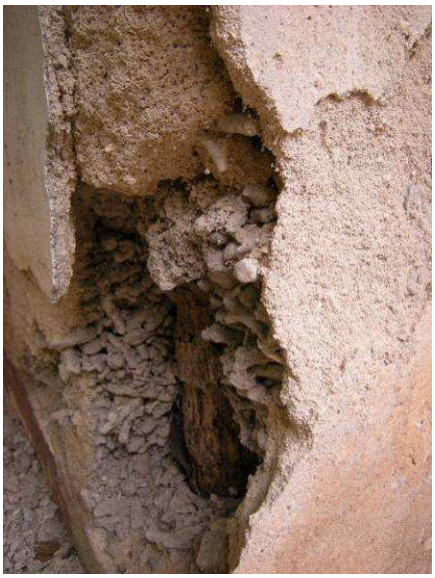
Utilisation et nature du *Pö*



Photographie 20 - Case en torchis avec du *Pö* ancien en haut des murs

Tous les cas ont vécu pendant leur enfance dans une case en torchis, blanchie avec du *Pö*. Les anciens témoignent que le *Pö* était renouvelé annuellement, et que les enfants de la tribu participaient à son utilisation.

L'enquête a révélé que le *Pö* utilisé était différent selon les tribus, et même parfois selon les clans. Chaque famille avait son propre site de prélèvement. Certaines tribus du bord de mer utilisaient plutôt une chaux faite à partir de la cuisson du corail (*photographie 21*), alors que les tribus de la chaine centrale utilisaient, selon le cas, une argile blanche ou une terre trémolitique. Le facteur *Pö* sera donc pris en compte dans les analyses statistiques en fonction de la présence effective de fibres, vérifiée par les analyses minéralogiques des prélèvements de cases ou de gisements.



Photographie 21 - Détail d'un mur fait avec du corail (Houaïlou – bord de mer)

La tôle et le béton ont fait leur apparition dans les années 50, grâce à l'argent gagné par la vente du café, puis par le travail à la mine. La majorité des cases trémolitiques qui subsistaient ont été démolies au début des années 2000 et remplacées par des maisons en bois, appelées « maisons Trémolite ». Des cases en torchis subsistent, mais l'usage du *Pö* a été abandonné (*photographies 20 et 22*).

Photographie 22 - Case en torchis sans couverture en *Pö*

Ecoles fréquentées

Tous les cas sauf un sont allés à l'école durant 5 à 8 années. L'école était choisie en fonction de la communauté religieuse d'appartenance (catholique ou protestante). L'école la plus fréquentée est celle de Doneva (7 cas), puis celle de Nindiah (5 cas), enfin les écoles de Nedivin, Coula, Azareu, Nekoué et Bouirou (*Annexe1-tableau 1*).

Sept cas ont dormi en internat, la proximité de l'école ayant permis aux autres de rentrer le soir dans leur famille. Ces écoles et dortoirs étaient eux-mêmes blanchis, durant les années 1930 à 1960, avec l'enduit utilisé dans la tribu.

L'école de Doneva a rassemblé une grande partie de la population kanake d'obédience protestante, y compris celle des Iles Loyautés. Le risque localisé à Houailou ne peut donc pas être imputé à la fréquentation de ces écoles.

Activités à la tribu

Tous les cas étudiés ont participé au ramassage et à la préparation du *Pö*, comme tous les enfants des tribus dans les années 1930-1960. Ils ont travaillé aux champs durant leur enfance, activité qui reste pratiquée par les femmes vivant à la tribu.

Parcours professionnel

Aucune femme ne présente de risque d'exposition professionnelle. Les seules ayant exercé une activité salériée sont : 3 femmes de ménage, une femme de service dans une école et une femme ayant travaillé dans une épicerie.

Concernant les hommes, les parcours professionnels sont très variés. Bien que la majorité ait gardé un mode de vie tribal, plusieurs d'entre eux ont eu diverses activités salariées, souvent de courte durée. Ces activités sont occasionnées par des opportunités, le plus souvent liées à l'activité minière. Six hommes ont travaillé à la prospection minière, pour une durée de moins d'une année à 15 ans. Un homme a été chauffeur de camion, un autre a été rouleur sur mine durant 26 années, 2 ont travaillé à l'usine de Poro (16 ans pour l'un, 1 an pour l'autre), un homme a travaillé à l'entretien du village minier de Poro (*Annexe 1 - tableau 2*). Toutes ces activités, sauf pour un cas de prospecteur minier, ont eu lieu moins de 30 ans avant la maladie, et ne peuvent donc pas être à l'origine de l'exposition causale.

En conséquence, un seul cas d'exposition professionnelle possible peut être retenu. Etant données les pratiques de prospection des années 1960-70 (reconnaissance pédestre ou à cheval et échantillonnage des affleurements d'altérites nickelifères), l'exposition d'un prospecteur aux poussières était probablement très réduite.

Mines

La *figure 14* permet de visualiser les secteurs miniers de la région Bourail-Houaïlou, leur activité décennale et la répartition géographique de l'incidence du mésothéliome.

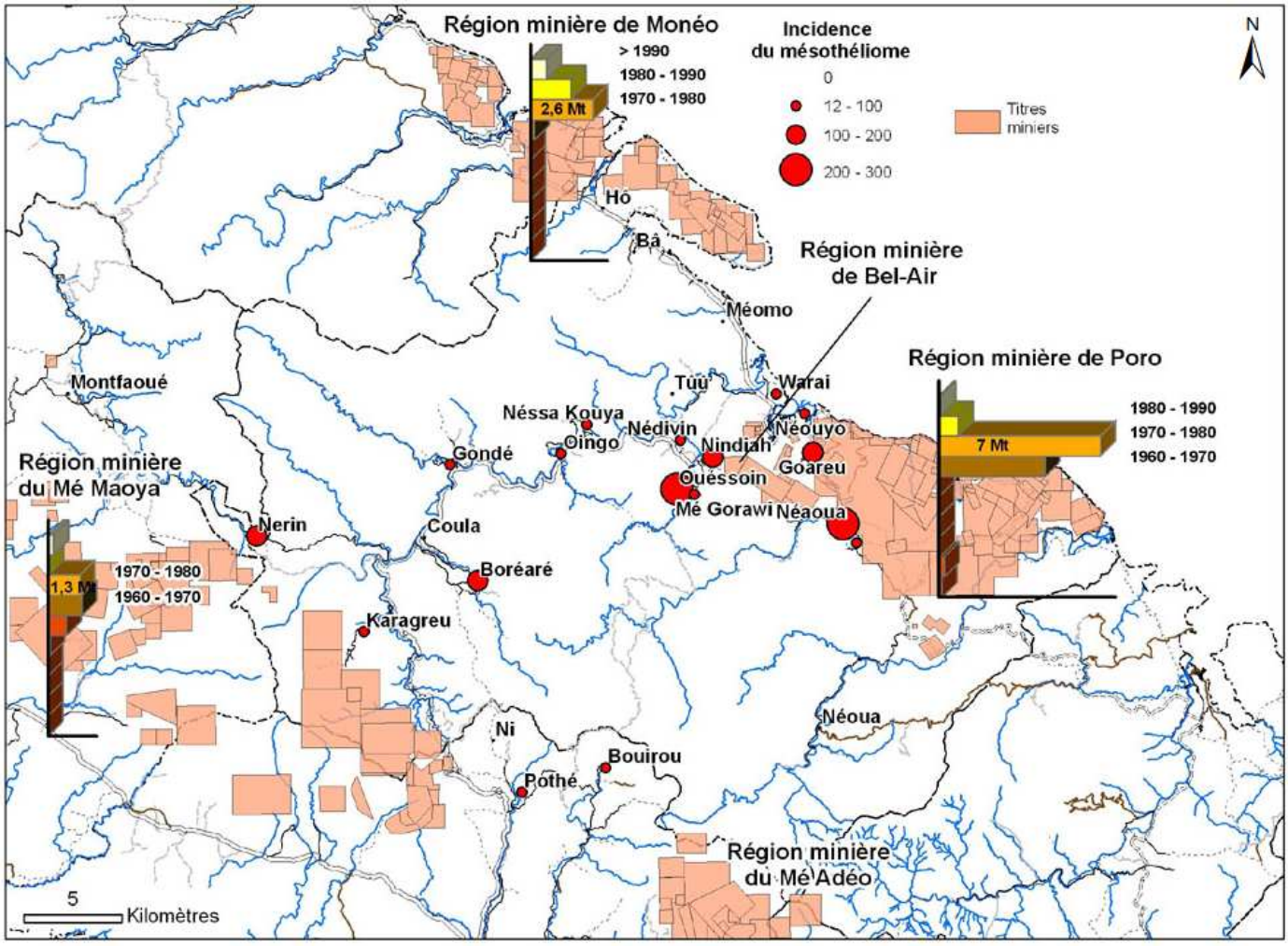


Figure 14 - Production décennale depuis 1910 de minerais de nickel par centre minier (source DIMENC) comparée à l'incidence brute par tribu du mésothéliome

Cette carte a été élaborée avec les données statistiques de la Direction de l'Industrie, des Mines et de l'Energie de Nouvelle-Calédonie (DIMENC), fournissant les

productions annuelles en tonnes de minerais de nickel par titres miniers. Les données ont été regroupées :

- géographiquement par centres miniers (Monéo, Poro, Bel-Air, Mé-Maoya et Mé-Adéo) toutes sociétés minières confondues,
- et temporellement, par périodes décennales (avant 1910, 1910–1920, 1920–1930, …).

Les centres de Bel-Air et de Mé-Adéo ont eu une production insignifiante. La zone de Bel-Air, très ancienne, n'a produit qu'une trentaine de milliers de tonnes avant 1950. La zone du Mé-Adéo a fourni moins de 100 000 tonnes. A l'opposé un grand centre comme celui de Poro a fourni un total cumulé de 12 700 000 tonnes et celui de Monéo, 5 200 000 tonnes. La décennie la plus productive a été celle des années du « boom » (1970-1975) pour tous les centres, notamment à Poro avec une production record remarquable d'environ 7 000 000 de tonnes de minerai de nickel.

La *figure 14* fait apparaître une certaine proximité spatiale entre l'incidence du mésothéliome autour de l'embouchure de la Houaïlou et le massif de péridotite qui le surplombe en rive droite : une bonne partie des cas se situe à l'Est, sous le vent dominant du massif de Poro, dont l'activité minière était très importante dans les années 1960-1980. Cette corrélation spatiale n'est pas mise en évidence à proximité des massifs du Mé-Maoya et de Monéo, dont l'activité minière est certes plus récente ou moins importante. Une exposition liée à l'activité minière ne peut donc pas être exclue.

5.3.2. Analyse géologique et minéralogique

L'étude géologique et le prélèvement d'échantillons ont été focalisés sur les zones qui présentaient des cas de mésothéliome ; certaines zones sans cas ont été examinées par souci de comparaison. Plusieurs environnements géologiques ont été traversés : à l'Ouest, des massifs de péridotite reposant sur un substratum sédimentaire ou volcanique ; au cœur de la chaîne, des roches métamorphiques (unité de la Boghen) entrelardées localement de corps serpentineux ; enfin à l'Est, des massifs de péridotite reposant sur un substratum sédimentaire plus ou moins

métamorphisé. Ces environnements sont représentés sur les cartes BRGM au 1/50 000 et synthétisés dans celle au 1/200 000 qui a servi de fond aux *figures 12 et 13*; à l'échelle de nos observations, cette cartographie s'est avérée trop imprécise et localement inexacte pour caractériser et localiser les formations géologiques amiantifères.

Le secteur de Montfaoué

Ce secteur constituait un lieu de référence puisque le *Pö* trémolitique y a été identifié pour la première fois [*Cluzel et Pelletier 1994*]. Plusieurs affleurements de terre blanche sont décrits. Selon les auteurs, elle se développe « dans le sol sur une roche mère de serpentinite, à proximité d'un contact avec les formations sédimentaires ». L'ensemble de serpentinite de Montfaoué est l'un des plus importants en superficie dans la chaîne centrale. La terre blanche est en apparence argileuse et ne présente pas macroscopiquement d'aspect fibreux. Sa nature fibreuse n'est visible qu'au microscope où, en solution aqueuse, il montre une abondance de fibres très fines (< 20 µm) dont les caractéristiques optiques sont compatibles avec celles de la trémolite. Lizardite, chrysotile et trémolite en filonnets sont signalés dans la roche mère serpentineuse, de même que des noyaux durs de jade ou néphrite (roche métamorphique blanche à verte constituée d'un feutrage extrêmement compact et tenace de très petites aiguilles de trémolite). Pour les auteurs, la source de trémolite (amphibole magnésienne et calcique) se situe dans les contacts entre serpentinite et roche sédimentaire, cette dernière apportant le calcium absent dans la serpentinite. L'altération météoritique de ces zones donne par argilisation la terre blanche. Ces affleurements ont été systématiquement ré-échantillonnés pour servir de points de référence à notre étude.

Le secteur de Montfaoué recouvre plusieurs formations géologiques : un énorme corps de serpentinite, certainement « ancienne », en contact anormal avec, d'une part les formations sédimentaires Crétacé-Eocène, et d'autre part les formations métamorphiques volcano-sédimentaires du mésozoïque de l'unité de la Boghen (*figure 15*)

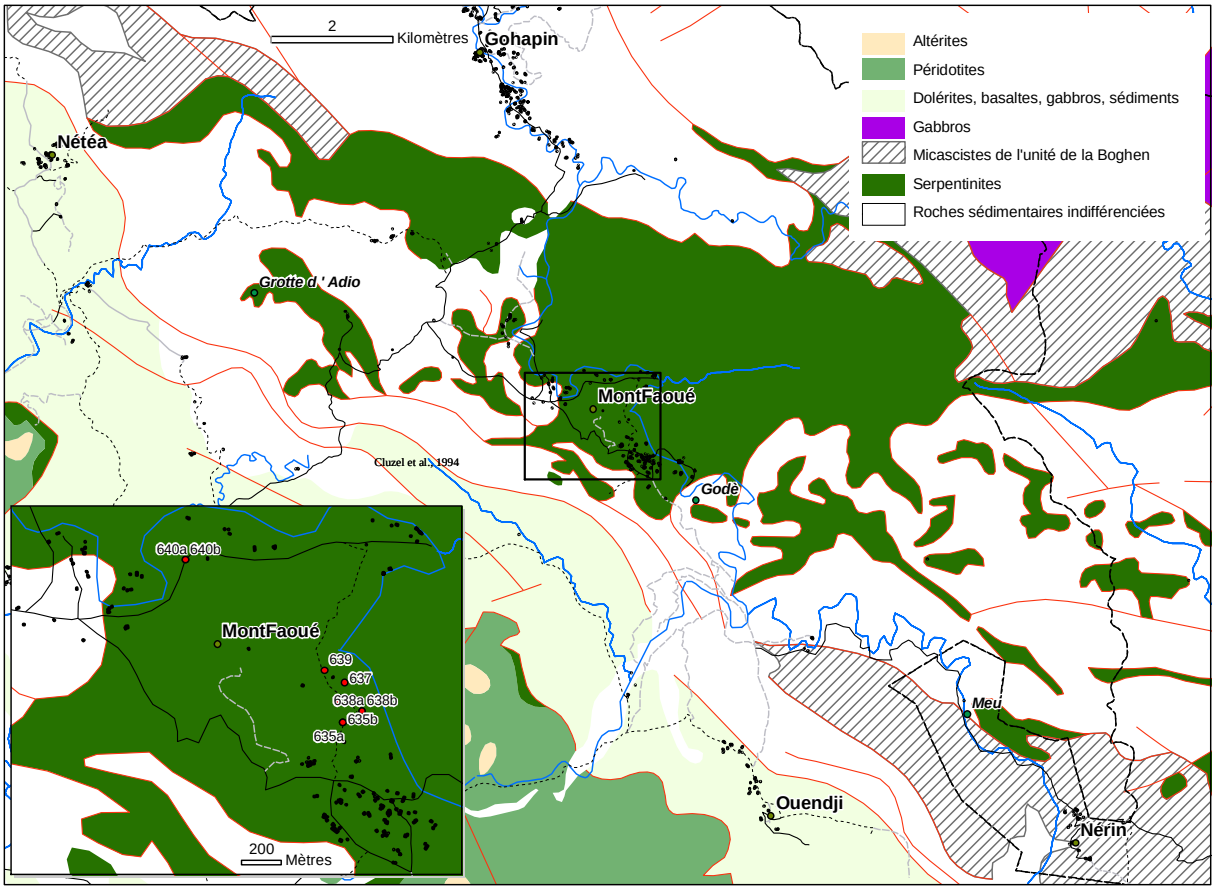


Figure 15- Carte géologique et échantillonnage effectué dans le secteur de Montfaoué

Tous les points de prélèvement se situent en bordure des ensembles de serpentinite «ancienne», liés à l'unité de la Boghen, près du contact avec les roches sédimentaires et métamorphiques. Les résultats sont consignés dans le *Tableau 1 – Annexe 2*. L'analyse de ces échantillons fait apparaître l'omniprésence et l'abondance de fibres d'actinolite (amphibole) dans tous les prélèvements effectués sur les anciens gisements de *Pö* ou sur les terres blanches d'altération au contact serpentinite/substrat sédimentaire.

Le secteur de Netea-Goapin (Poya)

Ce secteur a été étudié afin d'échantillonner l'enduit (*Pö*) trémolitique de cases non démolies, toutes celles de Montfaoué ayant été détruites (*tableau 2 - Annexe 2*). Il se situe dans un environnement géologique comparable, avec de grands corps de serpentinite en contact avec des formations sédimentaires Crétacé/Eocène.

Les analyses montrent la présence et l'abondance de fibres d'amphibole et/ou de serpentine dans les échantillons de *Pö*, de « terre blanche » et de certaines roches.

Le secteur de Nérin

Photographie 23 - Piste d'accès à la tribu de Nérin avec affleurements de serpentinite

Ce secteur est localisé entre Gondé à l'Est et Monfaoué à l'Ouest, dans un contexte géologique similaire à celui de Montfaoué (unité métamorphique de la Boghen avec filons de serpentinite), mais sans affleurements de roches sédimentaires. Une piste non goudronnée relie les deux tribus et passe par le col de Nérin (*Photographie 23*). Plusieurs affleurements de corps métriques à décamétriques de serpentinite « ancienne », schistosés et plissés, associés aux micaschistes de l'unité de la Boghen, sont visibles le long de la piste. Le plus remarquable est situé au col de Nérin où une carrière, encore en activité, a été ouverte dans un filon de serpentinite (*photographie 24*). Il permet de voir les relations des serpentinites avec leur encaissant de micaschistes. Des amas blancs d'altération se développent au contact.

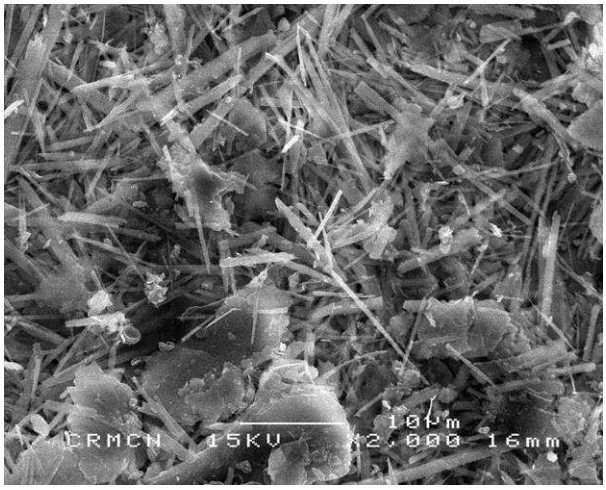
Photographie 24 - Carrière de serpentinite du Col de Nérin

Tous les échantillons traités (*tableau 3 - Annexe 2*) révèlent la présence de fibres amiantifères. Les amphiboles (actinolite) sont présentes dans la terre blanche, alors que les échantillons de roche contiennent de la serpentine fibreuse de type antigorite et chrysotile (*photographies 25 à 28*).

Photographie 25 - Serpentinite et terre blanche du Col de Nérin

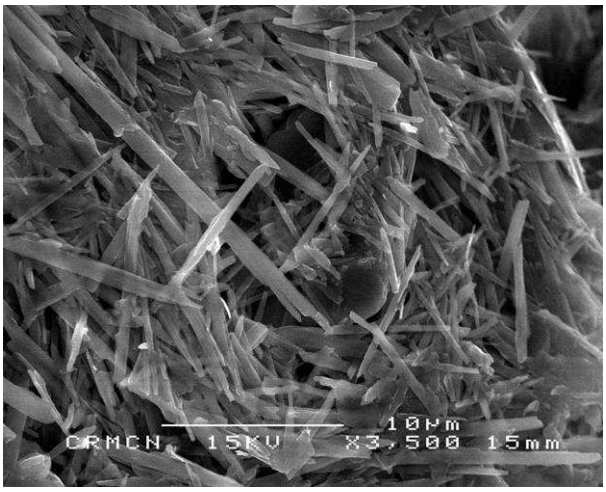
Photographie 26 - Image MEB d'un échantillon d'altération pâteuse et blanchâtre de schiste au col de Nerin : enchevêtrement de fibres d'amphibole (actinolite).

Photo CRMCN, Marseille, O. Grauby et J.P. Ambrosi



Photographie 27 - Image MEB d'un échantillon de serpentinite de la carrière du col de Nerin: enchevêtrement dense de fibres de serpentine.

Photo CRMCN, Marseille, O. Grauby et J.P. Ambrosi



Photographie 28 - Image MEB d'un échantillon de *Pö* d'une case de la tribu de Nerin: enchevêtrement des fibres d'amphibole (actinolite) aux côtés des feuillets de talc et clinochlore.

Photo CRMCN, Marseille, O. Grauby et J.P. Ambrosi

Le secteur de Méomo

Il n'y a pas de roches serpentineuses cartographiées dans ce secteur, où ne sont représentées que les formations sédimentaires du substrat. Une carrière est ouverte dans les cherts noirs du Crétacé supérieur-Paléocène. Deux échantillons ont été collectés dans un bas fond argileux, lieu indiqué de prélèvement ancien de *Pö,* sous la terre végétale (*tableau 4 - Annexe 2*). Ces sédiments alluvionnaires argileux contiennent de faibles quantités de fibres de serpentine (chrysotile).

Le secteur du col de Hô

Le col de Hô est localisé sur le contact entre la semelle serpentineuse de la nappe de péridotites au NE et son substrat sédimentaire au SW. Une carrière a été ouverte dans ces serpentinites. L'examen macroscopique et à la loupe montre que de nombreux filonnets contenant des fibres soyeuses sont visibles dans un faciès de serpentinite noire (*tableau 5 - Annexe 2*). Ces filonnets sont remplis de fibres de serpentine (chrysotile probablement).

Le secteur de Nédivin

Ce secteur a été choisi pour contrôler un filon de serpentinite, mentionné sur la carte géologique, au contact de basalte dans le talus de la RPN 6. La cartographie géologique est correcte. Des filonnets à remplissage fibreux sont découverts dans un faciès de la serpentinite. Un échantillon est prélevé dans le talus serpentineux derrière l'usine hydroélectrique (*tableau 6 - Annexe 2*). Les échantillons provenant de divers talus et carrière révèlent la présence de fibres de serpentine (antigorite et chrysotile) très abondantes, parfois associées à de la trémolite. La lizardite est également présente. Les échantillons de terre blanche sont exempts de fibres.

Le secteur de Nindiah

Ce secteur de plaine alluvionnaire est dominé au NE par des reliefs de péridotite, et par d'anciennes carrières de la mine Bel Air. Ces carrières ont été visitées, et un échantillon collecté sur une passée serpentineuse de la route d'accès (*tableau 7 - Annexe 2*). Cette passée de serpentinite de la semelle du massif de péridotite contient d'abondantes fibres de serpentine.

Trois carrières de serpentinite ne semblent plus en activité ; elles présentent de l'antigorite et de la lizardite altérées, ainsi que des filonnets de chrysotile. Des fibres d'antigorite ont été diagnostiquées.

Le secteur de Ouingo

Un talus de route prés de la rivière est indiqué par les habitants de Nindiah comme un ancien lieu de prélèvement de *Pö* (*tableau 8 - Annexe 2*). Aucune fibre d'amphibole ou de serpentine n'est détectée.

Le secteur de Warai

Dans ce secteur, une crête de serpentinite, appartenant certainement à la semelle serpentineuse du massif de peridotite de Houaïlou, s'avance sur le substratum sedimentaire et dans la plaine alluviale. Elle est constituée d'antigorite plus ou moins altérée. L'analyse révèle également la présence de fibres d'actinolite dans les terres blanches (*tableau 9 - Annexe 2*). Les aires de jeu du collège de Vani donnent directement sur le bloc de serpentinite.

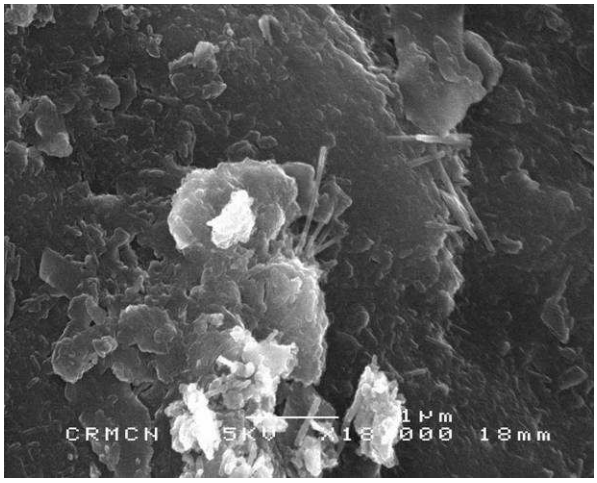
Le secteur de Goareu

Une grande carrière est ouverte dans les péridotites. Des imprégnations de giobertites sont fréquentes. On note quelques accidents serpentineux mais pas de fibres visibles macroscopiquement (*tableau 10 - Annexe 2*).

Le secteur minier de Poro

Une visite sur la mine "Française" de Poro était destinée à déceler d'éventuels filons de gabbros associés à des failles serpentineuses dans les péridotites. Le résultat est négatif (*tableau 11 - Annexe 2*). Un affleurement sur le talus de la route littorale en pied de massif a montré des filonnets de serpentine (*photographies 29 et 30*).

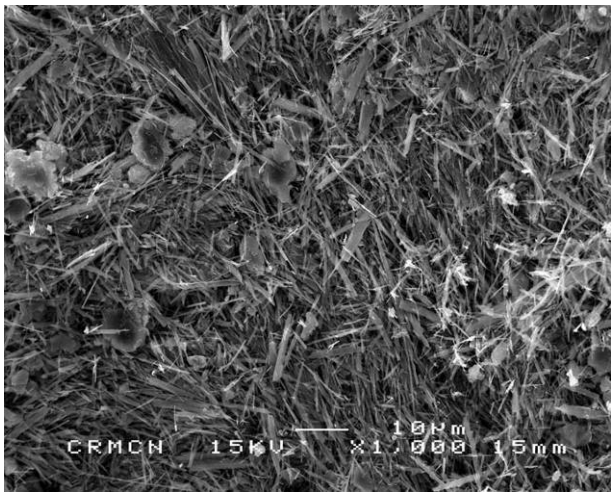
Photographie 29 - Carrière dans les péridotites avec passées de serpentinite



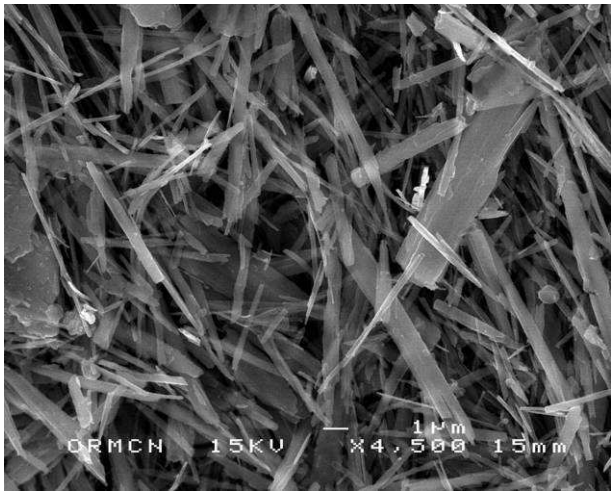
Photographie 30 - Image MEB d'un échantillon de roche (serpentinite) de la route de Poro (échantillon n°19) : détail des lames et plaquettes superposées de serpentine montrant quelques fibres.
Photo CRMCN, Marseille, O. Grauby et J.P. Ambrosi

Le secteur de Mé Gorawi – Ouessoin

On trouve dans ce secteur une carrière ouverte dans les serpentinites de l'unité de la Boghen. Alors que le *Pö* d'une case non détruite dans le secteur contient des fibres abondantes de trémolite (*photographies 31 et 32*), la roche échantillonnée contient des fibres de serpentine (*tableau 12 - Annexe 2*). Cette carrière était encore en activité au moment de notre enquête, et utilisée pour encaillasser les pistes du secteur. Elle constitue également une aire de jeu pour les enfants de la tribu.



Photographie 31 - Image MEB d'un échantillon de *Pö* sur une ancienne case de la tribu de Ouessoin: assemblage dense des longues fibres d'amphibole (trémolite).
Photo CRMCN, Marseille, O. Grauby et J.P. Ambrosi

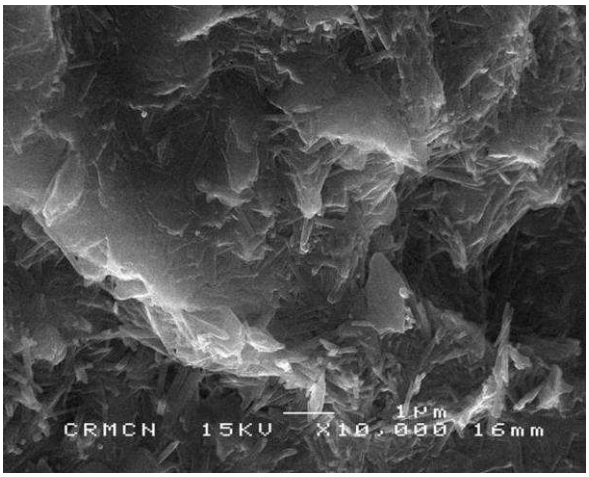


Photographie 32 - Image MEB d'un échantillon de *Pö* sur une ancienne case de la tribu de Ouessoin: Détail montrant les fibres micrométriques et infra-micrométrique d'amphibole.
Photo CRMCN, Marseille, O. Grauby et J.P. Ambrosi

Le secteur de Thu

Il n'y a pas de serpentinite reconnue dans ce secteur, constitué uniquement des grauwackes moins métamorphiques de la chaîne centrale. Les argiles utilisées pour le *Pö* sont prises dans les colluvions du fond de la vallée. Parmi les échantillons recueillis (*tableau 13 - Annexe 2* et *photographie 33*), on observe une très faible présence de serpentine et d'amphibole, comme dans la case de Waraï *échantillon* 8, *tableau 9 - Annexe 2*). Il nous a été indiqué que le *Pö* utilisé dans la tribu de Waraï provenait de cette région.

Une carrière est ouverte dans l'unité de Poya, avec une lentille de serpentinite. L'antigorite altérée est présente, avec des enclaves de lizardite.



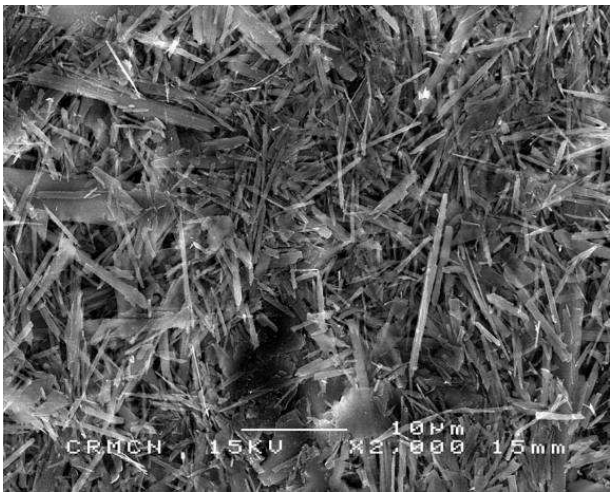
Photographie 33 - Image MEB d'un échantillon de roche (schiste beige pâteux) de la tribu de Thu: détail montrant les lamelles de mica (muscovite) et des argiles (nontronite) ennoyant des fibres très fines de serpentine. *Photo CRMCN, Marseille, O. Grauby et J.P. Ambrosi*

Route du barrage de la Néaoua

Cette région est entièrement située dans l'unité de la Boghen avec de nombreux filons de serpentinite. La carte géologique sous-estime largement les occurrences de toutes dimensions (métriques à kilométriques) de filons et corps de serpentinite, qui sont par ailleurs souvent porteurs de fibres d'actinolite (*tableau 14 - Annexe 2*).

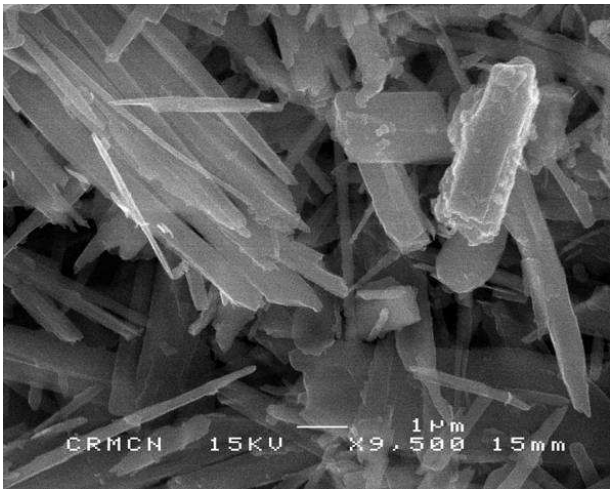
Le secteur de Coula – Boréaré

Situé en plein cœur de l'unité de la Boghen, ce secteur contient des corps plus petits de serpentinite clairement associés aux micaschistes (*tableau 15 - Annexe 2*). Les enduits de case comme les terres blanches contiennent des fibres d'amphibole de type actinolite ou trémolite, et parfois des fibres d'antigorite (*photographies 34 et 35*).



Photographie 34 - Image MEB d'un échantillon de *Pö* sur une ancienne case de la tribu de Coula: détail de l'enchevêtrement des fibres d'amphibole (actinolite).

Photo CRMCN, Marseille, O. Grauby et J.P. Ambrosi



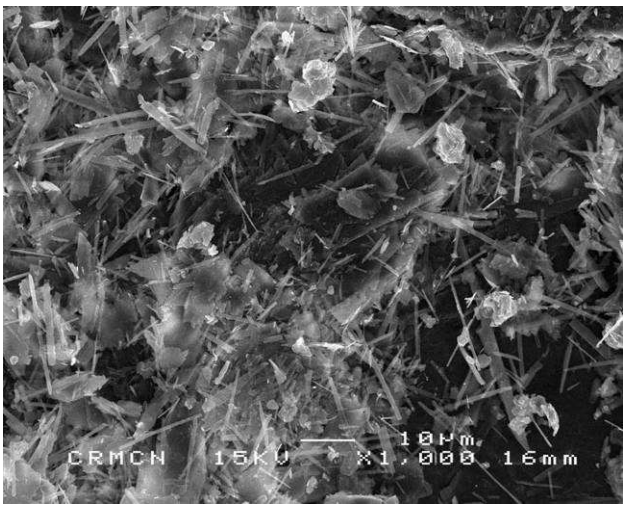
Photographie 35 - Image MEB d'un échantillon de *Pö* sur une ancienne case de la tribu de Coula: détail des fibres d'amphibole (actinolite).
Photo CRMCN, Marseille, O. Grauby et J.P. Ambrosi

Le secteur de Karagreu

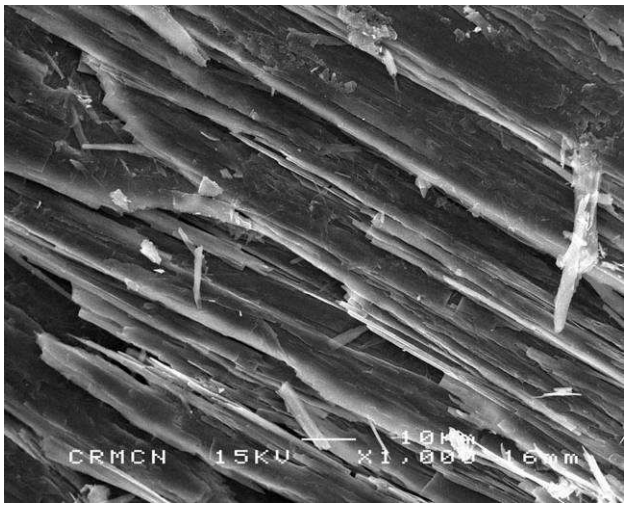
Le contexte géologique est celui de l'unité de la Boghen. Une carrière avec occurrence de serpentinite, non portée sur la carte géologique, est située en bordure de la RPN 6. Par ailleurs la vallée de Karagreu draine la face NE du massif de péridotite du Mé-Maoya et sa semelle serpentineuse (*tableau 16 - Annexe 2*).

Les échantillons de terre blanche contiennent des fibres de chrysotile et /ou de trémolite, alors que les roches serpentineuses révélent des fibres de serpentine de type Lizardite ou Antigorite (*photographies 36 et 37*).

Le gisement de *Pö* se trouve dans un creek, à partir d'une terre shisto-argileuse. Une case en torchis avec du *Pö* a été échantillonnée : l'analyse montre de nombreuses fibres de trémolite.



Photographie 36 - Image MEB d'un échantillon de *Pö* sur une ancienne case de la caféerie de Karagreu : assemblage dense des longues fibres d'amphibole au coté du clinochlore (tablettes).
Photo CRMCN, Marseille, O. Grauby et J.P. Ambrosi



Photographie 37 - Image MEB d'un échantillon de roche (serpentinite, bord de route) de la tribu de Karagreu: détail d'une bordure de la grande latte d'antigorite montrant son débit en fibres plurimicrométriques.
Photo CRMCN, Marseille, O. Grauby et J.P. Ambrosi

Secteur de Ni

Les secteurs de Ni, Bouirou et Pothé se situent sur la commune de Bourail, et représentent les zones d'habitation des cas de mésothéliome de la commune. Ces secteurs marquent clairement l'entrée dans l'unité géologique de la Boghen.

Un site représentatif de serpentinite associée à l'unité de la Boghen se trouve dans une ancienne carrière du col des Roussettes (*tableau 17 - Annexe 2*). Des lames de schistes verts, riches en minéraux talqueux et fibreux sont visibles en ce site.

Sur le secteur de la tribu de Ni, un ancien site de prélèvement de *Pö* correspond exactement au passage d'une lame de serpentinite dans l'unité de la Boghen avec végétation hydromorphe à proximité du contact. D'autres occurrences de serpentinite non cartographiées ont été repérées le long des pistes de ce secteur. La serpentinite, de teinte verdâtre et feuilletée, est moyennement à fortement altérée ; elle est composée d'antigorite, de chrysotile et de trémolite. Les phases asbestiformes sont abondantes.

A proximité du centre de la tribu, un affleurement de terre blanche dans un talus de piste correspond à une zone d'altération sur une roche verte phylliteuse, qui accompagne généralement les serpentinites bien que ce dernier faciès ne soit pas

visible ici. Un échantillon a révélé une grande abondance de petites fibres d'amphibole.

Secteur de Bouirou

Il y a très peu de serpentinites affleurantes dans la tribu de Bouirou. Un responsable nous a amené vers un ancien site de prélèvement de *Pö*, situé à l'amont d'un captage, en forêt. De gros affleurements sont en revanche recoupés par la piste principale vers le bas de la vallée (*tableau 18 - Annexe 2*). Ces occurrences ne sont pas portées sur la carte géologique. Un échantillon de serpentinite révèle en microscopie optique de grandes fibres de type serpentine.

Une reconnaissance effectuée sur l'ensemble des anciennes pistes forestières praticables en 4x4 sur le plateau situé au Nord des deux tribus de Ni et Bouirou n'a montré aucune lame de serpentinite.

Secteur de Pothé

Il n'y a pas de serpentinite affleurante dans les accès à la tribu de Pothé. Les échantillons de schiste et de terre blanche, argileuse, ne montrent pas de fibres minérales en microscopie optique (*tableau 19 - Annexe 2*).

Bilan de l'analyse géologique et minéralogique

Deux unités géologiques sont prépondérantes dans la zone d'étude Houailou–Bourail (*figure 14*) :

- l'unité de la Boghen et son cortège de serpentinites associées en filons et amas,
- l'unité de la nappe des péridotites et son cortège de serpentinites prépondérant à la base (semelle) des massifs.

Les deux grandes familles minéralogiques asbestiformes ont été retrouvées dans ces différents contextes :

- le groupe des serpentines de la famille des phyllosilicates avec trois minéraux : le chrysotile, l'antigorite et la lizardite.
    - Le chrysotile toujours fibreux.

- L'antigorite présente une morphologie élémentaire en tablettes allongées, pouvant donner des fibres. Les échantillons que nous avons observés montrent en microscopie électronique à balayage un habitus en lattes dont les bords se délitent en esquilles fibreuses.
- La lizardite présente une maille élémentaire de forme hexagonale donnant le plus souvent un habitus massif aux cristaux. Les frottis effectués sur des échantillons de lizardite quasi exclusive n'ont pas montré de fibres ; aucun de nos échantillons de lizardite n'a été observé par microscopie électronique à balayage.

- le groupe des amphiboles de la famille des silicates en chaîne ; deux minéraux ont été reconnus dans nos prélèvements : la trémolite et l'actinote (ou actinolite) de la série trémolite – ferro-actinolite. Trémolite et actinote sont bien connues pour leur aspect fibreux, c'est le cas des échantillons que nous avons observés.

Ces minéraux ont été caractérisés sur des prélèvements effectués soit en roche, soit sous forme de terre blanche ou produit blanc d'altération des roches précédentes. Leur abondance relative par rapport aux autres phases minérales présentes a été grossièrement quantifiée dans les échantillons (absent, peu abondant, abondant, dominant ou exclusif) par diffraction des rayons X (*Annexe 2*).

La cartographie des occurrences les plus abondantes d'amphiboles de la série actinote – trémolite montre clairement une relation spatiale étroite avec l'unité de la Boghen et son cortège de filons serpentineux (*figure 16*). Les fibres trémolitiques se retrouvent dans le *Pö*, qu'il soit en gisement naturel ou en enduit d'habitation. L'unité de la Boghen correspond à un complexe polymétamorphique de schistes et micaschistes ayant subi une structuration et des recristallisations intenses et complexes. Les nombreux filons et enclaves de serpentinites qu'elle renferme sont très différents de ceux des serpentinites associées à la nappe des péridotites. Ces enclaves de serpentinites présentent notamment les caractères métamorphiques et structuraux (shistosité, plissements, kinks) des micaschistes encaissants de l'unité de la Boghen. Il est relativement facile pour le géologue de distinguer ce faciès par rapport à celui des serpentinites liées aux massifs miniers, du moins sur le terrain. En revanche cet exercice est impossible à partir des cartes géologiques.

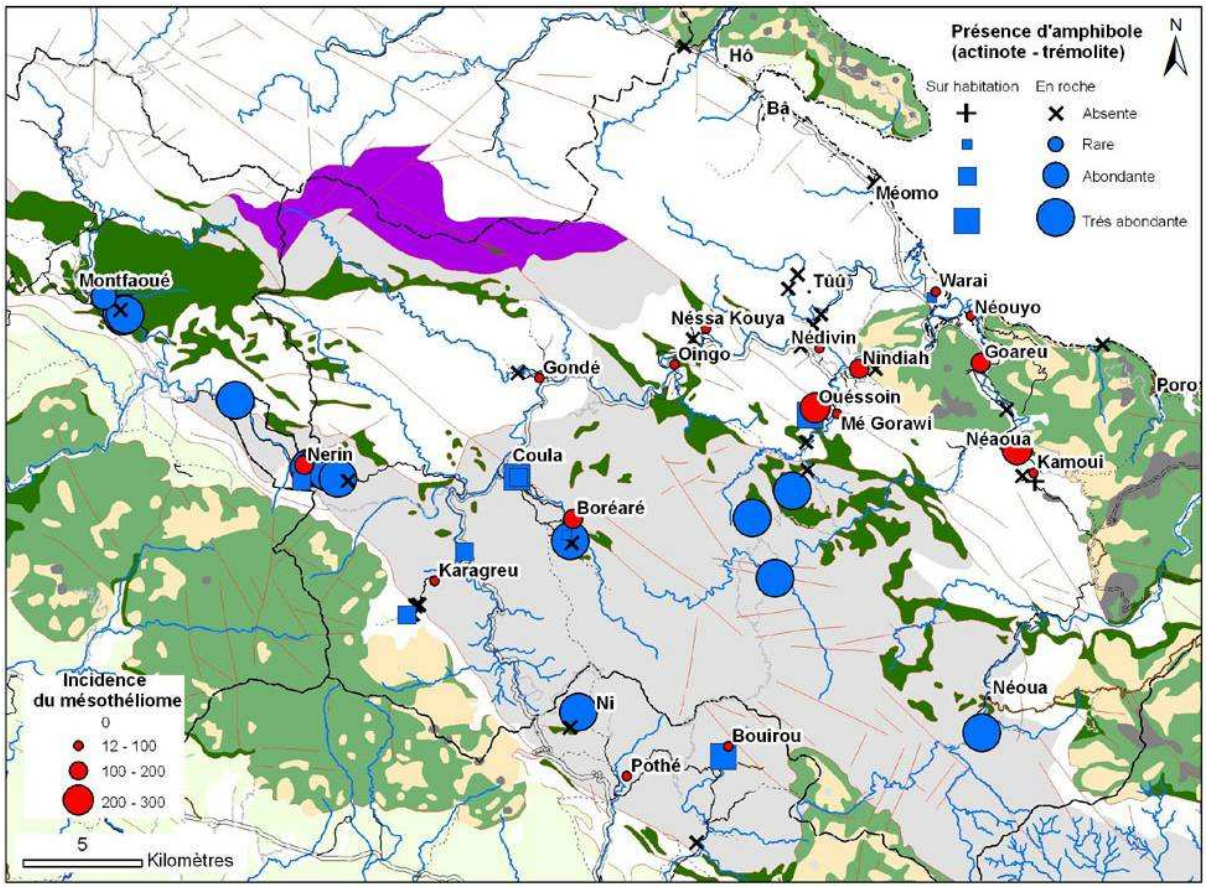


Figure 16 – Présence d'amphibole de la série actinolite–trémolite dans les prélèvements (roches ou enduits) et incidence brute du mésothéliome par tribu (pour 100 000 p.a)

De nombreux produits blancs échantillonnés se situent toujours à la périphérie des amas serpentineux, au contact de l'encaissant micaschisteux (*photographie 38*). Le métamorphisme qui affecte l'unité de la Boghen favorise probablement les échanges entre serpentinite et sédiment, apportant le calcium nécessaire à la production de trémolite/actinolite. Sa forte structuration (étirements et plissements intenses) est également un facteur probable de génération de minéraux fibreux syncinématiques.

La cartographie des occurrences de serpentine (*figure 17)* montre que cette famille de minéraux est rencontrée aussi bien en domaine de l'unité de la Boghen qu'en domaine de l'unité de la nappe des péridotites. Dans ce dernier cas elle est surtout présente au niveau de la base des massifs (semelle). Les serpentines sont plus rares dans le *Pö*.

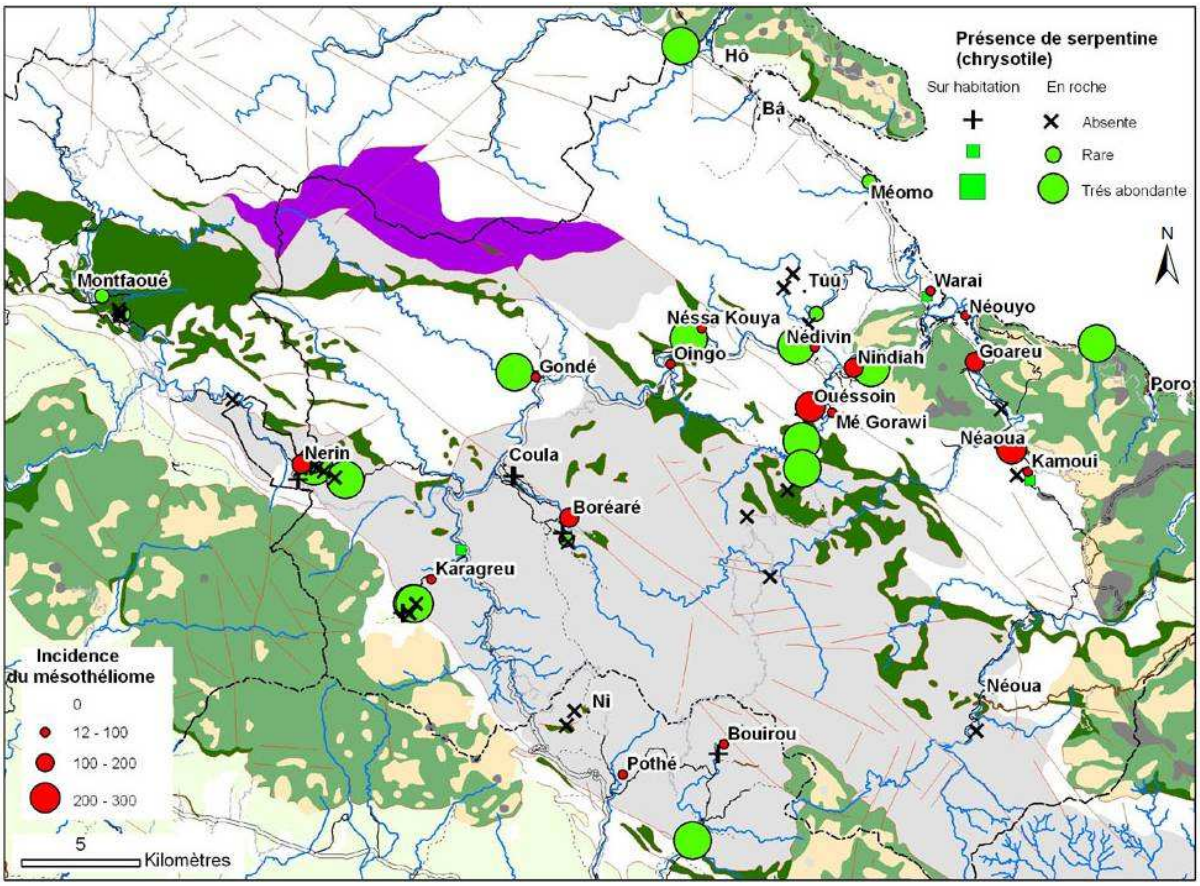


Figure 17 - Présence de serpentines (chrysotile, lizardite ou antigorite) dans les prélèvements et incidence brute du mésothéliome par tribu (pour 100 000 p.a)

Nous avons constaté qu'il y a plusieurs sortes de *Pö*:

- du *Pö* contenant une plus ou moins grande quantité d'amphiboles,
- du *Pö* contenant quelques fibres de serpentine,
- du *Pö* plutôt argileux, ne présentant pas de fibres
- du *Pö* fait à partir d'une soupe de corail cuit.

En effet, le *Pö* était une affaire de clan, chaque famille possédant son propre gisement, dans un lieu le moins éloigné possible du lieu d'habitation. Le *Pö* ne représente donc pas en soi une pratique dangereuse, si la « source » d'approvisionnement est tirée d'un matériau non amiantifère.

D'une manière générale, la répartition des cas de mésothéliome ne coïncide pas avec la présence de fibres d'amphibole (trémolite ou actinolite) dans l'habitat ou en roche (carrés et ronds bleus sur la *figure 16*). Par contre, une relation semble s'établir entre la présence de serpentine fibreuse (carrés et ronds verts sur la *figure*

17), et la concentration de cas, aussi bien à proximité des serpentinites de la Boghen et de celles de la semelle des massifs miniers (*figure 17*).

La pertinence des levés géologiques disponibles comme indicateurs de terrains amiantifères est faible. Les itinéraires que nous avons effectués montrent de nombreux défauts à ces levés géologiques :

- contours imprécis,
- attributions d'unités erronées.

D'une manière générale dans la zone étudiée, l'étendue de l'unité de la Boghen est sous-estimée ainsi que le nombre de corps de serpentinites. Cela est particulièrement net au niveau de la piste des barrages de la Néaoua qui n'existait pas au moment des levés de la carte de Houaïlou. Une amélioration de cette cartographie dans les zones d'intérêt est souhaitable.

Photographie 38 - Talus de route au col des Roussettes**.** Contact entre la serpentinite (roches sombres à gauche) avec les micaschistes de la série de la Boghen (terres oranges à droite), souligné par des terres blanches d'altération à fibres d'actinolite.

5.3.3. Conclusions et perspectives

L'alea fibres en Nouvelle-Calédonie

Sur le terrain les occurrences de serpentinite sont souvent porteuses de fibres. On en distingue dans la région de Houaïlou–Bourail deux grands types :

- les filons de serpentinites encaissés par l'unité de la Boghen, contenant préférentiellement des amphiboles fibreuses de la série actinote – trémolite;
- les accidents serpentineux des massifs de péridotites, développés notamment à leur base (semelle de base ou semelle de charriage), qui contiennent du chrysotile dans de rares filonnets et de l'antigorite pouvant se débiter en esquilles fibreuses.

Dans les serpentinites liées à l'unité de la Boghen, les amphiboles de la série trémolite–actinote se sont probablement formées au cours de cycles complexes de déformation et de métamorphisme qui sont la caractéristique de cette unité. Nous avons déterminé, par diffraction des rayons X et analyses chimiques en microscopie électronique, deux espèces minéralogiques de la famille des amphiboles de la série calcique: la trémolite et l'actinolite. Cette série est une solution solide entre le pôle calcique et magnésien (trémolite) et le pôle calcique et ferrique (ferro-actinolite).

Une confrontation critique du terrain avec les cartes géologiques au 1 / 50 000 a montré que ces dernières étaient déficientes à plusieurs égards : la précision, la nature des roches, l'appartenance à telle ou telle unité manquent. La plupart de ces documents n'a pas été mis à jour depuis plus de vingt ans. Aux vues de ce constat, il est paru nécessaire de lancer une nouvelle campagne de cartographie dans les zones de fortes incidences du mésothéliome.

Facteurs de dispersion

Les fibres d'amiante suivent un cycle naturel et anthropique probablement complexe. Présentes en roche, elles ne sont libérées que lors d'une dégradation de celle-ci, d'ordre mécanique et/ou chimique.

Les dégradations mécaniques résultent habituellement de l'action anthropique, qu'il s'agisse de l'exploitation de ressources naturelles (nickel, matériaux, pierre savon) ou

de l'aménagement (carrière, voierie, bâtiments). Ainsi, la disposition en Nouvelle-Calédonie des foyers de mésothéliome de part et d'autre des deux grandes transversales (Houaïlou – Bourail d'une part et Koné – Tiwaka d'autre part) est peut-être révélatrice d'un facteur lié aux pistes et à la fréquence des liaisons au travers des deux principaux noyaux d'unité de la Boghen dans la chaîne centrale.

Les dégradations chimiques correspondent à l'altération des roches dans le temps, leur action sur les fibres étant variables. Les terres blanches sont des produits d'altération dont la nature dépend de la roche mère.

Dans le but d'une évaluation précise du risque, il faudrait mesurer :

- le potentiel de dispersion des fibres : la nature physique du sol, sa dénudation et son érosion naturelle ou anthropique, les facteurs météorologiques (alternance sécheresse/pluies, vents dominants) et l'aérologie des fibres (dimension, forme) ;
- le potentiel de pollution, c'est-à-dire le contact des fibres avec la population, par effet de site : proximité des lieux à risque, encaissement, densité du couvert végétal filtrant, nocivité des fibres transportées, etc.

La modélisation libération-dispersion-retombée des fibres nocives demanderait des données spécifiques (géomorphologie, météorologie) qui ne sont pas acquises à l'échelle de cette étude.

Bilan sur la démarche adoptée

La méthodologie appliquée dans notre étude se base sur une enquête à la fois épidémiologique, géologique et minéralogique dans les tribus de résidence des cas confirmés de mésothéliome et dans les régions avoisinantes.

D'un point de vue épidémiologique, le sexe-ratio proche de 1 et l'âge des cas de mésothéliome dans la zone d'étude de Houaïlou-Bourail ont confirmé l'origine environnementale de l'exposition à l'amiante, en particulier dans les tribus proches du village de Houaïlou et du col des Roussettes. Le petit nombre de cas étudié dans cette première série d'enquêtes, même s'il représente des incidences remarquablement élevées, ne nous permettait pas d'analyser par des tests statistiques le lien entre les facteurs de risque évoqués et la maladie. A ce stade les

résultats (incidences, facteurs de risques étudiés) sont représentés sur des cartes qui permettent de visualiser leurs possibles relations géographiques.

L'échantillonnage des affleurements géologiques, des enduits des cases et des matériaux utilisés pour la fabrication de l'enduit a permis de qualifier la dangerosité des matériaux 1) par la présence de fibres dans les frottis de tous nos échantillons observés en microscopie optique ; 2) par la présence de minéraux de la famille des amphiboles ou des serpentines (analyse par diffraction des rayons X) ; 3) par quelques observations en microscopie électronique à balayage sur des échantillons choisis. Une quantification des fibres, couplée à une détermination minéralogique fine (nature, répartition des tailles, longueur, épaisseur), était hors du cadre du présent projet. D'une façon globale, les cas se concentrent dans les régions présentant des fibres de serpentine, aussi bien dans les serpentinites de la Boghen que dans celles de la semelle des massifs miniers.

Le diagnostic de la présence de fibres sur les frottis observés en microscopie optique est de manière générale satisfaisant. Il est confirmé sur les échantillons observés en microscopie électronique. Par contre, les diagnostics sur roches appellent quelques commentaires. En effet, certains échantillons négatifs sur frottis montrent en diffraction des rayons X (DRX) la présence de minéraux du groupe des serpentines. À l'inverse, pour des frottis positifs au MOLP, la DRX n'a diagnostiqué aucun minéral appartenant aux familles des amphiboles ou des serpentines, mais de la muscovite et de la sépiolite qui sont des phyllosilicates pouvant avoir des habitus fibreux ou plumeux. Le prélèvement d'une roche réalisé pour le frottis peut privilégier certains faciès de la roche par rapport à d'autres. Il est donc important de réaliser sur un échantillon de roche plusieurs frottis correspondant aux différents faciès macroscopiques observés, et de confirmer la minéralogie par DRX ; si nécessaire, on aura recours à la microscopie électronique.

La diffraction des rayons X possède également ses limites. Elle permet de déterminer la nature minéralogique d'un échantillon, mais ne permet pas de vérifier la présence de fibres, donc la nature amiante du minéral. De plus, les roches sont le plus souvent constituées de nombreuses phases minérales en proportions variables. Un minéral ou un groupe minéral particulier n'est décelé par DRX que pour une concentration supérieure à 5% (10% dans le cas de matériaux fortement pluriphasés). Plus la

concentration du minéral analysé est importante, meilleure sera sa détermination. De même, au sein d'un groupe minéral, la détermination d'un minéral particulier est d'autant plus facile qu'il n'est pas masqué par d'autres phases.

Les possibilités de la microscopie électronique n'ont pas pu être utilisées pleinement dans le cadre de cette étude, notamment l'approche statistique de la taille des fibres couplée à l'analyse chimique. Cela nécessitait des moyens financiers qui n'étaient pas attribués dans ce projet.

En résumé, notre approche épidémio-géologique a permis:

- de constater la non concordance entre l'occurrence des cas et l'exposition au *Pö* trémolitique
- d'identifier les roches porteuses de fibres amiantifères et leur contexte géologique
- de remarquer une relation entre l'occurrence des cas et la présence de roches contenant des serpentines.

Facteurs de risque d'exposition à l'amiante

A l'état naturel, la présence de roches et terres blanches dans la géologie ne suffit pas à représenter un danger en soi lorsqu'elles sont recouvertes par la végétation. Cependant il peut exister des affleurements de serpentinite qui peuvent représenter un bruit de fond pour les populations sous le vent. Les facteurs de risque d'exposition sont essentiellement liés à l'activité antropique, l'utilisation de ces matériaux étant responsable de l'émission des fibres et de leur contact avec la population.

Les cas étudiés présentent, pour la plupart, différents facteurs de risque possibles. Ils ont vécu dans une case recouverte de *Pö*, ont participé à la préparation du *Pö* et aux travaux des champs durant leur enfance, et vécu plusieurs décennies dans un secteur où existent des affleurements de roches amiantifères remarquables sur les talus de routes. Certains cas, chez les hommes, pourraient présenter un facteur de risque professionnel, difficile à évaluer : plusieurs ont participé à la prospection minière, d'autres aux travaux dans les usines de traitement du nickel, deux cas ont été conducteurs d'engins. Cette exposition professionnelle possible est limitée dans le temps, et ne concerne finalement qu'un seul cas, si l'on tient compte du temps de

latence du mésothéliome. Seule une vaste étude cas-témoins à l'échelle de la Nouvelle-Calédonie permettrait d'évaluer ce risque.

Notre étude a montré que le *Pö* n'était pas systématiquement un facteur d'exposition. Mais, lorsqu'il est préparé à partir d'un matériau amiantifère, le risque environnemental peut exister pour ceux qui ont participé à sa préparation et pour ceux ayant habité une case recouverte de ce *Pö*. Il est difficile d'évaluer ici si le mode de préparation du *Pö* induit une plus ou moins forte dangerosité du matériau ; en effet celui-ci se fait à partir d'une pâte argileuse et de l'eau, qui prévient l'envol de fibres. Nous avons observé que lorsque le *Pö* contient des minéraux argileux, ceux-ci forment un liant dans lequel même les fines aiguilles semblent plus fortement retenues et donc moins susceptibles d'être libérées. Cette remarque vaut pour les affleurements en roche. Si les occurrences naturelles de minéraux fibreux se trouvent dans des faciès contenant des argiles, ces dernières forment une matrice qui diminue le potentiel de libération des fibres dans l'atmosphère.

Une autre hypothèse expliquant les différences de niveaux de risque pourrait être la notion de « taille critique » des fibres, soit pour leur dispersion, soit pour leur dangerosité. Une analyse spécifique de la taille des fibres, couplée à l'incidence de la maladie, pourrait améliorer la connaissance sur le risque inhérent aux différents matériaux amiantifères.

Le risque lié aux travaux dans les champs est lui aussi difficile à évaluer : le matériau provenant de la dégradation et de l'altération de serpentinites très fibreuses, peut se trouver en petites surfaces au milieu des champs. Cependant cette terre n'est pas bonne pour la culture ; nous avons observé en particulier la fréquente présence de « bois de fer » sur les sols recouvrant les serpentinites. Dans un but de prévention, il serait recommandé d'organiser une bonne information de la population locale afin qu'elle sache reconnaître les formations potentiellement dangereuses et qu'elle apprenne à ne pas remuer la « terre blanche » au cours des travaux domestiques, mais au contraire à la recouvrir de terre végétale.

Lors de nos enquêtes, nous avons découvert que la serpentinite était souvent exploitée en carrières de matériau « tout venant » pour aménager la voierie proche. Ces carrières sont en général non déclarées, intermittentes, et la nature du matériau

n’est pas contrôlée. Ce matériau friable est facilement et préférentiellement extrait pour revêtir les pistes dans les zones rurales. Ces pistes, non goudronnées, représentent une source d’exposition non négligeable. Le risque peut alors exister à plusieurs niveaux :

- habitants de tribus situées le long de ces pistes,
- enfants et jeunes allant jouer et faire du vélo dans les carrières,
- ouvriers travaillant à la voierie,
- passagers de véhicules empruntant le réseau de pistes encaillassées.

Cet aspect du problème est lourd de conséquences puisqu'il touche à l'aménagement du territoire. Il implique :

- l’interdiction des travaux sur serpentinites et de l'exploitation des serpentinites comme matériau,
- la nécessité de trouver des ressources en matériaux de substitution,
- le remplacement ou recouvrement des revêtements de piste constitués de serpentinite par des matériaux neutres.

A cette étape de nos travaux, nous avons donc recommandé :

- de procéder à un inventaire hiérarchisé des sites amiantifères aménagés,
- de reconnaître les tronçons de route revêtus avec des matériaux serpentineux.

Perspectives

La focalisation sur la région de Houaïlou–Bourail a dévoilé le problème dans toute sa complexité. Le *Pö* n’est pas toujours amiantifère ; il n’est pas le seul facteur d’exposition à l’amiante environnemental. La serpentinite est souvent exploitée en carrières pour aménager la voierie proche. Les pistes recouvertes de ce matériau semblent représenter un vecteur important de dispersion des fibres et ainsi une source d’exposition potentielle à considérer. La concentration de certains cas sous le vent du massif minier ne permet pas d’exclure la possibilité de contamination par les poussières émises lors de l’exploitation.

Suite à nos premiers résultats, le Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie a engagé une campagne de recensement des zones amiantifères aménagées dans les communes prioritaires. Nous avons recommandé de compléter notre étude par une

évaluation plus précise du risque actuel grâce à une analyse métrologique (capteurs de particules) qui quantifierait la présence des différentes fibres dans l'air au niveau des zones concernées (pistes, carrières). Elle devrait prendre en compte les facteurs de dispersion des fibres, difficiles à apprécier : facteurs naturels (vent), et humains (travaux sur carrières, travaux publics, roulage, travaux des champs, jeux d'enfants, …).

La seconde zone à risque de mésothéliome en Nouvelle-Calédonie se trouve autour de la transversale Kone-Touho-Poindimié. Elle présente des similitudes géologiques avec celle de Houaïlou-Bourail, mais l'activité minière est quasiment absente de cette zone. Afin d'affiner nos premiers résultats et de mieux cerner les risques d'exposition environnementale à l'amiante, nous avons proposé un second projet au Ministère de l'Outre-Mer, pour étendre l'enquête épidémiologique, géologique et minéralogique à cette zone, et tester une méthode passive d'analyse des fibres dans l'air.

5.4. Confrontation des données épidémiologiques et des données géologiques dans le secteur de Koné-Touho-Poindimié, et identification des fibres aériennes d'amiante.

Cette deuxième série d'enquêtes a été réalisée grâce au second financement du Ministère de l'Outre-Mer, complété par un financement du Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie. Les résultats présentés ci-dessous ont été publiés dans les rapports IPNC FB MOM 2008 et BRGM RP- 56198 – FR, 2008 [*Baumann 2008, Maurizot 2008*].

Ce programme de recherche comprenait deux volets :

- L'extension de l'enquête épidémiologique, géologique et minéralogique au secteur de Koné–Touho–Poindimié, seconde zone à risque de mésothéliome en NC, qui présente des similitudes géologiques avec la région de Houaïlou-Bourail : un noyau de roches métamorphiques de type Boghen, avec de nombreux corps de serpentinite, mais pas d'exploitation minière dans le passé.
- La pose de capteurs de fibres dans les deux secteurs: le but étant de mettre en évidence la présence de fibres dans l'air et de déterminer leur nature minéralogique (amphibole et/ou serpentine).

5.4.2. 1. Résultats de l'enquête épidémiologique

Répartition selon le sexe, l'âge et le lieu de résidence

Les cas inclus dans cette étude sont tous des cas de mésothéliome malin pleural confirmés par l'histologie, recencés au Registre du cancer de Nouvelle-Calédonie entre 1984 et 2006 inclus, et enregistrés sur l'une des communes de Koné, Touho ou Poindimié, soit 29 cas.

Le sexe ratio H/F est de 0,71 : 12 hommes ont été diagnostiqués, d'un âge de 36 à 80 ans, et 17 femmes de 32 à 72 ans. La répartition selon le sexe et l'âge confirme l'hypothèse d'une exposition environnementale dans cette région (*Figure 18*). Les années de naissance s'étalent de 1920 à 1962.

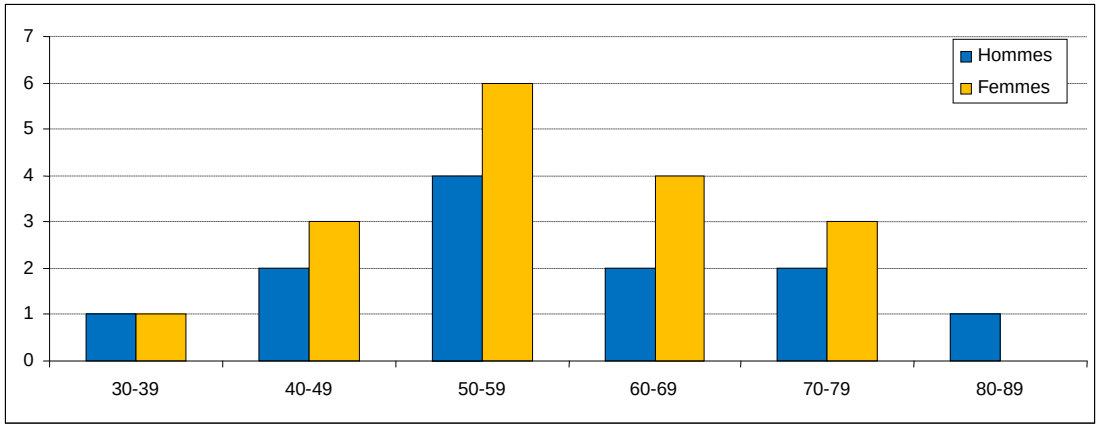


Figure 18 - Répartition des cas de mésothéliomes (1894-2006) résidant dans la région de Koné-Touho-Poindimié par sexe et par classe d'âge

Répartition selon le lieu de résidence

Parmi les 29 cas inclus, 12 ont résidé dans la commune de Koné, 12 dans la commune de Poindimié, 2 dans les deux communes de Poindimié et Touho, et 3 dans la commune de Touho (*Annexe 3 – Tableau 1*). La répartition par tribu se fait comme suit (*Figure 19*) :

- Parmi les cas enregistrés à Koné :
  - 1 cas a vécu à la tribu de Koniambo
  - 4 cas ont vécu à Noéli (dont une femme originaire de Bouirou)
  - 2 cas à Néami (dont une femme ayant vécu à Montfaoué)
  - 3 cas à Netchaot
  - 2 cas à Tiawé.

- Parmi les cas enregistrés à Poindimié :
  - 2 cas sont originaires de Bopope
  - 2 femmes ont vécu à Tiunao et à Tiwaka
  - 1 femme à Tiunao et à Kokengone (Touho)
  - 1 femme à Tiwaka et à Kokengone (Touho)
  - 1 homme à Tiwaka
  - 2 cas à Tiéti
  - 2 cas dans la vallée d'Amoa
  - 1 cas à Oindo
  - 2 cas à Ometteux.

Parmi les cas enregistrés à Touho :

- 1 cas a vécu à Kokengone
- 1 cas à Poe
- 1 cas à Pombéi.

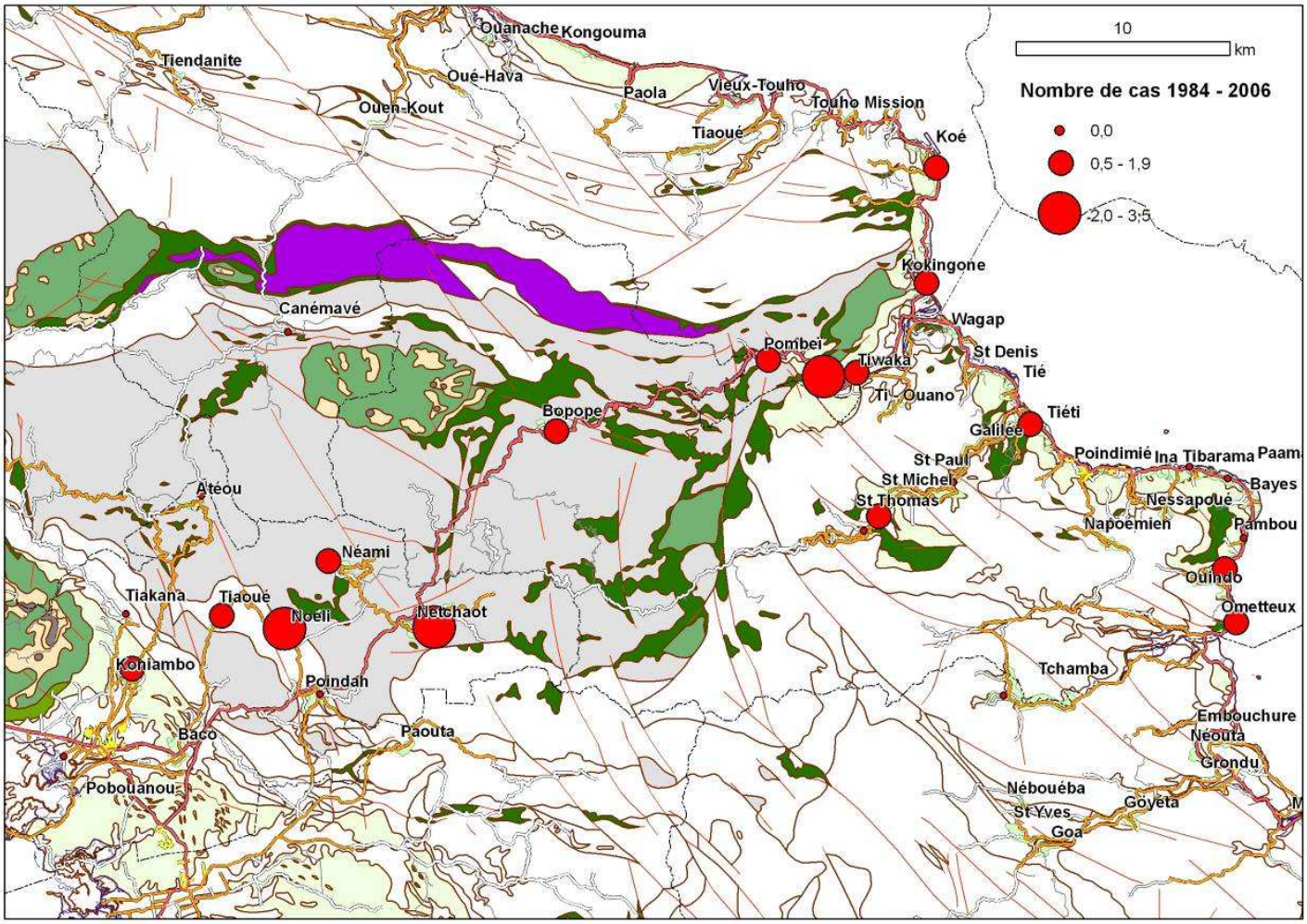


Figure 19 - Cartographie des nombres de cas de mésothéliomes (1984-2006) par tribu, dans la région de Koné-Touho-Poindimié. Chaque tribu est représentée par un rond rouge, dont le diamètre représente le nombre de cas (plus petit diamètre pour 0 cas)

Utilisation et nature du *Pö*

Tous les cas nés avant 1960 ont vécu pendant leur enfance dans une case en torchis. Contrairement à la région de Houailou, les cases n'étaient pas systématiquement

recouvertes de *Pö* dans la région de Touho et Poindimié (en particulier les tribus de bord de mer).

Dans cette région, comme dans le secteur de Houaïlou et Bourail, le matériau utilisé pour blanchir les murs des habitations dépendait de la tribu, et parfois du clan : cela pouvait être de l'argile, de la terre blanche trémolitique ou du corail cuit. Il serait donc abusif de considérer qu'une personne ayant vécu dans une case recouverte d'un enduit blanc aurait ainsi été exposée systématiquement à la trémolite.

L'utilisation du béton ou de la tôle a fait son apparition dans les années 60, principalement dans les tribus situées le long de la route territoriale et de la transversale, et les cases ont progressivement été remplacées par des constructions « en dur ». Il subsiste cependant encore des cases en torchis dans certaines régions, qui côtoyent l'habitat en béton ou en bois. Le recensement des cases recouvertes de trémolite a contribué ces dernières années à faire disparaître la majorité des habitats à risque (*photographie 39*). Nous avons cependant relevé au cours de nos enquêtes quelques cases recouvertes de *Pö* trémolitique qui avaient « échappé » à la démolition (tribus de Noéli, Tiawe, Kokengone, Pombei).

Photographie 39 - Panneau d'enfouissement des gravats d'une maison trémolitique à Ateu

Sur les 27 cas interrogés (*Annexe 3 – Tableau 2*), 10 n'ont jamais vécu dans une case à *Pö* pour différentes raisons : parce qu'ils sont nés après la période d'utilisation de cet enduit (2 cas), ou originaires de l'extérieur à la Nouvelle-Calédonie (Tahiti : 1 cas), ou parce que le *Pö* n'était pas d'usage dans leur famille (7 cas). Les personnes non exposées au *Pö* représentent autant d'hommes que de femmes. Pour les 17 cas concernés, le nombre d'années d'exposition varie de 1 à 60 ans.

Les résultats d'analyse de nos échantillons de *Pö* sont détaillés dans les tableaux en *annexe 4*.

Ecoles fréquentées

Tous les cas, sauf deux femmes, sont allés à l'école durant 5 à 8 années (*Annexe 3 – Tableau 1*). L'école fréquentée est celle tenue par la communauté religieuse d'appartenance (catholique ou protestante). On retrouve ainsi 7 cas ayant fréquenté l'école de Tye, les autres cas se répartissant sur les écoles de Doneva (Houaïlou), de Teouti (Ponerihouen) et des différentes tribus d'origine.

Seules 3 personnes ont dormi à l'internat : seulement celles ayant fréquenté les écoles de Doneva (1 cas) et de Teouti (2 cas). Pour les autres, la proximité de l'école leur permettait de rentrer le soir dans leur famille.

Activités à la tribu

Tous les cas inclus ont travaillé aux champs durant leur enfance, et ont participé au ramassage et à la préparation du *Pö* lorsqu'il était utilisé dans la famille (17 cas).

Parcours professionnel

Toutes les femmes ont participé aux travaux des champs dès leur enfance dans leur tribu d'origine. Elles ont continué à travailler aux champs dans la tribu de leur mari, sauf une femme ayant été embauchée à la culture du café. Une femme a travaillé comme aide maternelle dans une école. Aucune femme ne semble présenter de risque d'exposition professionnelle (*Annexe 3 – Tableau 2*). Une femme a vécu quelques mois à Houaïlou pour accompagner son mari pasteur en formation à Doneva. Elle n'a exercé aucune activité dans cette école.

Concernant les hommes, les parcours professionnels sont très variés. Bien que la plupart aient gardé un mode de vie tribal, plusieurs d'entre eux ont eu diverses activités salariées ponctuelles, occasionnées le plus souvent par des opportunités. Trois hommes ont travaillé au chargement / déchargement de bateaux selon des séjours de 2-3 semaines, étalés sur 2 à 10 années au maximum. Un homme a travaillé dans une scierie, un autre a été ouvrier agricole après un séjour à l'armée, un autre a été stockman, deux ont été maçons, un autre ouvrier du bâtiment. Un homme originaire de Tahiti a été employé aux Travaux Publics dans la région ainsi que sur la transversale Houaïlou-Bourail avant d'être boulanger. Deux hommes ont travaillé à la mine durant quelques années, au moment du « boom » du nickel: l'un à la mine de Tontouta, l'autre à celle de Poro (*Annexe 3 – Tableau 2*).

Certaines de ces activités professionnelles pourraient présenter un risque possible d'exposition à l'amiante: le chargement de bateaux, les travaux publics et les travaux à la mine. Tous ces cas, sauf un mineur, ont été diagnostiqués avant l'âge de 60 ans, et ont réalisé ces activités professionnelles moins de 30 ans avant la maladie, ce qui rend peu probable cette origine comme responsable de leur exposition à l'amiante. L'exposition professionnelle possible ne peut donc être retenue que pour un seul cas.

5.4.2.Résultats de l'enquête géologique et minéralogique

Généralités

L'étude géologique et les prélèvements d'échantillons potentiellement amiantifères ont été réalisés préférentiellement dans les zones de vie des cas de mésothéliome, mais également sur les affleurements rencontrés dans les trajets de liaison entre ces zones.

Plusieurs environnements géologiques sont traversés de la côte Ouest à la côte Est, en passant par la Chaîne centrale. On distingue :

- à l'Ouest les formations sédimentaire (Crétacé) et volcanique (Unité de Poya) dominées par le massif de péridotites du Koniambo,
- au centre l'unité polymétamorphique de la Boghen,
- à l'Est, l'unité métamorphique de haute pression du Nord calédonien.

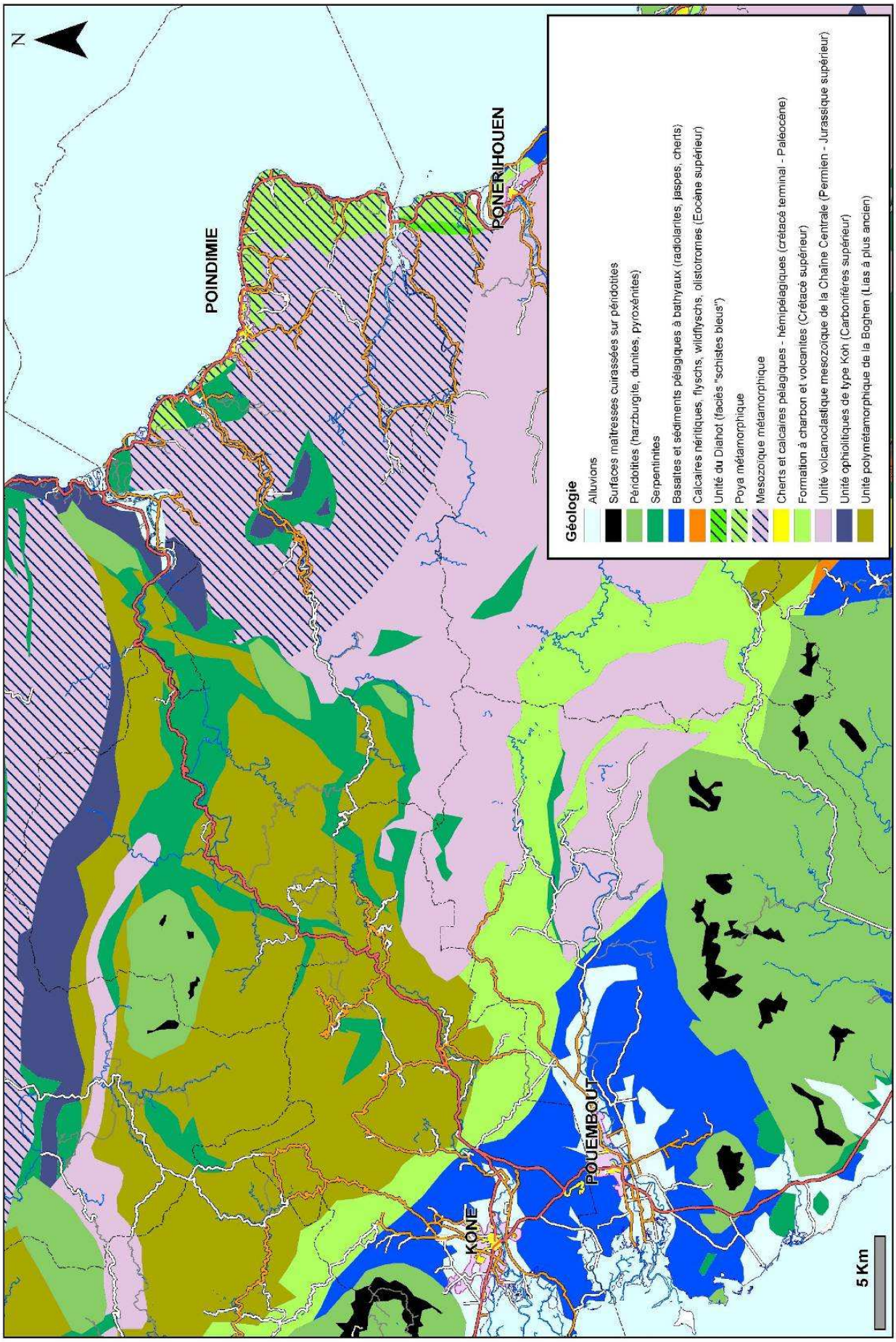


Figure 20 - Carte géologique simplifiée de la région de Koné-Tiwaka-Poindimié

Ces environnements sont représentés sur l'extrait de la carte géologique à l'échelle du 1/1 000 000 de Nouvelle-Calédonie qui a servi à établir la *figure 20*. Les données analytiques des échantillons sont présentées dans les *tableaux 3 à 5 de l'annexe 4*.

Le secteur Ouest

Les formations géologiques du secteur Ouest semblent peu propices à l'affleurement de roches potentiellement amiantifères (*Figure 21).*

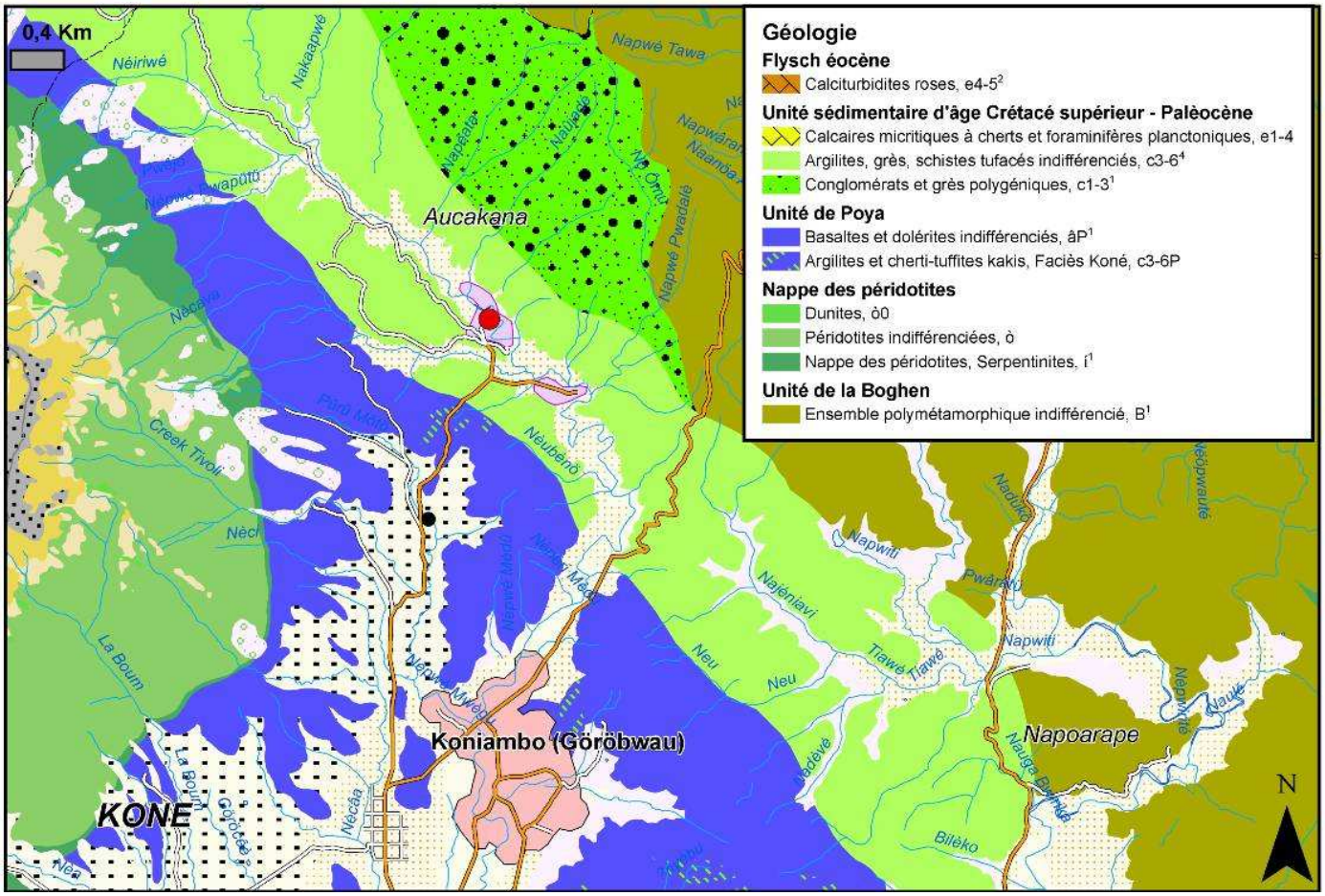


Figure 21 - Carte géologique du secteur Ouest à partir du levé au 1 / 50 000 (en rouge les échantillons contenant des fibres amiantifères, observation MOLP sur frottis)

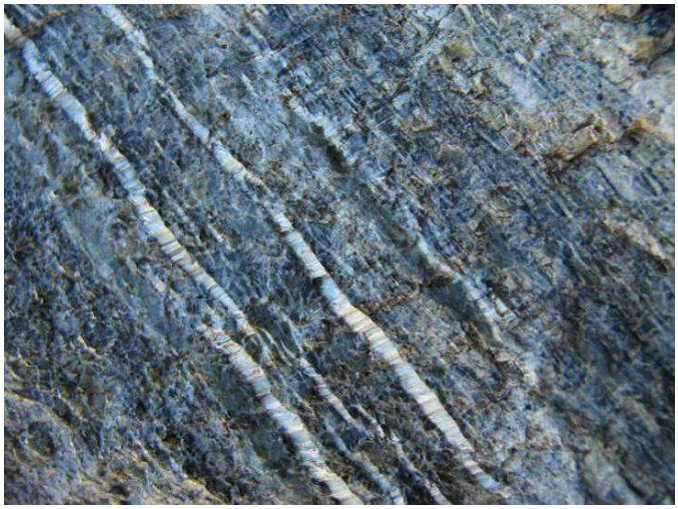
Dans la tribu de Koniambo, seule la semelle serpentineuse du massif du Koniambo est connue pour contenir occasionnellement des filonnets de chrysotile. Aucun affleurement n'a révélé de roche ou de terre potentiellement amiantifères, d'où l'absence d'échantillon. La tribu est installée sur des altérites et colluvions développées sur les basaltes et argilites de l'unité de Poya.

Dans le site de Tiaakana, au Nord de la tribu de Koniambo, près d'un affleurement de sédiments schistosés probablement crétacé (présence de nodules), nous avons observé une case ancienne, non habitée mais utilisée pour stocker du matériel, enduite de *Pö* blanc. Une femme âgée nous a conduits sur le gisement de ce *Pö*, dans les berges argileuses d'un creek ; les échantillons récoltés sur ce site se sont révélés non fibreux.

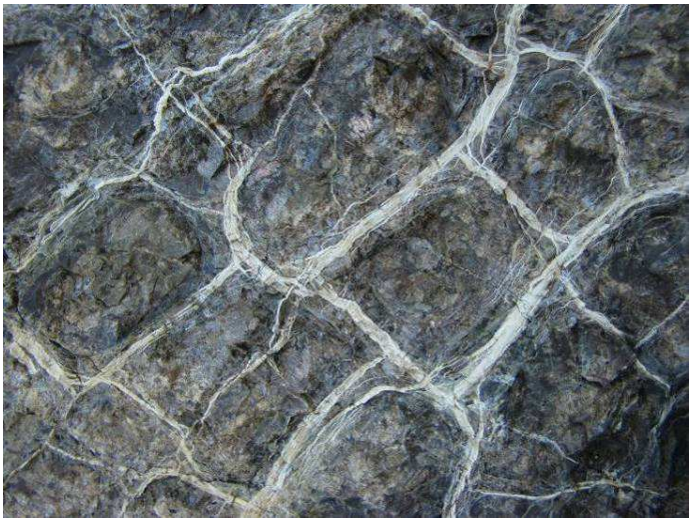
Le frottis du *Pö* observé au MOLP (*Annexe 4 – Tableau 3*) révèle 100 % de petites fibres (longueur 20 µm, diamètre 1 µm en moyenne) très droites, certainement des amphiboles de la série trémolite-actinote ; il est donc probable que ce matériel n'a pas été collecté au lieu indiqué mais plus à l'Est, dans l'unité proche de la Boghen.

Différents filons de serpentinite, de type antigorite, ainsi que des filonnets de chrysotile et de lizardite, ont été relevés sur le massif minier du Koniambo (*photos 40 à 42*).

Photographie 40 - Antigorite altérée sur le massif du Koniambo - *D Lahondère - BRGM*



Photographie 410 – Veines de chrysotile - massif du Koniambo - *D Lahondère - BRGM*



Photographie 42 – Veines de lizardite - massif du Koniambo - *D Lahondère - BRGM*

La chaîne centrale

Cette zone couvre l'ensemble des territoires autour des tribus d'Atéou, Tiaoué, Noéli, Néami, Netchaot sur le versant Est, et de Bobope sur le versant Ouest de la chaîne.

La carte géologique (*figure 21*) montre que toutes ces tribus sont installées sur les formations polymétamorphiques de l'unité de la Boghen, elles mêmes entrelardées de corps de toutes tailles (kilométriques à métriques) de serpentinite. Ces formations sont dominées au Nord par le massif de péridotites « minier » (non exploité) du Tchingou.

La situation est tout à fait comparable à ce que nous avons observé dans l'environnement des tribus de la chaîne centrale dans la commune de Houaïlou [*Baumann 2007*]. Presque tous les affleurements suspectés amiantifères révèlent la présence de fibres minérales au MOLP. Les points rouges de la *figure 22* correspondent aux échantillons « positifs».

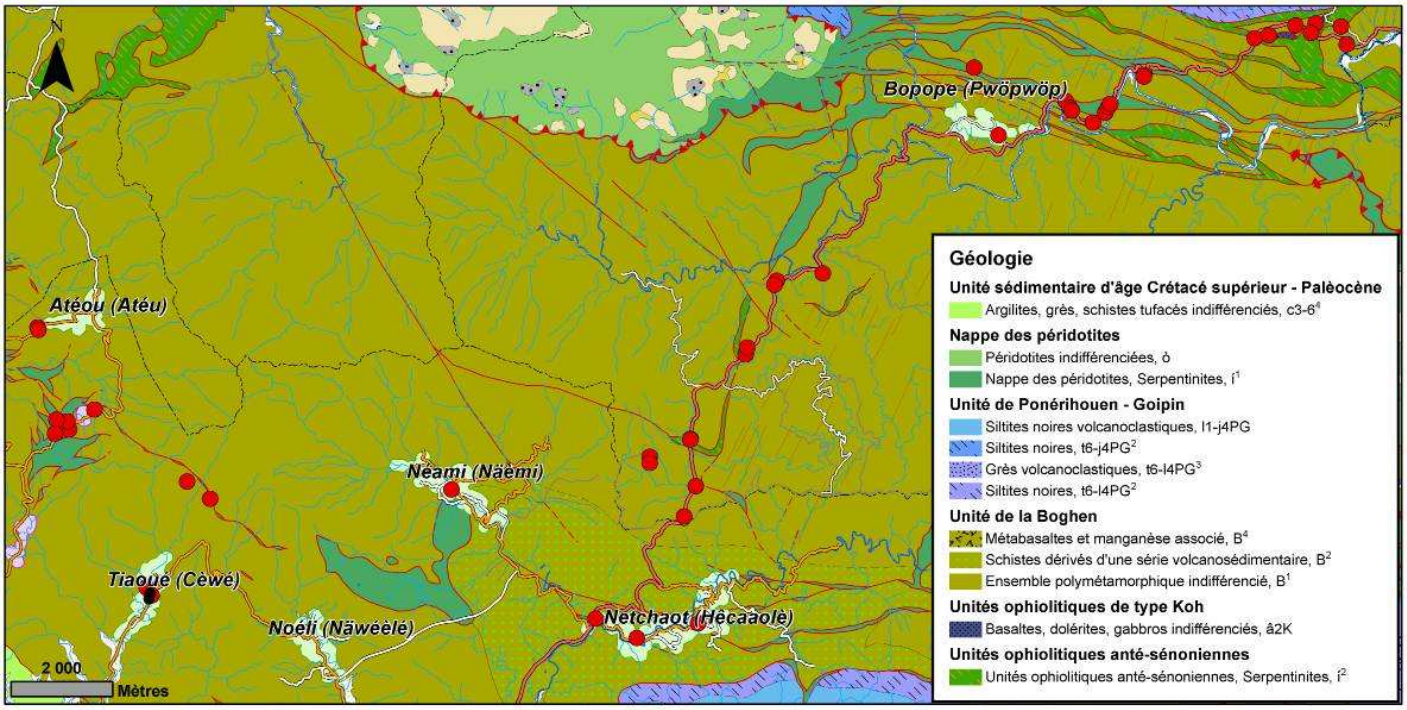


Figure 22 - Carte géologique du secteur de la chaîne centrale (1 / 50 000) : en rouge les échantillons contenant des fibres amiantifères d'après les observations au MOLP sur frottis.

Dans la tribu d'Ateu, nous avons relevé l'abondance de corps et de filons de serpentinite de toutes dimensions (métriques à kilométriques) le long de la piste d'accès à la tribu. Les affleurements de roches et de terres blanches potentiellement amiantifères sont nombreux, et le matériau serpentinite est utilisé pour recouvrir la piste. On n'a relevé aucune carrière de grandes dimensions, mais une carrière de serpentinite est en cours d'utilisation. Les échantillons collectés, dont les frottis ont été observés au MOLP, s'avèrent contenir de la trémolite et/ou du chrysotile et/ou de l'antigorite fibreuse. Par ailleurs de nombreuses cases ont été recensées « trémolitiques » et démolies dans cette tribu. On nous a indiqué que la tribu était auparavant installée plus bas, en-dessous de cette région serpentineuse.

La zone de Pwanaki, située en contrebas de la tribu actuelle d'Atéu, se trouve en-dessous des affleurements de serpentinite et n'est donc pas concernée diorectement par le risque d'exposition sur la route.

Dans la tribu de Tiaoué, plusieurs cases ont été démolies (3 sites d'enfouissement notés) ; une case enduite de *Pö* présente des fibres de trémolite et d'antigorite. Aucun affleurement potentiellement amiantifère n'a été relevé dans l'environnement des habitations. Par contre, suivant les indications des anciens de la tribu sur les gisements de *Pô* (vers Atéou et vers Noéli), nous avons localisé plusieurs affleurements dans la montagne à l'Est, à plusieurs kilomètres en amont de la tribu. Dans ces zones, des occurrences de terre blanches apparaissent à nouveau au contact de corps de serpentinite massive et des schistes (*photographies 43 et* 44) et tous les frottis s'avèrent fibreux (trémolite et antigorite).

Photographie 43 – Terre blanche au contact serpentinite/micaschiste (région de Koné)

Photographie 44 – Détail de terre blanche de type antigorite au contact serpentinite/micaschiste

Dans les territoires autour des tribus de Noéli et de Poindah, il n'y a pas d'affleurement potentiellement amiantifère visible. Sur la piste de Tiaoué à Noéli, dans la tribu de Noéli, le long des pistes de Noéli ou de Poindah vers la transversale Koné-Tiwaka où dans la tribu de Poindah, les talus de route ou de plateforme montrent un faciès altéré jaune de micaschiste de la Boghen, ou sa couverte d'altérite sableuse. Un petit affleurement dans un talus de route à Poindah présente des terres blanches au contact d'un bloc de serpentinite de type antigorite et de la Boghen. Quelques corps de serpentinite se trouvent sur la piste du captage qui rejoint Néami.

Dans la tribu de Néami et à 1 km le long de la piste qui mène de Néami à la transversale Koné-Tiwaka, le même faciès altéré jaune de l'unité de la Boghen, qui apparaît verte et massive dans les rares affleurements de roche saine en fond de creek, est entrelardé de nombreux filons de serpentinite plus ou moins altérée. Des occurrences fréquentes de terre blanche sont observées au contact serpentinite/micaschiste. L'échantillon d'une passée de talc-schiste montre 100% de fibres hétérogènes, dont l'analyse minéralogique a mis en évidence la nature antigorite. L'école, la maison commune et les aménagements sportifs sont bâtis sur des veines de serpentinite. De nombreux talus de route, au contact serpentinite/Boghen présentent de la terre blanche trémolitique.

Dans le territoire de la tribu de Netchaot, on retrouve un environnement géologique similaire, avec l'unité de la Boghen, massive et verte quand la roche est saine, schisteuse et jaune quand elle est altérée, recoupée par des filons de serpentinite. Dans une petite carrière à l'entrée et dans les talus au milieu de la tribu, on observe des terres blanches au contact serpentinite/schiste. Les deux échantillons prélevés révèlent 100% de fibres hétérogènes de trémolite. De nombreux contacts serpentinite altérée – unité de la Boghen sont relevés sur les talus de route, avec des occurrences de terre blanche à esquilles aciculaires.

Aucun affleurement de serpentinite n'est observé dans la tribu de Bobope, mais cette roche, et les terres blanches associées, est présente dans les talus de route et trois anciennes carrières. La carrière du col de Tango est encore utilisée sur la piste d'accès. Les échantillons contiennent quelques fibres de chrysotile et de nombreuses fibres d'antigorite.

Photographie 45 – Carrière de serpentinite (Koné-Tiwaka).

D’une manière générale, le long de la route transversale Koné-Tiwaka, depuis le col de Tango jusqu’à Bobope, on constate que :

- la route tracée dans l’unité métamorphique de la Boghen recoupe de nombreux corps de serpentinite de toutes tailles (*photographie 46*), qui contiennent principalement des failles à antigorite en lattes ou fibreuse, et des filonnets millimétriques de chrysotile;
- le contact serpentinite/micaschiste est souvent souligné par des terres blanches constituées de trémolite ; certains faciès de « terres blanches » ne permettent pas de faire la différenciation entre l’antigorite très altérée et la trémolite, seule l’analyse minéralogique permet l’identification minérale.
- des altérations blanches amiantifères de la serpentinite près de la surface, sous la couche végétale du sol, contiennent des fibres de trémolite ;
- de grandes carrières ont été ouvertes dans ces serpentinites schistosées de la Boghen (*photographies 45 et 47*), pour extraire du matériau ensuite utilisé comme soubassement des pistes et de l'ancienne transversale. Dans les carrières, failles à serpentine (antigorite), filonnets de chrysotile fibreuse et roches tendres soyeuses sont systématiquement observés. La présence de fibres est confirmée par nos observations au MOLP.

Dans cette zone centre, la situation est comparable à celle des tribus de la Chaîne centrale dans la commune de Houaïlou [*Baumann 2007*], **avec une relation étroite entre la présence de terres ou roches riches en fibres de trémolite-actinolite, et la proximité de serpentinites feuilletées contenant des antigorites fibreuses et parfois du chrysoyile, associées à l’unité métamorphique de la Boghen.**

Photographie 46 - Talus de route dans un massif de serpentinite (route de Koné-Tiwaka)

Photographie 47 - Carrière de serpentinite (Bopope)

La côte Est

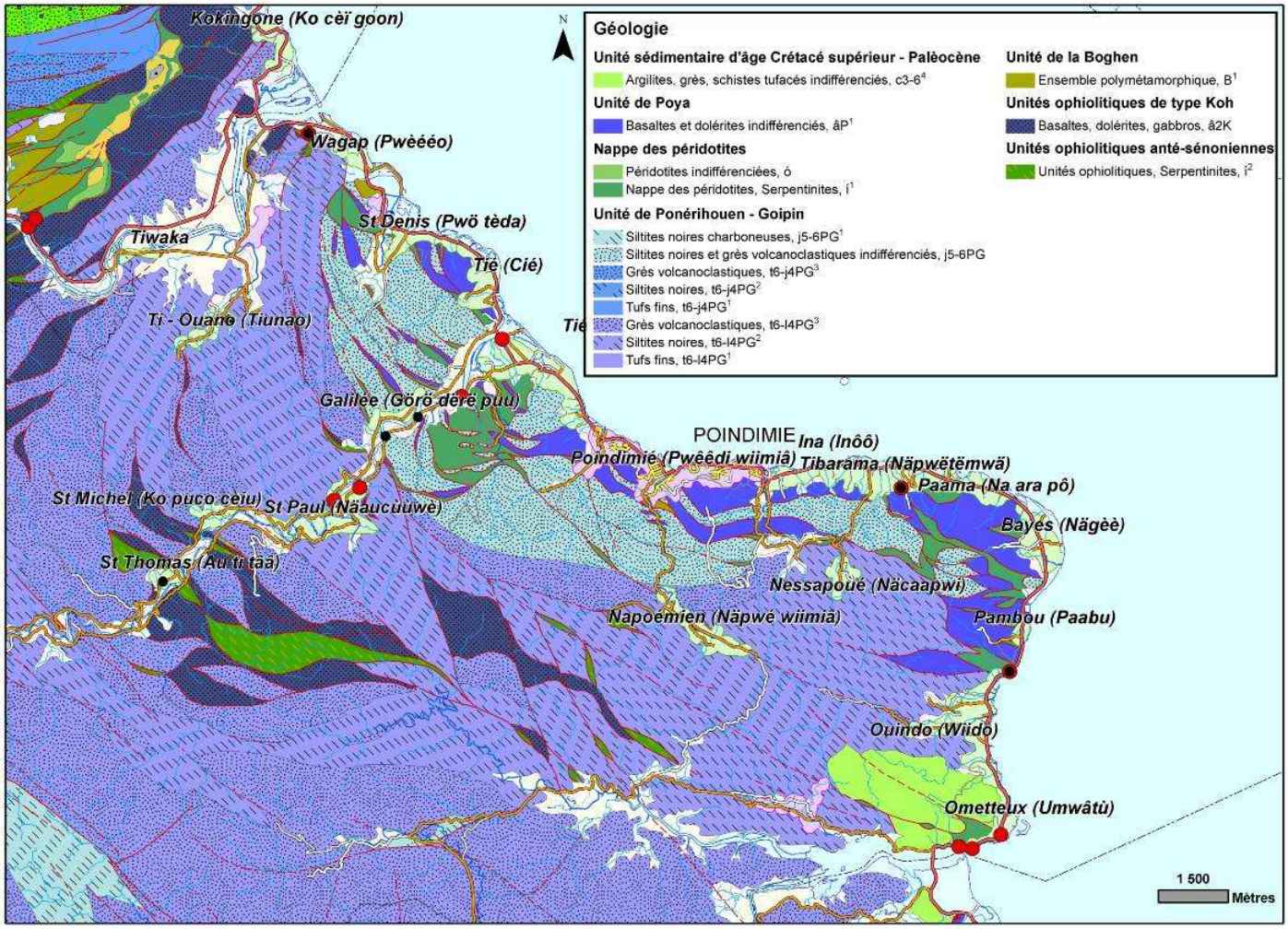


Figure 23 - Carte géologique du secteur « Côte Est » à partir du levé au 1/50 000 (en rouge les échantillons contenant des fibres amiantifères, observation MOLP sur frottis).

Plus à l'Est et dans les basses vallées de la côte Est, l'unité métamorphique de haute pression du Nord calédonien intègre plusieurs formations lithostratigraphiques (*Figure 23*). Ce sont essentiellement des siltites, tuffs et grès volcanoclastiques, schistosés ou foliés, qui présentent en surface le même faciès altéré de schiste jaune. On observe également des roches basiques (basaltes, dolérites et gabbros) et des corps ultrabasiques totalement serpentinisés et schistosés, présentant la même déformation polyphasée que les schistes.

Cet environnement géologique distinct des précédents présente cependant les mêmes terrains potentiellement amiantifères, en relation avec la présence proche de

serpentinite. De petites occurrences de talc-schistes ou de pierres « savon » peuvent aussi s'avérer fibreuses, comme dans la région de Hienghène [*Picard 2005*].

Prés des tribus de Tiwaka ou de Kokengone**,** des affleurements de terre blanche ont révélé la présence de trémolite, parfois associée à l'antigorite. Une carrière a montré la présence de veines de chrysotile et d'actinolite. Trémolite et antigorite fibreuse ont été mises en évidence dans des échantillons ramassés sur piste.

Au lieu dit Wagap, en rive droite de l'embouchure de la Tiwaka, 200 mètres à l'Ouest de la route côtière, se trouve une grande carrière de serpentinite très friable. On n'y observe pas de terre blanche ; les frottis montrent des grains et des fibres de plusieurs types, la plupart en fines lattes esquilleuses (antigorite ?).

La tribu de Tiéti est située sur de nombreuses lames de serpentinites au contact de l'unité de Poya. Des anciennes carrières sont creusées dans cette serpentinite de type antigorite en plaques, avec quelques filonnets de chrysotile. La serpentinite est largement utilisée comme matériau de recouvrement des pistes. Une école est adossée à un large affleurement de cette serpentinite.

Dans la vallée de l'Amoa, sur les deux rives, affleurent surtout les schistes jaunes altérés et des terres jaunes sableuses alluvionnaires. Un affleurement de schiste blanc talqueux sur un talus de route dans la tribu de Saint-Paul révèle une forte proportion de petites fibres, fines et droites, du type trémolite-actinolite. Près de l'embouchure, la route en rive droite recoupe de la serpentinite, avec de très petits filons de chrysotile qui apparaissent ponctuellement. L'affleurement de serpentinite longe la piste qui dessert toutes les tribus de cette vallée. Des fragments de cette serpentinite sont retrouvés sur la piste jusqu'à la route côtière. L'antigorite, très friable et très altérée, en est le principal constituant.

Le long de la route côtière, depuis Ponérihouen vers Poindimié, des terrains amiantifères sont recoupés en plusieurs lieux. Non loin de la tribu d'Ometteux, il existe une carrière de serpentinite avec des filonnets de chrysotile visibles à l'œil nu. A 100 m au Nord un talus de route recoupe de la serpentinite contenant des blocs de basalte et des filonnets de chrysotile. Une deuxième carrière de serpentinite est trouvée 1 km plus loin, dans laquelle on observe des terres blanches et de la pierre « savon » au contact des schistes. La serpentinite est très friable, composée de plaques d'antigorite

se délitant jusqu'à former de fines poussières. Les frottis de terres blanches révèlent des fibres de type trémolite avec de l'antigorite et du talc.

A 1,5 km au nord de la tribu de Ouindo, un talus de route montre le contact entre la serpentinite de type antigorite et les schistes jaunes. On n'observe pas de terre blanche mais un échantillon de serpentinite à filonnets de chrysotile a été prélevé ; l'analyse minéralogique révèle également la présence de fibres d'antigorite.

Enfin au lieu dit Paama, environ 4 km au Sud de Poindimié, une nouvelle carrière ouverte dans la serpentinite montre localement le faciès à filonnets de chrysotile. La piste d'accès est recouverte de serpentinite. Le principal minéral est de l'antigorite, se délitant jusqu'à former une fine poussière.

Dans cette zone Est, la situation est différente de celle de la zone centrale. La présence de terres ou de roches amiantifères, riches en fibres de trémolite-actinolite, est en relation avec la proximité de serpentinites feuilletées, contenant des veines de chrysotile et de l'antigorite fibreuse, associées à l'unité métamorphique. Mais il faut considérer la présence potentielle de passées métriques de talc-schiste à trémolite au sein des schistes jaunes, pas toujours visibles à l'échelle de nos investigations.

5.4.3.Tests de capteurs passifs de fibres

Principes

Un capteur dit « passif » de fibres dans l'air est constitué d'un support acier inox permettant de fixer à l'horizontale une ou deux plaquette de dépôt (appelées plaquettes DIEM), de 50 cm^2 où 100 cm^2. Ces plaquettes sont recouvertes au moment de la pose par une colle spécialement destinée à la capture de poussières dans l'air, qui est censée résister aux intempéries. Le support est planté dans le sol, dans un endroit dégagé, de sorte que les plaquettes se situent à une hauteur de 1m60 à 1m80 (*photographie 48*).

Photographie 48 – Capteur de particules au bord d'une route encaillassée de serpentinite

Emplacements des capteurs

Le choix de l'emplacement des capteurs résulte d'un compromis entre les impératifs scientifiques et logistiques. L'information et la participation des populations concernées sont nécessaires, afin que les plaquettes restent en place et que personne n'y touche. Les sites suivants sont privilégiés : bâtiments recouverts de *Pö* encore existants, carrières, bordures de pistes, sites d'activité. Des sites témoins dans des zones indemnes de cas sont également équipés. La pose se fait durant une fenêtre météorologique favorable (saison sèche). Les séries de capteurs sont ainsi mises en œuvre pendant des périodes de trois à douze mois.

Cent deux plaquettes DIEM ont été posées au cours de nos missions (*figure 24* et *annexe 5*) :

- 7 sur la commune de Bourail
- 37 sur la commune de Houailou
- 8 sur la commune de Koné

- 22 sur la commune de Poindimié
- 8 sur la commune de Touho
- 20 sur la commune de Poya.

Dans les zones étudiées, les capteurs ont été posés dans les zones à risque mises en évidence par l'enquête épidémiologique. Des capteurs témoins ont été disposés également dans les zones indemnes de cas.

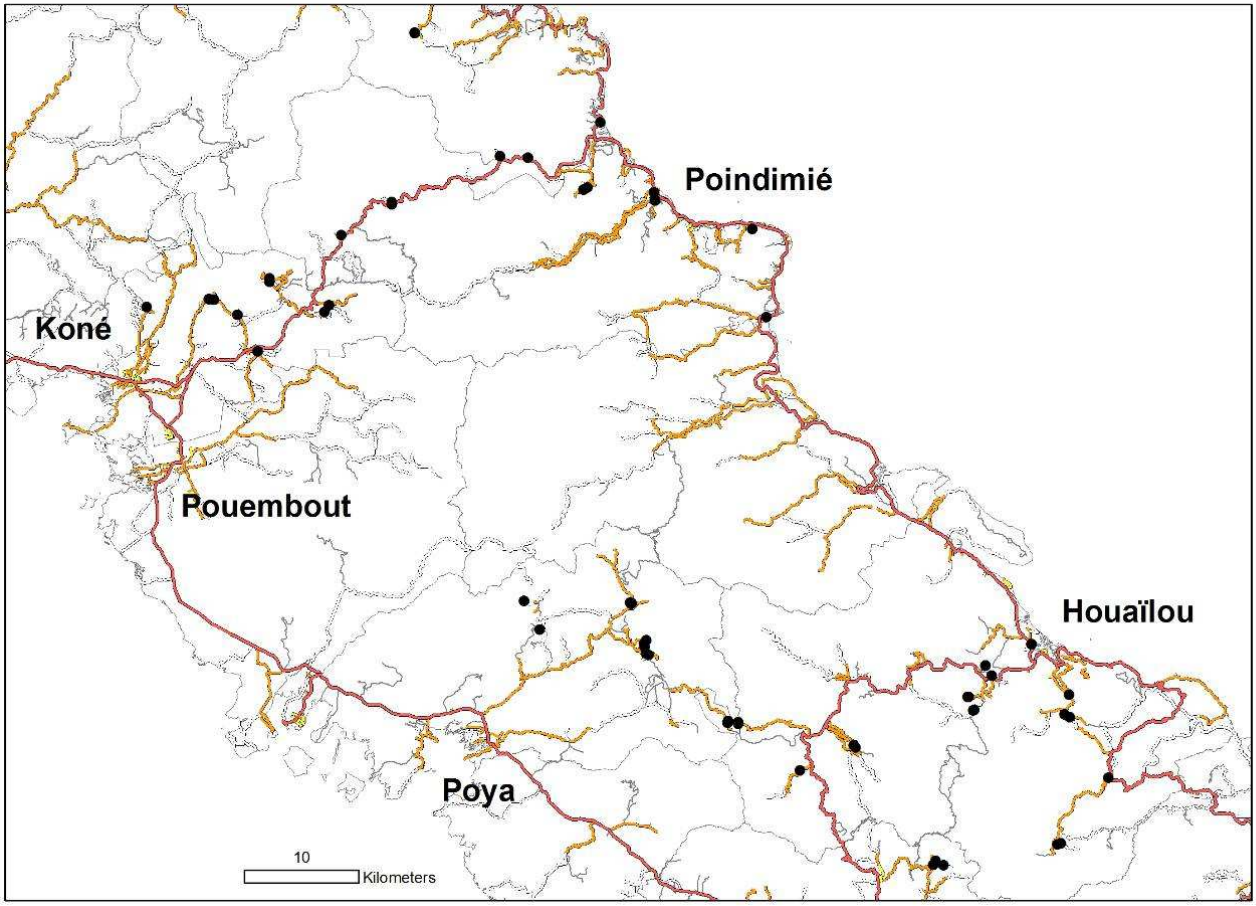


Figure 24 - Carte de positionnement des plaquettes de dépôt

Méthode d'analyse

Les analyses des plaquettes sont réalisées par le laboratoire ITGA à Saint-Etienne. L'analyse et le comptage des fibres sur les échantillons recueillis se font par microscopie optique en première approche. Des caractérisations plus fines sont faites en microscopie électronique couplée à l'analyse chimique.

Résultats et discussion

Au moment du ramassage, 6 capteurs avaient disparu, soient 96 plaquettes récupérées. Le temps de pose a varié de 3 à 11 mois. La première série de capteurs est restée en place 7 mois ; constatant la faible quantité de poussières accumulées sur les plaquettes, nous avons décidé de laisser la seconde série en place plus longtemps. Un passage de contrôle nous a permis de vérifier la présence de poussières au bout de 3 mois. Mais lors du ramassage 11 mois après, la majorité des plaquettes présentait une surface lisse, sans poussière ni colle apparente. Nous avons pensé que les intempéries (soleil, pluie) avaient eu raison du matériau. Nous avons alors décidé de laisser les séries suivantes en place entre 3 et 6 mois maximum.

Faute de financement suffisant, seules 15 plaquettes ont pu être analysées par un laboratoire agréé en minéralogie. En conséquence, l'analyse qui suit n'est que qualitative et ne porte pas sur les relations spatiales entre les minéraux mis en évidence et le milieu naturel.

Toutes les plaquettes analysées montrent la présence de fibres, aussi bien celles qui présentent très peu de matériau (quasiment invisible à l'œil nu), que celles recouvertes de fortes quantités de poussières (*cf résultats détaillés sur le tableau en annexe 5)*. En particulier, il a été comptabilisé 67,6 et 56,8 fibres/mm² sur deux plaquettes dont aucune poussière n'était détectable à l'oeil nu, soit des taux presque aussi importants que sur l'une des plaquettes recouvertes de poussière avec des taux élevés de fibres de chrysotile (85,7 fibres/mm²). L'épaisseur apparente de poussière ne permet donc pas de préjuger de la présence de fibres. Une plaquette d'aspect « lisse » peut révéler la présence de fibres à l'analyse.

Parmi les variétés d'amiante diagnostiquées par le laboratoire ne sont nommées que des fibres de chrysotile (8/15 plaquettes), de trémolite (5/15) et d'actinolite (2/15). Le laboratoire signale cependant la fréquente (5/15), et parfois importante, présence de fibres de NaSiAl, soit seules (1/5), soit associées aux fibres de chrysotile (2/5), d'actinolite (1/5) ou à un mélange chrysotile et amphiboles (2/5). Aucune explication n'a pu être donnée à présent sur la nature ou l'origine de ces fibres. L'antigorite, ne figurant pas sur la liste officielle des amiantes industriels, n'a pas été diagnostiquée.

A notre demande, le laboratoire a fait la différence entre les fibres d'une longueur supérieure à 5 µm et les fibres plus petites, qui n'étaient pas comptabilisées

officiellement. Les résultats montrent la présence des deux types de fibres sur toutes les plaquettes contenant plus d'une fibre comptabilisée. Dans nos échantillons, contrairement aux idées reçues, le chrysotile présente un nombre plus important de fibres courtes que de fibres longues (selon un rapport <5 µm/>5 µm = 5,7), alors que la trémolite présente plus souvent des fibres longues (<5 µm/>5 µm = 0,7).

Conclusions

La méthode « passive » de recueil des fibres dans l'air, bien que moins onéreuse que la méthode dite « active », qui consiste à aspirer l'air à travers un filtre de façon motorisée, était encore trop coûteuse pour notre budget, en raison des analyses minéralogiques. Cette méthode, déjà utilisée pour analyser les poussières de l'air sur sites miniers, était en test pour l'amiante. Il n'y avait pas de méthodologie prévue spécifiquement pour le recueil des fibres d'amiante. Nos résultats montrent que 3 mois suffisent à recueillir une quantité suffisante de poussières à analyser. Au-delà, les intempéries font disparaitre une partie du matériau. Les fibres forment probablement une couche très fine, invisible à l'œil nu, qui remplit la surface encollée et ne permet plus la fixation de poussière supplémentaire.

Cette méthode ne peut donc pas être réellement quantitative. Elle suffit largement dans le cas de notre démarche, qui était qualitative, et qui cherchait à vérifier la présence dans l'air des fibres que nous avions diagnostiquées en roche. **L'analyse des plaquettes a confirmé la présence de fibres de serpentines et d'amphiboles dans l'environnement aérien des lieux à risque testés.**

5.4.4. Discussion

L'objectif de nos enquêtes sur le secteur Koné-Touho-Poindimié était de rechercher les matériaux et comportements associés à la présence de la maladie. La reconnaissance exhaustive des cases recouvertes d'enduit encore existantes, et des formations géologiques contenant des minéraux fibreux en dehors des zones identifiées à risque n'était pas au programme. La confrontation des résultats épidémiologiques et géologiques/minéralogiques est visualisée sur des cartes.

Bilan épidémiologique

Les cas confirmés de mésothéliomes pleuraux enregistrés dans le secteur de Koné-Touho-Poindimié étaient les indicateurs des zones à risque d'exposition à l'amiante, autour desquels les recherches ont été menées sur le terrain.

Comme sur le secteur de Houaïlou-Bourail, les médecins et auxiliaires de santé interrogés nous ont déclaré qu'en raison des signes douloureux et de la durée de la maladie (environ un an), il était peu probable qu'un cas de mésothéliome n'ait pas accédé à la médecine occidentale pour se faire soigner. Il est donc raisonnable de penser que la grande majorité des cas, même en secteur tribal, a été diagnostiquée.

Les cas de mésothéliome se répartissent dans les tribus situées le long de la route transversale Koné-Tiwaka et de la route territoriale de la côte Est, allant d'Ometteux jusqu'à Koé. Le sexe ratio proche de 1 et la répartition par classes d'âge à partir de 30 ans confirment une exposition environnementale.

Plus du tiers des cas n'a pas vécu dans une habitation couverte de *Pö* ; parmi les cas restant, une partie de ce *Pö* était fabriqué à partir d'une soupe de corail, non amiantifère. On ne peut pas toujours écarter le risque d'exposition professionnelle, le plus souvent ponctuelle, de certains cas masculins : trois hommes ayant travaillé au chargement de bateaux, un sur la voierie et deux à la mine. Un seul (mineur à Poro) présente le temps de latence suffisant après le début de son activité.

Afin de pouvoir être analysée sur le plan environnemental, la répartition géographique de ces données doit être comparée à celle des données géologiques et minéralogiques.

Bilan géologique et minéralogique

Sur le terrain, dans cette région transversale Est-Ouest, la présence de roches ou terres porteuses de minéraux asbestiformes est clairement liée à des occurrences de serpentinites (*photographie* 49) encaissées dans les formations métamorphiques, que ce soit l'unité de la Boghen ou l'unité du Nord calédonien. Ces occurrences peuvent affleurer sous forme de filons schistosés et plissés, décimétriques à kilométriques, en

des corps plus ou moins volumineux, présentant la même structuration que les schistes encaissants. Les minéraux asbestiformes sont alors exprimés :

- dans la masse des serpentinites sous forme de filonnets à remplissages fibreux ou de cristallisations syncinématiques dans les plans de fracture,
- à l'interface serpentinite - encaissant schisteux,
- à l'interface sol - roche où l'altération supergène désagrège certains minéraux fibreux sous forme de terre blanche qui semble souvent le produit d'altération des roches friables.

Ces sources de fibres d'amiante environnementale ont déjà été décrites et analysées dans l'étape précédente sur la région de Bourail-Houaïlou [*Baumann 2007b*].

Photographie 49 – Carrière au bord de la route Kone-Tiwaka : serpentinite

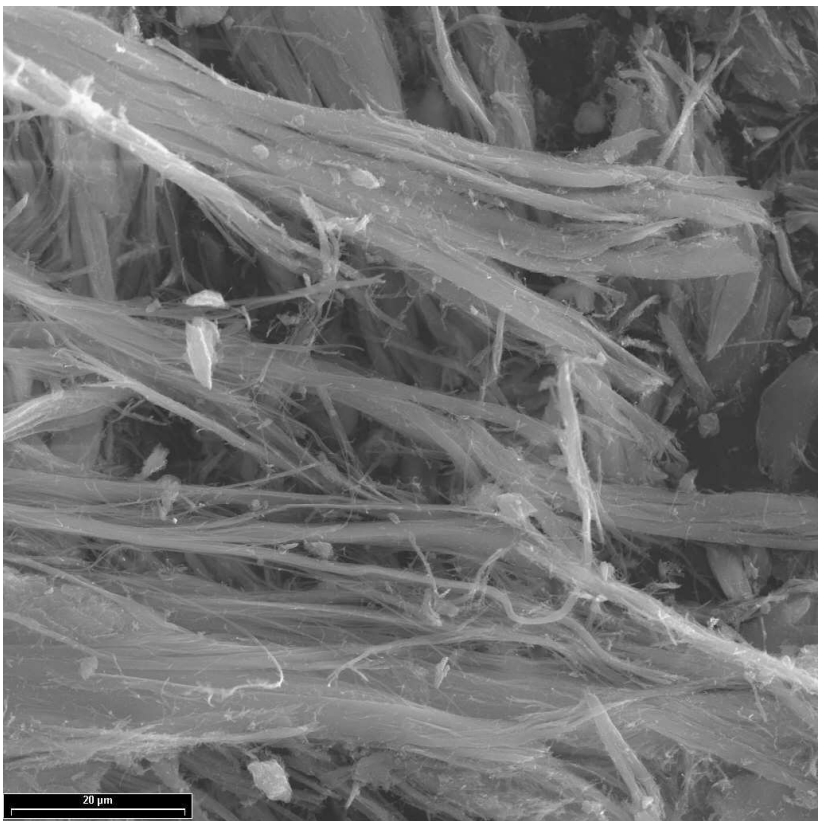
En outre, il existe sur la partie Est de la région Koné-Touho-Poindimié des roches et des terres blanches amiantifères qui ne sont pas liées à la présence proche de serpentinite. Ces occurrences correspondent à des passées centimétriques à métriques de talc-schiste au sein de schistes jaunes de l'unité métamorphique du Nord calédonien. Ce faciès est généralement caractérisé par une paragenèse à talc

dominant. Il apparaît parfois au microscope optique des petites fibres (5 à 20 µm) de trémolite. Dans quelques cas ces dernières deviennent dominantes. Ces faciès avaient déjà été décrit par C. Picard (*2005*) dans la région de Hienghène plus au Nord. Autant les occurrences de serpentinites sont facilement détectables par une prospection géologique détaillée, autant ces petites passées de talc-schistes sont indétectables à l'affleurement, à moins d'être recoupées par un aménagement.

D'un point de vue minéralogique, on retrouve les deux grandes familles de minéraux asbestiformes : serpentines (chrysotile et surtout antigorite fibreuse) et amphiboles (trémolite-actinolite).

Dans la masse des serpentinites, on observe des croissances de fibres de chrysotile, perpendiculaires aux épontes, dans des filonnets couleur bronze d'épaisseurs infra-millimétriques à centimétriques (planche *photographique 2*). Ces longues fibres souples se délitent et s'enroulent en pelote quand elles sont grattées avec une pointe métallique. Au microscope (MOLP), les frottis révèlent des paquets flexueux de très fines fibres (<1 µm) qui sont parfois très longues (>100 µm) mais qui se segmentent facilement en petits tronçons (*photographie 50*)

Planche photographique 2 - Occurrences typiques de filonnets de chrysotile dans la semelle serpentineuse de la nappe des péridotites (Vavouto, Koné)

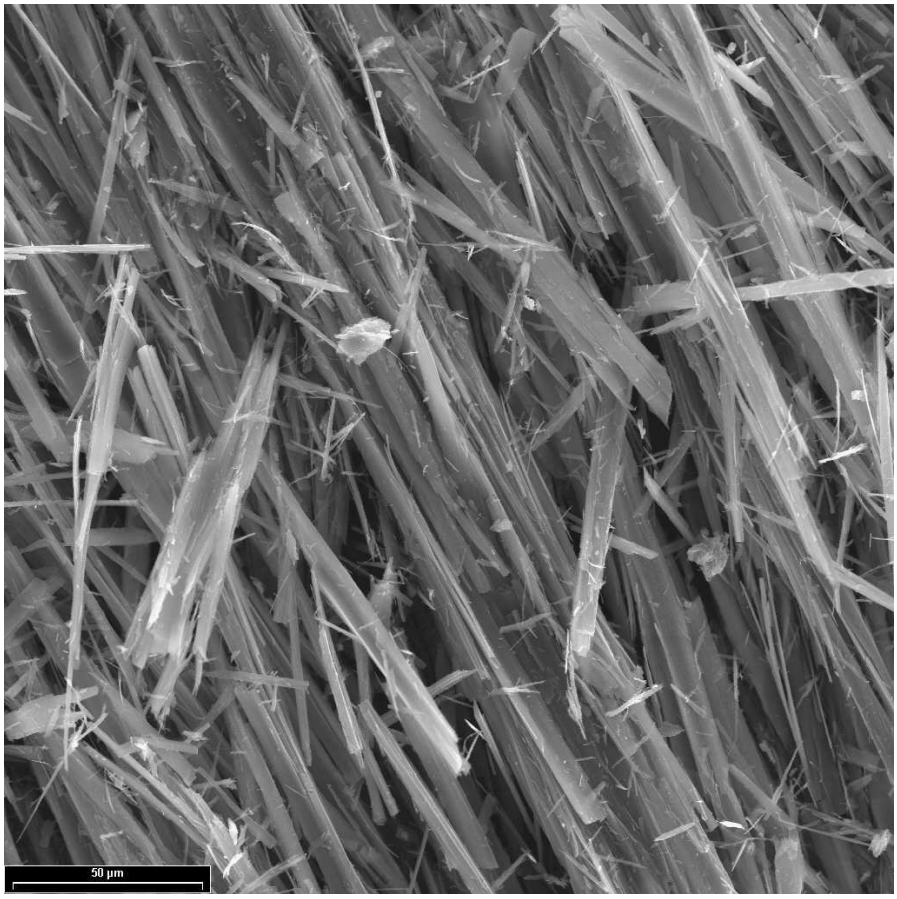


Photographie 50 - Image MEB en électrons secondaires : chrysotile

Les serpentinites sont inégalement fracturées et parfois tapissées de cristallisations syncinématiques. Ces cristallisations, généralement en plaques de serpentine, de type antigorite, ont parfois un aspect fibreux à l'œil nu. Les frottis révèlent plusieurs types de minéraux :

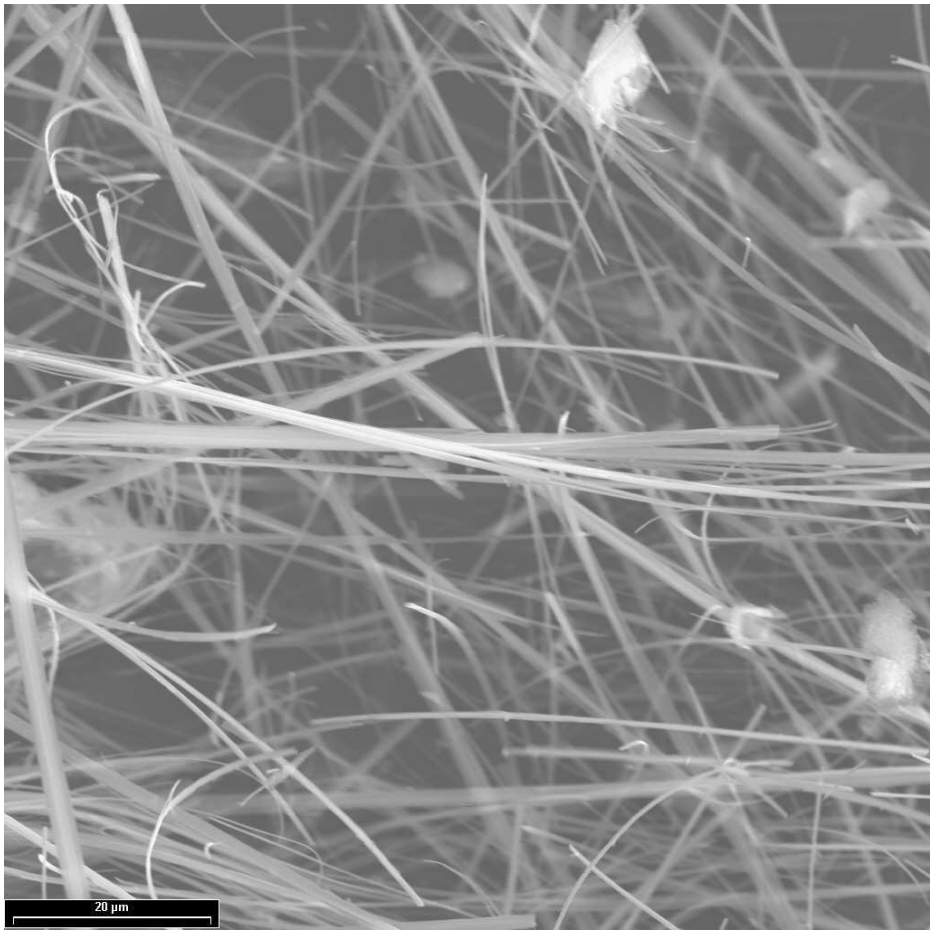
- des fragments de lamelles vertes translucides, correspondant à de l'antigorite saine,
- des esquilles allongées, de morphologie fibreuse mais avec des rapports L x l plus faibles (1 pour 3 à 1 pour 5), et des extrémités en biseau, de toutes tailles (<10 µm à >100 µm), résultant d'une fragmentation de lattes d'antigorite. L'analyse minéralogique confirme cette observation (*photographies 51 et 52*).
- des petites aiguilles très droites, translucides, très semblables à celles d'amphiboles de la série trémolite-actinote. Les analyses DRX et MEBA/META ont confirmé la présence de trémolite.

Photographie 51 - Serpentine en grandes lamelles gris vert (antigorite probable)



Photographie 52 - Image MEB: serpentine fibreuse dominante (antigorite probable)

Photographie 53 - Vue globale d'un échantillon de terre blanche (trémolite)



Photographie 54 - Image MEB: trémolite fibreuse

A l'interface serpentinite - encaissant métamorphique, on observe sur les frottis des échantillons de très grandes proportions (souvent 100 %) de petites aiguilles (5 à 20 µm), très fines, très droites, translucides. Elles ressemblent en tous points aux fibres d'amphiboles de la série trémolite-actinote, observées dans la même disposition géologique dans l'unité de la Boghen de la région de Houaïlou-Bourail. Les résultats des analyses minéralogiques ont confirmé ces observations (*photographies 53 et 54*).

A la surface des occurrences de serpentinite, dans la couche d'altération sous les sols, les fractures à antigorite alimentent des amas diffus de terre blanche. Dans les frottis d'échantillons observés au MOLP on retrouve dans ces terres des fibres esquilleuses d'antigorite et/ou des petites aiguilles de type amphibole (trémolite-actinolite).

Confrontation des données épidémiologique et géologiques

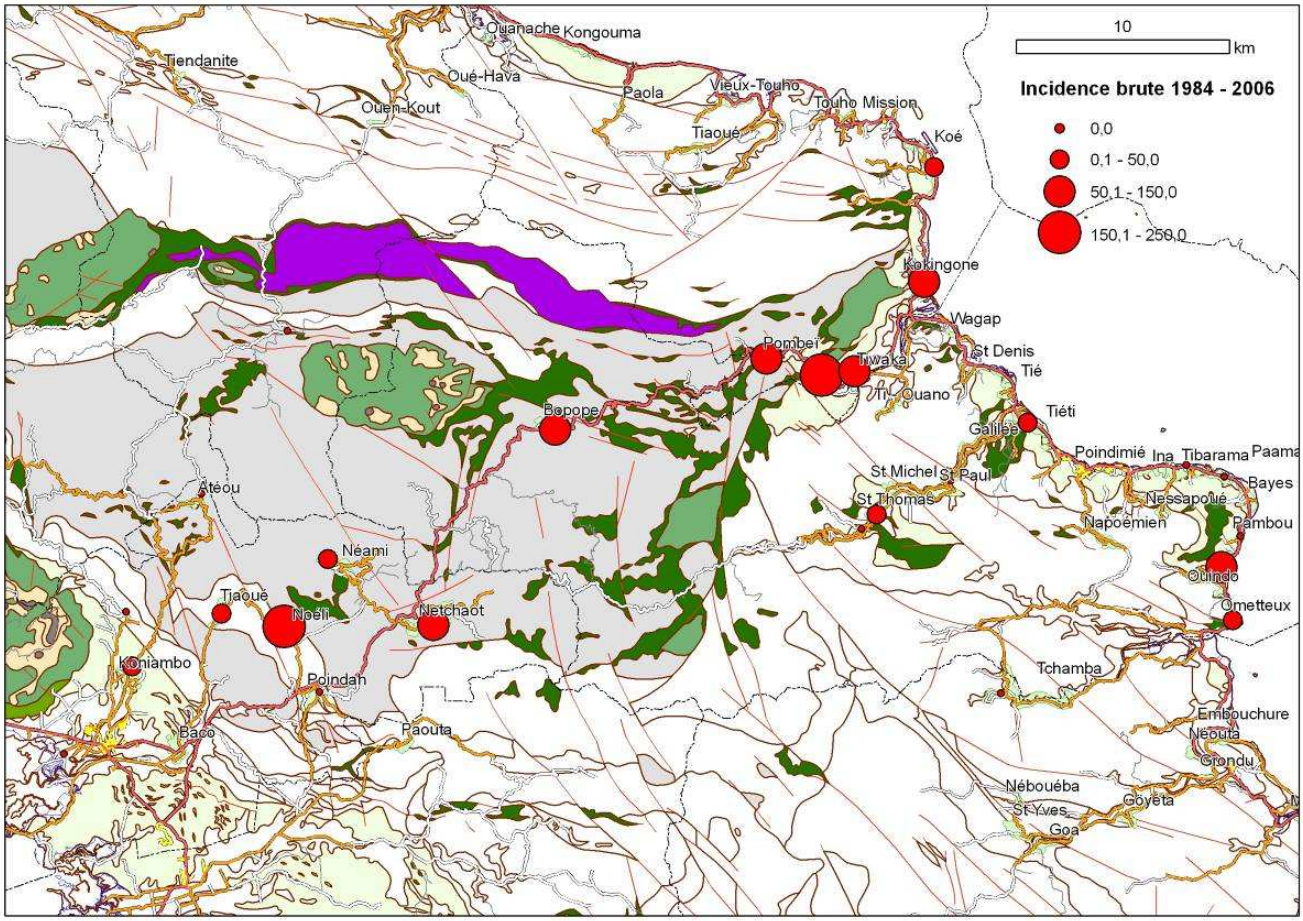


Figure 25 - Carte géologique simplifiée de la région de Koné-Touho-Poindimié, incidences brutes par tribu du mésothéliome malin pleural (1984-2006, pour 100 000 personnes année)

Le petit nombre de cas étudiés, même s'il représente des incidences remarquablement élevées, ne permet pas d'analyser le lien entre les facteurs de risque évoqués et la maladie. Nous avons choisi à ce stade de visualiser l'ensemble des données (incidences, facteurs de risques étudiés) sur des cartes. La *figure 25* présente l'incidence brute du mésothéliome selon les tribus dans la région de Koné-Touho-Poindimié en superposition à la carte géologique simplifiée. La *figure 26* présente l'incidence en superposition aux résultats d'analyse au MOLP des échantillons géologiques, et la *figure 27* présente la même répartition de l'incidence avec les résultats des analyses minéralogiques.

La confrontation des données épidémiologiques et géologiques fait apparaître la coïncidence de fortes incidences du mésothéliome avec les bordures de l'unité métamorphique de la Boghen, où les sources potentielles d'amiante sont nombreuses et toujours liées à la proximité de serpentinite. Des incidences importantes apparaissent également dans certaines tribus de la côte Est, situées à proximité de filons de serpentinite et de quelques sources ponctuelles disséminées dans les schistes métamorphiques (*figure 25).*

Au plan géologique, les terrains les plus représentés le long de la transversale sont ceux de l'unité de la Boghen et ses nombreux filons de serpentinite fréquemment porteurs de fibres. Les massifs de péridotites sont peu représentés et n'ont pas fait l'objet d'exploitations. Sur la côte Est, les terrains représentés sont des mélanges ophiolitiques de l'unité métamorphique du Nord calédonien.

Le *Pö* utilisé par les populations des tribus de la chaine centrale était généralement fabriqué à partir d'une terre blanche trémolitique. Il était beaucoup plus rarement fibreux dans les tribus de bord de mer. La carte de la *figure 26*, qui présente la superposition des données d'incidence avec le résultat des analyses de *Pö,* montre que ces données ne coïncident pas. L'utilisation des terres blanches trémolitiques comme enduit sur les cases n'apparaît donc plus comme le seul facteur possible d'exposition.

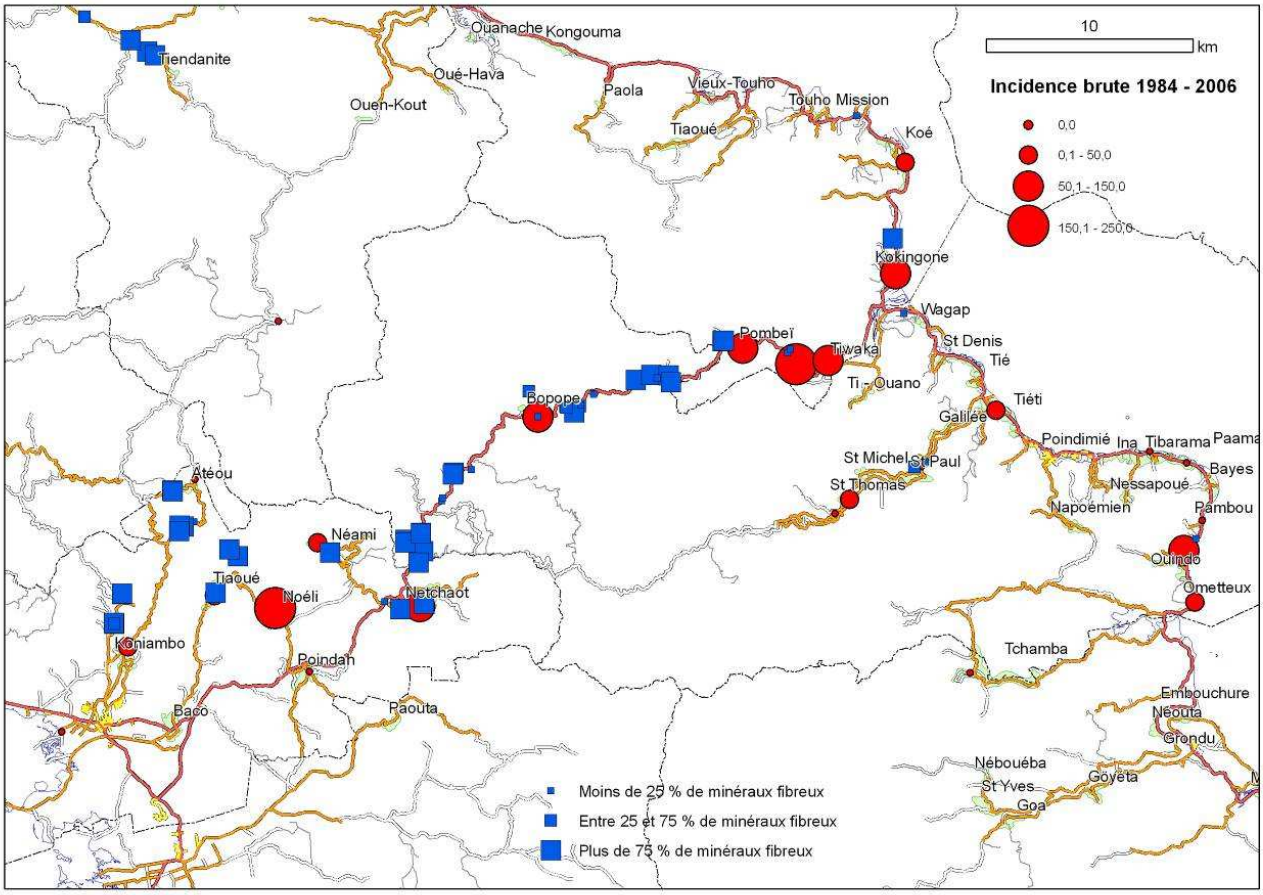


Figure 26 - Incidences brutes par tribu du mésothéliome malin pleural (1984-2006, pour 100 000 personnes année) de la région de Koné-Touho-Poindimié, et résultats d'analyse au MOLP des échantillons de Pö.

La majorité des cas sont localisés près de routes qui sont, ou ont été encaillassées avec de la serpentinite, comme l'atteste la présence des nombreuses carrières dans cette région, et dont l'analyse minéralogique révèle l'omniprésence d'amiante environnemental de type serpentine fibreuse parfois accompagnée d'amphibole. La présence de fibres dans l'air inhalé par les victimes est probablement plus à mettre sur le compte d'une dispersion liée à l'activité humaine que sur la simple proximité de sources d'amiante dans l'environnement géologique.

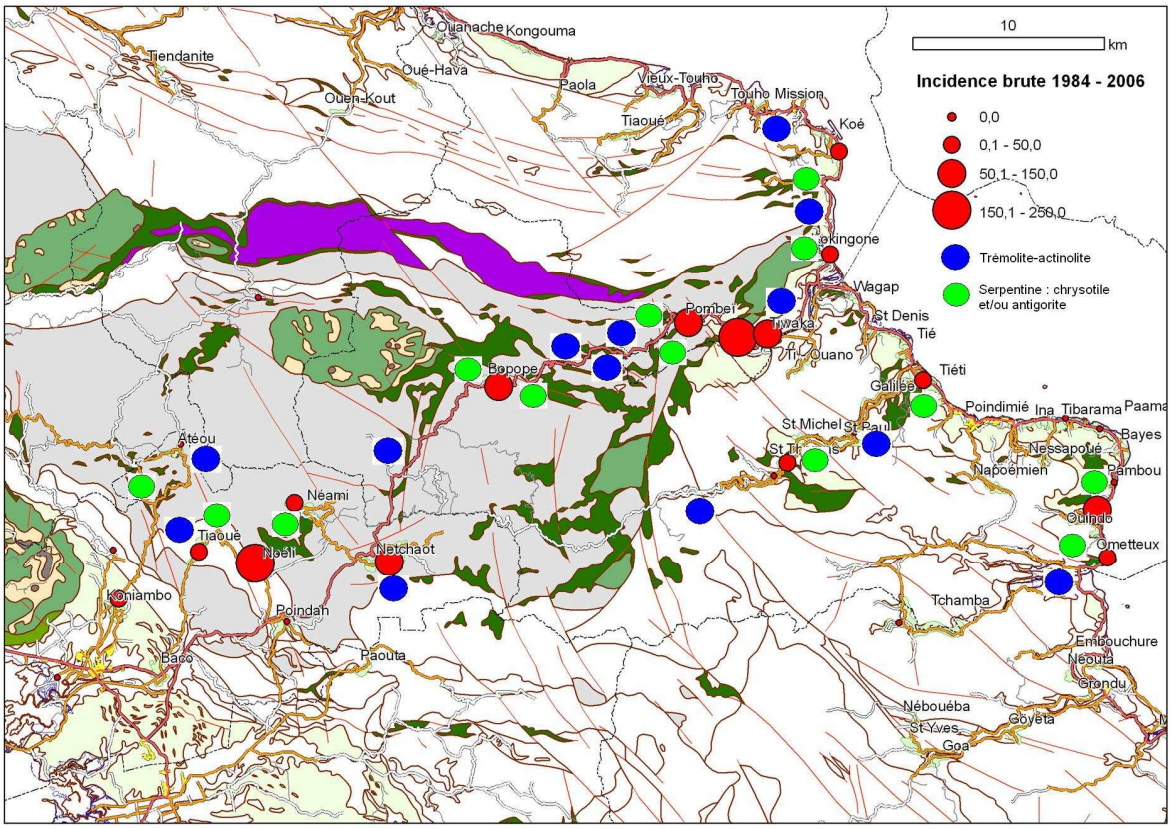


Figure 27 - Incidences brutes par tribu du mésothéliome malin pleural (1984-2006, pour 100 000 personnes année) de la région de Koné-Touho-Poindimié, et résultats d'analyse minéralogique des échantillons géologiques

5.4.5. Conclusions et perspectives

L'approche éco-épidémiologique de nos enquêtes consistait à rechercher dans l'environnement des cas de mésothéliome les sources naturelles de fibres d'amiante et les facteurs de dispersion de ces fibres. Une approche géologique et minéralogique exhaustive n'entrait pas dans le cadre du présent projet pour des raisons de budget et de temps. Le programme de cartographie détaillée et d'inventaire communal des sites aménagés potentiellement amiantifères, financé par le Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie, a démarré dans la commune de Houaïlou et s'est poursuivie dans les autres communes à risque.

Cette approche nous a permis :

- d'identifier les roches porteuses de fibres amiantifères et leur contexte géologique,
- de mettre à jour la présence d'un facteur de risque d'exposition majeur : l'utilisation des carrières de serpentinite pour encaillasser les pistes,

- de constater la non concordance entre l'occurrence des cas et l'exposition au *Pö*, même trémolitique.

Dans ce projet, la dangerosité des matériaux a été vérifiée :

- par la présence de fibres dans les frottis de tous nos échantillons observés en microscopie optique à lumière polarisée ;
- par la présence de minéraux asbestiformes de la famille des amphiboles ou des serpentines, avec l'analyse minéralogique.

Les possibilités de la microscopie électronique n'ont pas pu être totalement utilisées dans le cadre de cette étude, notamment l'étude de la taille des fibres couplée à l'analyse chimique, qui pourrait peut-être être un facteur d'explication des différences de risque constatées.

L'amiante environnemental en Nouvelle-calédonie

Le couplage données épidémiologiques/données géologiques a montré que la principale source environnementale d'amiante était représentée par les filons de serpentinites, associés aussi bien à l'unité de la Boghen qu'aux schistes métamorphiques du Nord ou aux massifs de péridotite.

L'analyse des cartes géologiques à petite échelle (1 / 200 000) montre qu'il n'y a guère en Nouvelle-Calédonie de zones qui ne soient situées à moins de cinq kilomètres d'un affleurement potentiellement amiantifère, ou du moins d'un affleurement reconnu et cartographié comme tel (*Baumann et al, 2007*). La confrontation critique du terrain avec les cartes géologiques plus précises (1 / 50 000) met en évidence que ces dernières sont déficientes à plusieurs égards : la précision, la nature des roches, l'appartenance à telle ou telle unité manquent. La plupart de ces documents n'a pas été mis à jour depuis plus de vingt ans. Un inventaire cartographique géologique apparait nécessaire dans toutes les régions où des cas de mésothéliome d'origine environnementale ont été enregistrés.

Facteurs de risque d'exposition

Les cas étudiés présentent, pour la plupart, différents facteurs de risque possibles. Tous les cas nés avant 1960 dans une tribu ont vécu dans une case en torchis durant leur enfance, mais pour seulement deux tiers d'entre eux celle-ci était recouverte de *Pö*. Nos analyses d'échantillons de *Pö* montrent que celui-ci n'était pas toujours

fibreux. Par ailleurs il est troublant de noter que dans certaines tribus où la pratique du *Pö* était largement répandue, comme la tribu d'Ateu où tous nos échantillons de terre blanche sont constitués de trémolite, et où nos analyses montrent que ce *Pö* était saturé en fibres, aucun cas de mésothéliome n'a été signalé. Il conviendrait d'analyser plus en détail ces fibres ; leurs dimensions, leurs formes ou leur contexte pourraient peut-être expliquer la plus ou moins grande nocivité du matériau.

Nous avons noté plusieurs professions à risque possible, mais seul un mineur présente le temps de latence suffisant après le début de son activité pour être pris en considération.

Nos enquêtes ont montré que les cas avaient une relation de proximité avec les routes les plus empruntées (transversale ou territoriale de bord de mer), qui n'ont été goudronnées qu'à la fin des années 90 pour la plupart dans ce secteur. Ce résultat renforce l'une de nos hypothèses, qui concluait la 1ère étape sur la région de Houaïlou-Bourail. De nombreuses carrières de serpentinite ont été relevées aussi bien le long de la transversale que le long de la route de bord de mer, des tribus de Kokengone jusqu'à Ometteux. Ce matériau friable est facilement et préférentiellement extrait comme revêtement pour les pistes dans les zones rurales. Ces pistes représentent encore actuellement une source d'exposition non négligeable. Le risque peut alors exister à plusieurs niveaux :

- habitants des tribus situées le long ou sous le vent de ces pistes,
- enfants et jeunes jouant dans les carrières,
- ouvriers travaillant à la voierie,
- passagers de véhicules empruntant le réseau de pistes.

D'autres études et analyses complémentaires sont nécessaires pour confirmer nos résultats. Les recommandations sont lourdes de conséquence car elles touchent à l'aménagement du territoire :

- interdire les travaux en zone de serpentinite et l'exploitation des serpentinites comme matériaux,
- trouver des ressources en matériaux de substitution,
- remplacer les revêtements de piste constitués de serpentinite par des matériaux neutres.

Dans un premier temps il a été recommandé :

- de procéder à un inventaire hiérarchisé des sites amiantifères aménagés,
- de reconnaître les tronçons de route revêtus avec des matériaux serpentineux.

A ce stade de notre étude, il n'était pas possible de hiérarchiser les différents facteurs de risque étudiés.

Facteurs de dispersion

Les fibres d'amiante elles ne sont libérées que lors d'une dégradation la roche, qui peut être d'ordre mécanique et/ou chimique. Les dégradations mécaniques résultent de l'action anthropique et se résument à l'activité extractive, qu'il s'agisse de l'exploitation de ressources naturelles (nickel, matériaux, pierre savon) ou de l'aménagement (carrière, voierie, bâtiments). Les dégradations chimiques correspondent à l'altération des roches dans le temps, leurs actions sur les fibres étant variables.

Afin d'évaluer le risque potentiel représenté par des roches amiantifères, il faudrait prendre en compte :

- le potentiel de dispersion des fibres : nature physique du sol, sa dénudation et son érosion naturelle ou anthropique, facteurs météorologiques (sécheresse/pluies, vents dominants) et aérologie des fibres (dimension, forme) ;
- le potentiel de contact des fibres avec la population: encaissement, densité du couvert végétal filtrant, nocivité des fibres transportées, etc.

Conclusions et perspectives

L'étude régionale de la région de Koné-Touho-Poindimié confirme la complexité du problème posé par l'exposition environnementale à l'amiante en Nouvelle-Calédonie, dévoilée par la première étape sur la région de Houaïlou-Bourail. Le *Pö* n'est pas toujours amiantifère, il ne concerne pas l'ensemble des cas, et la maladie est absente dans des secteurs où le *Pö* trémolitique a été largement utilisé ; il n'est donc probablement pas le seul facteur de risque du mésothéliome. Il faut noter que quelques habitations ont échappé à cette campagne destruction/reconstruction des cases à *Pö* trémolitique.

Nos travaux ont mis à jour l'existence d'un facteur de risque important : l'utilisation de serpentinite potentiellement amiantifère comme matériau pour recouvrir les pistes. Ce problème ne concerne plus la route territoriale de bord de mer ni la transversale de Koné-Tiwaka qui sont goudronnées depuis des années. Cependant il persiste sur les routes secondaires qui représentent un kilométrage considérable. Suite à nos résultats, la mise au point d'un capteur basé sur les propriétés magnétiques des serpentinites a été financée par le Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie afin de recenser les tronçons de piste concernés.

Les analyses minéralogiques des échantillons, dans les différents secteurs où des cas de mésothéliome avaient été notifiés, ont montré la présence d'un risque associé à des roches de la famille des serpentines. Comme sur le secteur Houaïlou-Bourail, le risque parait peu important dans des secteurs plus riches en amphiboles. L'explication viendrait-elle d'un facteur lié à la dimension ou à la forme des fibres que l'on rencontre dans l'environnement calédonien ?

Afin d'évaluer le risque actuel, un test d'utilisation de capteurs passifs (plaquettes de dépôt) a été réalisé dans les régions de Houaïlou-Bourail et de Koné-Touho-Poindimié pour mettre en évidence la présence des fibres dans l'air. Bien que la méthodologie soit à améliorer, et n'ait pu être utilisée qu'à titre qualitatif, les résultats ont montré l'omniprésence de fibres dans tous les secteurs à risque testés.

En dernière étape, une étude éco-épidémiologique a été mise en place sur un vaste secteur de la Nouvelle-Calédonie, prenant en compte à la fois des zones où le mésothéliome a été enregistré et des zones indemnes de cas, afin d'évaluer la part des différents facteurs de risque évoqués: *Pö* trémolitique, présence de fibres de serpentine ou d'amphibole dans les affleurements, encaillassement des routes avec de la serpentinite, activité minière, etc. Cette étude ne pouvait se réaliser qu'après la poursuite de l'enquête épidémiologique sur l'ensemble des cas recensés de mésothéliome en Nouvelle-Calédonie, afin d'évaluer les incidences de la maladie dans toutes les tribus du territoire.

5.5. Extension de l’enquête épidémiologique à tous les cas de mésothéliome malin pleural recensés en NC de 1984 à 2008, et compléments d’enquête géologique.

5.5.2. Présentation

Cette dernière étape des enquêtes autour des cas de mésothéliome a été réalisée grâce à un financement du Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie. Les résultats ont été publiés dans le rapport *BRGM* RP- 57103 – FR, 2009 [*Maurizot 2009*].

Elle a pour objet l’extension de l’enquête épidémiologique et géologique autour de tous les cas de mésothéliome de Nouvelle-Calédonie aux secteurs non précédemment étudiés. L’objectif de cette étude est purement descriptif et qualitatif : il concerne la recherche et la caractérisation des sources possibles d’exposition à l’amiante environnemental dans les lieux de résidence des malades. Les résultats doivent permettre la mise en relation l’incidence du mésothéliome avec les caractéristiques environnementales (*Pö*, géologie, pistes, carrières..).

Cette démarche débouche sur une hiérarchisation des zones à risque à partir de laquelle on peut entreprendre l'amélioration de la cartographie géologique, les inventaires des sites aménagés amiantifères et les études de remédiation. Les zones étudiées sont toutes celles qui n'ont pas été déjà vues dans nos enquêtes précédentes.

Le financement de ce programme comprenait également l'évaluation d'une méthode de télédétection dite "hyperspectrale" pour cartographier les formations géologiques potentiellement amiantifères. Elle a été réalisée par une équipe comprenant le BRGM, l'IRD, la DTSI et la DIMENC.

5.5.2. Méthode

Cas inclus

En France, dans le Plan National de Surveillance du Mésothéliome (PNSM), le diagnostic est certifié par un groupe d'experts anatomopathologistes. En cas d'impossibilité de certification anatomopathologique, une expertise est effectuée sur les signes cliniques et l'imagerie médicale. Seuls les patients atteints d'un mésothéliome primitif de la plèvre avec diagnostic certifié sont inclus dans le PNSM. En effet, un cancer de la plèvre peut être soit primitif, généralement un mésothéliome malin, soit secondaire à un autre cancer. Dans ce deuxième cas, il n'est plus révélateur d'une exposition à l'amiante.

De la même façon, les cas inclus dans notre étude sont tous les mésothéliomes malins pleuraux contaminés et diagnostiqués en Nouvelle-Calédonie, confirmés par l'histologie ou certifiés cliniquement. Tous les cas de mésothéliome validés au Registre du Cancer de Nouvelle-Calédonie ont été automatiquement inclus, ainsi que les cas « possibles », c'est-à-dire non confirmés par l'histologie, mais diagnostiqués comme tels d'après le contexte clinique.

La période d'étude concerne tous les cas enregistrés de 1984 à 2008. Les cas pour lesquels l'enquête révèle qu'ils étaient résidents en Nouvelle-Calédonie depuis moins de 20 ans avant le diagnostic du mésothéliome ont été exclus de l'étude, en raison de la latence de la maladie (30 ans en moyenne, 20 ans minimum).

Enquête

L'enquête épidémiologique et géologique de la présente étude pousuit les enquêtes précédentes ; elle inclut donc tous les cas de mésothéliome malin pleural, résidents en Nouvelle-Calédonie depuis au moins 20 ans avant le diagnostic, et extérieurs aux deux secteurs déjà étudiés.

Lors de l'enquête épidémiologique, les anciens de la tribu étudiée ont été interrogés sur l'histoire de la pratique du *Pö* : dates d'utilisation, pratiques propres à la tribu, sites de prélèvement du *Pö*, mode de préparation.

L'étude géologique et le prélèvement d'échantillons potentiellement amiantifères ont été réalisés dans les zones de résidence des cas de mésothéliome. Elle n'a pas été

menée dans les zones où les connaissances géologiques étaient suffisantes pour affirmer l'absence de roches potentiellement amiantifères (Dumbéa, Lifou, Nouméa, MontDore, Ponérihouen).

Calculs des taux d'incidence

Les taux d'incidence standardisée sur l'âge sont calculés pour chaque commune et pour chaque tribu. La population de référence est la population mondiale, également utilisée par l'International Agency for Resarch on Cancer (IARC). Les données concernant les populations par commune ou par tribu ont été fournies par l'Institut de la Statistique et des Etudes Economiques (ISEE). Les taux sont présentés avec leurs intervalles de confiance à 95%, sous l'hypothèse que la distribution des cas suit une loi de Poisson.

5.5.3. Résultats

Recensement des cas de mésothéliome

Au Registre du Cancer de Nouvelle-Calédonie, 142 cancers de la plèvre avaient été enregistrés de 1984 à 2008. Parmi ces cancers :

- 97 sont des mésothéliomes confirmés par l'anatomopathologie,
- 1 est un mésothéliome certifié d'après le dossier clinique,
- 11 sont des mésothéliomes possibles d'après l'histologie et la clinique,
- 33 sont des autres cancers d'après l'histologie (adénocarcinomes, sarcomes, carcinomes épidermoïdes et lymphomes).

Soit 109 cas (98 cas certains et 11 cas possibles) pour lesquels il fallait vérifier la résidence en Nouvelle-Calédonie au moins 20 ans avant le diagnostic du mésothéliome, et préciser le lieu d'habitation pendant la période d'exposition possible. Les enquêtes épidémiologiques précédentes avaient été réalisées sur 51 cas enregistrés de 1984 à 2004 dans les régions de Houailou-Bourail et Koné-Touho-Poindimié, 58 cas ont donc été investigués dans cette troisième étape.

Certains cas de mésothéliome, s'ils avaient été diagnostiqués uniquement sur des critères cliniques ou radiologiques, et non déclarés, auraient pu échapper au registre du cancer. Ces cas ont donc été recherchés dans le fichier du registre des décès, auprès des dispensaires, auprès du service de pneumologie au CHT et des pneumologues du secteur libéral.

Certificats de décès

Le certificat médical de décès est obligatoire en Nouvelle-Calédonie depuis la délibération n° 99CP du 13 mars 1991 du Congrès du Territoire. Il est rempli par le médecin ayant constaté le décès, qui en indique la cause principale et les causes associées, et adressé au Médecin Inspecteur de Santé. Le fichier anonyme des causes de décès est géré par la Direction des Affaires Sanitaires et Sociales de Nouvelle-Calédonie. Un croisement des données a été effectué entre les cas de mésothéliomes malins pleuraux enregistrés de 1990 à 2005 au registre du cancer (65 cas) et les diagnostics de mésothéliomes signalés de 1991 à 2005 au registre des décès (77 cas). Après vérification des dates de naissance et adresses :

- 48 cas coïncidaient,
- 17 cas du registre du cancer ne figuraient pas dans la base des certificats de décès,
- 29 cas de la base des certificats de décès ne figuraient pas parmi les mésothéliomes malins pleuraux dans le registre du cancer.

Les dossiers médicaux des 29 cas de mésothéliome figurant dans la base des décès et non enregistrés au registre du cancer ont été recherchés auprès de diférentes sources médicales (anatomopathologistes, CHT,…). Ces cas correspondaient soit à d'autres cancers, soit à d'autres pathologies respiratoires. Aucun nouveau cas de mésothéliome n'a finalement été récupéré par les certificats de décès.

Un tel taux de diagnostics erronés dans la base des décès peut paraitre surprenant. Cela s'explique par le fait que le décès peut être constaté par des médecins n'ayant pas connaissance du dossier médical; de plus, en milieu kanak, la famille n'est pas toujours au courant du diagnostic « occidental ». Cette situation n'est pas particulière à la Nouvelle-Calédonie. En France, la qualité de l'information portée sur les certificats de décès est également un sujet de critique [*Menegoz F et Michel E 2008*]. L'image du cancer est particulièrement négative auprès de la population et probablement aussi auprès du corps médical ; pour cette raison cette maladie est parfois sur-déclarée dans les certificats de décès. Une étude réalisée dans 12 villes à partir de 8.737 cas de cancers a montré que 20 % des décès codés comme cancer étaient en réalité liés à d'autres causes.

Dispensaires et pneumologues

Etant donné le contexte particulier de la Nouvelle-Calédonie, où une large partie de la population mélanésienne vit en milieu tribal avec une forte présence de la médecine traditionnelle, on pouvait imaginer que certains cas de mésothéliomes pouvaient avoir échappé au circuit médical occidental, et être ainsi inconnus au registre. Les médecins des dispensaires de notre secteur d'étude, ainsi que des auxiliaires de santé kanaks, ont été interrogés sur ce sujet. Leur réponse a été unanime : une personne qui présente les signes cliniques du mésothéliiome (essoufflement, douleur de poitrine, toux persistante qui s'aggravent progressivement avec déclenchement de pleurésie), est envoyée pour consultation au Centre Hospitalier Territorial de Nouméa, où le diagnostic histologique est réalisé dans la grande majorité des cas. Les pneumologues du CHT ainsi que ceux du secteur privé, à Nouméa et à Bourail, ont également été rencontrés. Leurs conclusions sont identiques à celles de leurs confrères des dispensaires.

Le mésothéliome est en effet une maladie qui provoque des insuffisances respiratoires sévères, souvent douloureuses, et dont l'évolution est suffisamment longue (médiane de 11 mois) pour inciter le patient à consulter. Même si les patients mélanésiens ont généralement recours à la médecine traditionnelle kanaque en premier lieu, des études récentes ont montré que les deux médecines sont le plus souvent suivies en parallèle, surtout lorsque la médecine traditionnelle ne permet pas d'améliorer les signes de la maladie [*Kuhm 2009*]. Les médecins et infirmières des dispensaires se déplacent régulièrement dans toutes les tribus et sont ainsi amenés à rencontrer les malades souffrant d'une telle pathologie. Il est donc très peu probable que des cas de mésothéliome aient pu échapper au registre du cancer. Si tel avait été le cas, il ne pourrait s'agir que de cas à évolution particulièrement rapide, qui se serait volontairement tenus à l'écart du circuit médical occidental. Aucun cas de la sorte n'a été identifié, et leur nombre est certainement très limité.

Au final, on peut conclure que la représentativité du registre du cancer est bonne ; 109 cas de mésothéliome malin pleural ont été pris en compte pour la période 1984-2008.

Répartition des cas par commune de résidence au moment du diagnostic

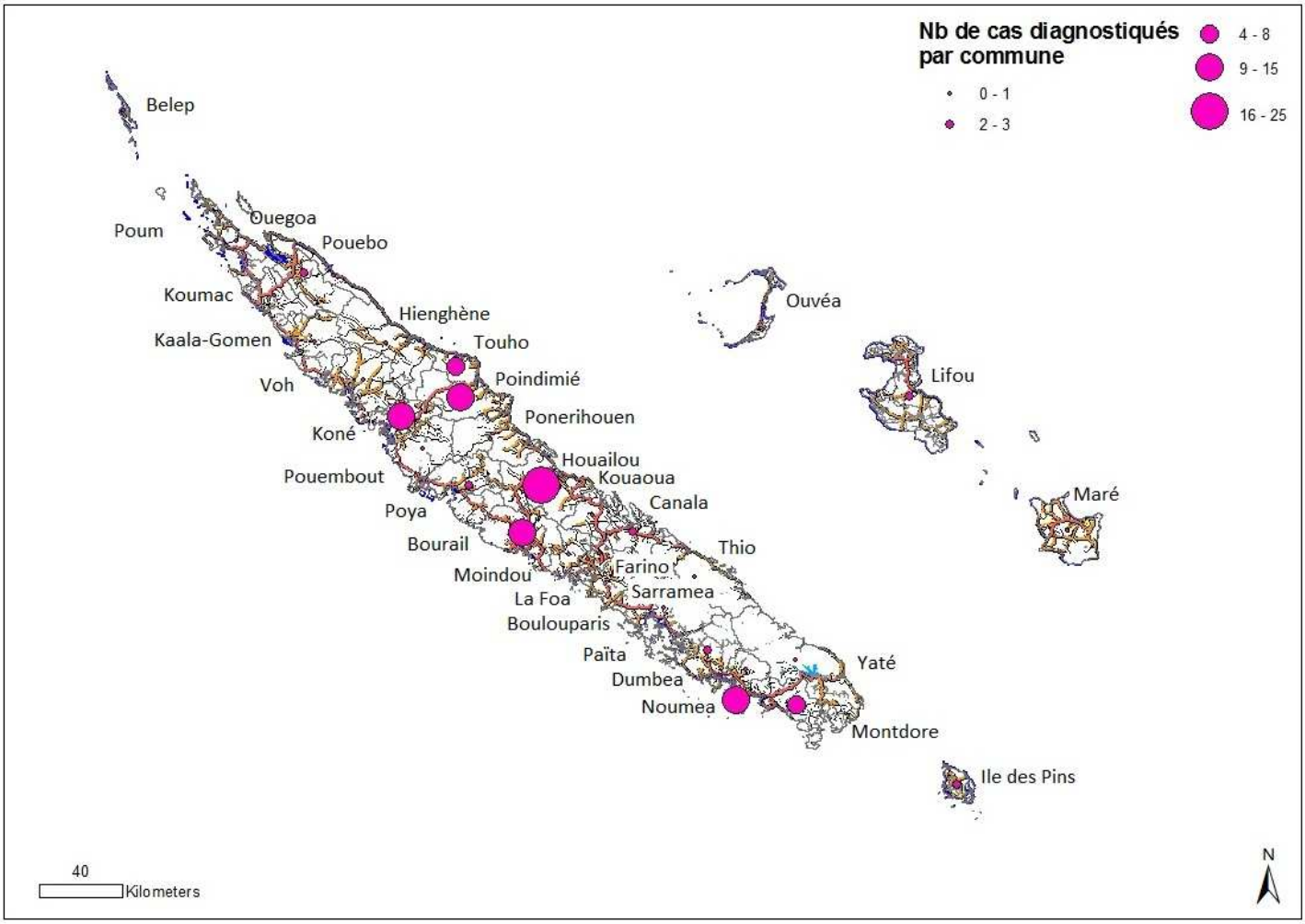


Figure 28 - Nombre de cas de mésothéliome malin pleural par commune de diagnostic, Nouvelle-Calédonie 1984-2008

D'après la résidence au moment du diagnostic, les 109 cas de mésothéliome malin pleural ont été enregistrés sur les communes de :

- Boulouparis 1
- Bourail (*cas 2005-2008*) 10 (*3*)
- Canala 2
- Dumbéa 2
- Hienghène 1
- Houaïlou (*cas 2005-2008*) 25 (*5*)
- Ile des Pins 2
- Koné (*cas 2007-2008*) 10 (*2*)
- Koumac 1

- La Foa 1
- Lifou 3
- Mare 1
- MontDore 8
- Nouméa 15
- Ouegoa 2
- Ouvéa 1
- Poindimié (*cas 2007-2008*) 12 (*1*)
- Ponerihouen 1
- Poum 1
- Poya 3
- Thio 1
- Touho (*cas 2007-2008*) 5 (*0*)
- Voh 1

La répartition des cas par commune de résidence est représentée sur la *figure 27*.

Données épidémiologiques : sexe, âge, ethnie, activité professionnelle à risque

Les 109 cas de mésothéliome enregistrés en Nouvelle-Calédonie de 1984 à 2008 sont 53 hommes de 36 à 82 ans, et 56 femmes de 31 à 87 ans, soit un sexe ratio H/F de 0,95. L'âge moyen est de 59,0 ans pour les femmes et 61,5 ans pour les hommes, environ 10 ans de moins que les moyennes nationales [*Gilt 2007*]. Le sexe ratio proche de 1 et l'âge peu élevé des cas indiquent une exposition environnementale (*tableau 1 et figure 28*).

Classe âge	H	F	total
30-39	2	4	6
40-49	7	8	15
50-59	14	18	32
60-69	14	11	25
70-79	14	13	27
80-89	2	2	4
total	**53**	**56**	**109**

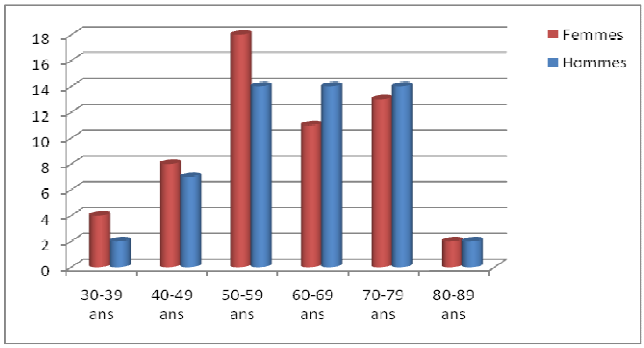


Tableau 1 et Figure 29 – Répartition des cas de mésothéliome malin pleuraux par sexe et par classes d'âge, NC 1984-2008

Trente-deux hommes, âgés de 41 à 78 ans, ont occupé un emploi à risque possible d'exposition à l'amiante, dont 4 hommes vivant à l'extérieur de la Nouvelle-Calédonie au moment probable de la contamination :

- 5 hommes ayant travaillé au chargement de bateau, âgés de 49 à 69 ans,
- 1 homme ayant travaillé à la construction de bateau, âgé de 73 ans,
- 1 mécanicien sur bateau âgé de 75 ans,
- 8 hommes ayant travaillé à la mine, âgés de 54 à 74 ans,
- 6 hommes ayant travaillé à l'usine de Poro ou de Doniambo, âgé de 41 à 76 ans,
- 4 rouleurs sur mine, âgés de 50 à 62 ans,
- 2 hommes employés aux travaux publics, âgés de 48 et 57 ans,
- 4 hommes exposés à l'extérieur de la NC, âgés de 65 à 76 ans.

La contamination « para-professionnelle » possible concerne 9 femmes de 39 à 76 ans. Elles auraient pu être en contact avec l'amiante en nettoyant les vêtements de leur père ou mari :

- 2 femmes ayant un mari travaillant au chargement de bateau, âgées de 58 à 76 ans,
- 1 femme dont le mari était conducteur d'engin sur mine, âgée de 62 ans,
- 4 femmes dont le père ou mari a travaillé à l'usine de Doniambo, âgées de 39 à 71 ans,
- 1 femme dont le mari a travaillé sur mine, âgée de 61 ans,
- 1 femme de 50 ans dont le père avait été exposé à l'amiante lorsque la famille vivait à l'extérieur de la NC.

Hormis les cas d'exposition professionnelle extérieure à la NC, la majorité des emplois recensés étaient occasionnels et n'ont été occupés que quelques années, voire quelques mois. Dans ce contexte, il est impossible d'affirmer que la contamination s'est réellement faite par voie professionnelle. La présomption d'exposition professionnelle est forte pour des cas âgés (> 60 ans) lorsqu'aucune autre voie de contamination possible n'a été retrouvée, ce qui est le cas pour des personnes ayant toujours vécu dans les Iles Loyautés ou dans la région du Grand Nouméa.

Les cinq cas originaires de l'extérieur du territoire et ayant vécu en Nouvelle-Calédonie moins de 20 ans avant le diagnostic sont exclus de l'étude. Ils ne figurent pas dans les tableaux ni dans les cartes qui suivent. Ces cas exclus étaient originaires de Bangui (1 cas), d'Europe (3 cas) et de Wallis (1 cas). Restent 104 personnes inclues dans l'étude finale.

L'étude de la répartition géographique des cas est réalisée selon deux méthodes : le lieu de résidence 30 années avant la date du diagnostic (d'après la durée moyenne de latence de la maladie), et le lieu de résidence de la plus longue durée.

Incidences par communes de résidence 30 ans avant le diagnostic

Le *tableau 2* présente, pour chaque commune de résidence, le nombre de cas de mésothéliome enregistrés 30 ans avant le diagnostic, l'incidence brute et l'incidence standardisée sur l'âge à la population mondiale, avec leurs intervalles de confiance à 95%, calculés sous l'hypothèse que la distribution suit une loi de Poisson.

Commune	nb	H/F	Incidence brute	[IC95%][5]	TSA[6]	[IC95%]
Belep	0	-	-	-	-	-
Boulouparis	0	-	-	-	-	-
Bourail	7	5 /2	6,68	*[2,69; 13,78]*	7,55	*[3,04;15,56]*
Canala-Kouaoua	4	2 /2	4,94	*[1,35; 12,65]*	6,88	*[0,17; 38,34]*
Dumbéa	1	1/0	0,42	*[0,01; 2,32]*	0,40	*[0,01; 2,26]*
Farino	0	-	-	-	-	-
Hienghène	1	0 /1	1,89	*[0,05; 10,51]*	4,68	*[0,12; 26,06]*
Houailou	37	15 /22	35,59	*[25,06; 49,05]*	128,66	*[70,41; 137,84]*
Ile des Pins	0	-	-	-	-	-
Kaala-Gomen	0	-	-	-	-	-
Kone	15	6 /9	15,29	*[8,56; 25,22]*	25,46	*[14,25; 41,98]*
Koumac	1	0 /1	1,57	*[0,04; 8,77]*	2,00	*[0,05; 11,13]*
LaFoa	0	-	-	-	-	-
Lifou	3	1 /2	1,25	*[0,26; 3,65]*	2,00	*[0,41; 5,83]*
MontDore	2	2 /0	0,40	*[0,05; 1,45]*	0,72	*[0,15; 2,09]*
Nouméa	9	5 /4	0,49	*[0,22; 0,93]*	0,64	*[0,13; 1,88]*
Ouegoa	3	1 /2	6,15	*[1,27; 17,96]*	8,50	*[1,75; 24,85]*
Ouvea	0	-	-	-	-	-
Païta	0	-	-	-	-	-
Poindimié	12	5 /7	11,52	*[5,95; 20,12]*	15,37	*[3,17; 44,92]*
Ponerihouen	1	1 /0	1,55	*[0,04; 8,63]*	1,89	*[0,05; 10,51]*
Pouebo	0	-	-	-	-	-
Pouembout	0	-	-	-	-	-
Poum	0	-	-	-	-	-
Poya	3	1 /2	4,96	*[1,02; 14,48]*	7,84	*[1,62; 22,92]*
Sarramea	0	-	-	-	-	-
Thio	2	2 /0	3,19	*[0,39; 11,52]*	6,52	*[1,35; 19,06]*
Touho	3	1 /2	5,60	*[1,15; 16,35]*	9,00	*[1,86; 26,29]*
Voh	0	-	-	-	-	-
Yaté	0	-	-	-	-	-
Total	**104**					

Tableau 2 - Nombre de cas de mésothéliome, Incidences brute et standardisée par commune 30 ans avant le diagnostic, 1984-2008

[5] *[IC95%] est l'intervalle de confiance à 95% du taux d'incidence, calculé sous l'hypothèse que les cas de mésothéliomes suivent une loi de Poisson.*

[6] *TSA : taux d'incidence standardisé sur l'âge (population mondiale). Tous les taux d'incidence (brute et standardisée) sont exprimés pour 100 000 personnes année.*

Seize communes sur 33 sont concernées par le mésothéliome. Plus d'un tiers des cas (35,6%) vivaient sur la commune de Houaïlou au moment le plus probable de l'exposition, soit 30 années avant le diagnostic. Le taux d'incidence standardisé sur cette commune est presque 300 fois plus élevé que sur les communes du Grand Nouméa (Nouméa, Dumbéa et le MontDore).

Seulement 3 autres communes présentent des incidences significativement plus élevées que celle de Nouméa : Koné (14,4% des cas), Poindimié (11,5%) et Bourail (6,7%) avec des taux d'incidence respectivement 57, 34 et 17 fois plus élevés qu'à Nouméa-Dumbéa-MontDore. La répartition de l'incidence par commune de résidence est représentée sur la carte *figure 29.*

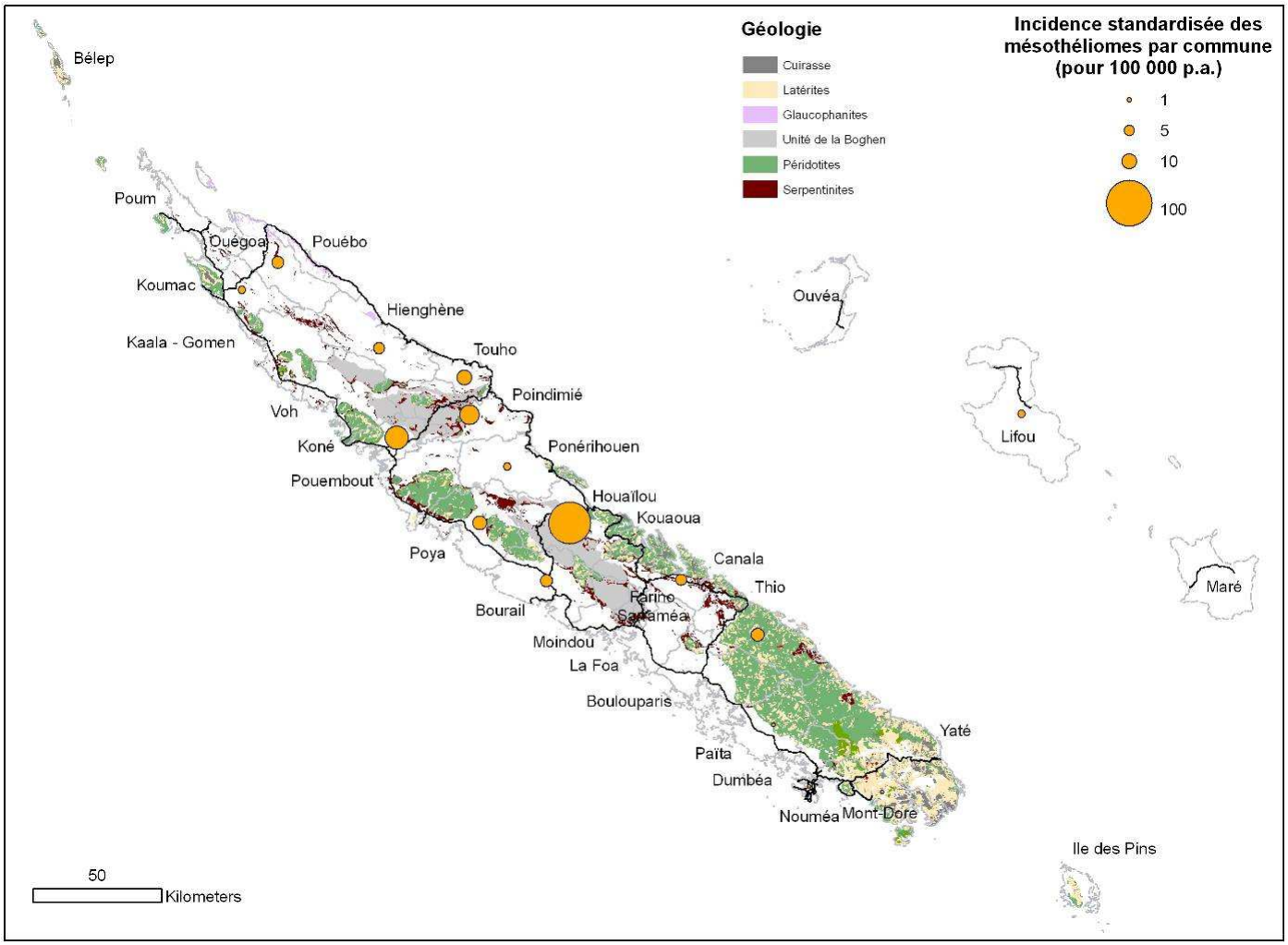


Figure 30 - Taux d'incidence standardisée sur l'âge (TSA) du mésothéliome malin pleural par commune (lieu de résidence 30 ans avant le diagnostic), NC 1984-2008

Incidences par communes de résidence de plus longue durée

Le tableau suivant présente le nombre de cas de mésothéliome enregistrés par commune de plus longue durée de résidence, l'incidence brute et l'incidence standardisée sur l'âge à la population mondiale, avec les intervalles de confiance à 95%, calculés sous l'hypothèse que la distribution des cas suit une loi de Poisson.

Commune	nb	H / F	I. brute	[IC95%]	TSA	[IC95%]
Belep	0	-	-	-	-	-
Boulouparis	0	-	-	-	-	-
Bourail	9	5 / 4	8,59	*[3,93; 16,31]*	9,77	*[4,47; 18,55]*
Canala-Kouaoua	4	2 / 2	4,94	*[1,35; 12,65]*	6,88	*[1,88; 17,62]*
Dumbéa	0	-	-	-	-	-
Farino	0	-	-	-	-	-
Hienghène	1	0 / 1	1,89	*[0,05; 10,51]*	4,68	*[0,12; 26,06]*
Houailou	34	15 / 19	32,7	*[22,65; 45,7]*	112,28	*[77,73; 156,9]*
Ile des Pins	1	1 / 0	2,23	*[0,06; 12,41]*	3,11	*[0,08; 17,34]*
Kaala-Gomen	0	-	-	-	-	-
Kone	14	6 / 8	14,27	*[7,8; 23,94]*	23,81	*[13,02; 39,96]*
Koumac	1	0 / 1	2,23	*[0,06; 12,41]*	3,11	*[0,08; 17,34]*
La Foa	0	-	-	-	-	-
Lifou	5	2 / 3	2,08	*[0,68; 4,86]*	3,23	*[1,05; 7,53]*
Mont Dore	3	2 / 1	0,60	*[0,12; 1,76]*	0,72	*[0,15; 2,09]*
Nouméa	8	5 / 3	0,52	*[0,23; 1,03]*	0,58	*[0,25; 1,22]*
Ouégoa	3	1 / 2	6,15	*[1,27; 17,96]*	10,2	*[2,1; 29,82]*
Ouvea	0	-	-	-	-	-
Païta	0	-	-	-	-	-
Poindimié	11	5/ 6	10,56	*[5,27; 18,9]*	13,98	*[6,98; 25,01]*
Ponerihouen	1	1 / 0	1,55	*[0,04; 8,63]*	1,89	*[0,05; 10,51]*
Pouebo	0	-	-	-	-	-
Pouembout	0	-	-	-	-	-
Poum	0	-	-	-	-	-
Poya	3	1 / 2	4,96	*[1,02; 14,48]*	7,84	*[1,62; 22,92]*
Sarramea	0	-	-	-	-	-
Thio	2	2 / 0	3,19	*[0,39 ; 11,52]*	6,52	*[0,79; 23,56]*
Touho	4	1 / 3	7,46	*[1,87; 19,1]*	11,4	*[3,11; 29,19]*
Voh	0	-	-	-	-	-
Yaté	0	-	-	-	-	-
Total	**104**					

Tableau 3 – Nombre de cas de mésothéliome, Incidence brute et standardisée par commune selon la durée la plus longue de résidence, 1984-2008

Selon cette seconde méthode de calcul, seize communes sur 33 sont concernées par le mésothéliome. Il n'y a pas de différence significative avec la précédente méthode

d'analyse de la répartition géographique de l'incidence : 32,3% des cas ont vécu le plus longtemps sur la commune de Houaïlou. Le taux d'incidence standardisé sur cette commune est 100 fois plus élevé que sur les communes de Nouméa et du MontDore. Les deux communes les plus touchées ensuite sont celles de Koné et de Poindimié (11,8% des cas chacune). Les communes qui présentent des incidences significativement plus élevées que celle de Nouméa sont : Houaïlou, Koné, Poindimié, Touho, Poya et Bourail (*figures 30 et 31)*.

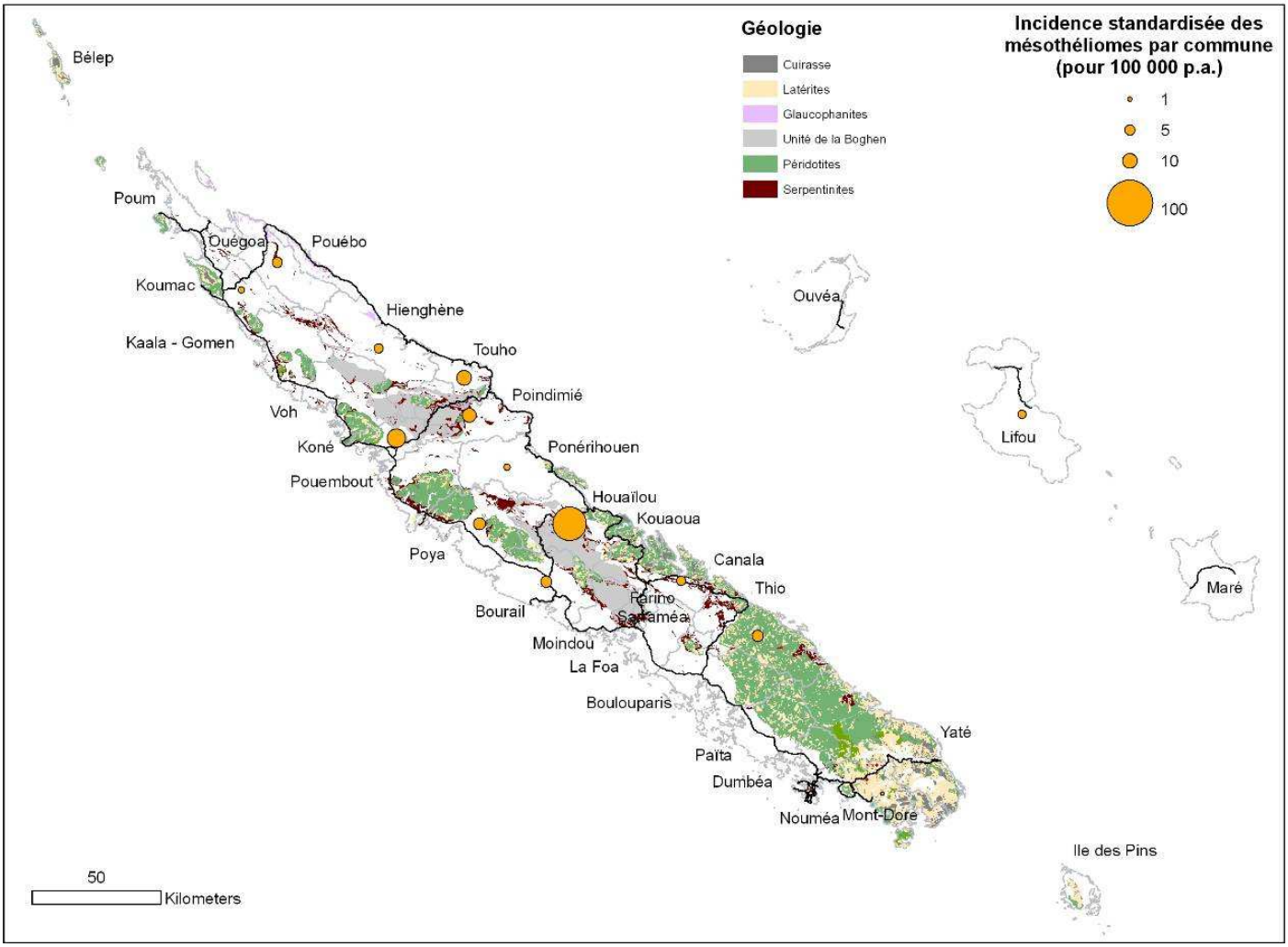


Figure 31 - Nombre de cas de mésothéliome malin pleural par commune (lieu de résidence le plus long), Nouvelle-Calédonie 1984-2008

Les deux cartes de représentation de la répartition géographique de la maladie présentent chacune un intérêt : le nombre de cas par commune permet de visualiser les lieux où l'impact de la maladie est le plus important, et le taux d'incidence standardisé sur l'âge permet de comparer les communes entre elles, en tenant

compte du nombre d'habitants et de la répartition par classe d'âge (le cancer étant une maladie à latence longue, il apparait plus souvent dans une population plus âgée).

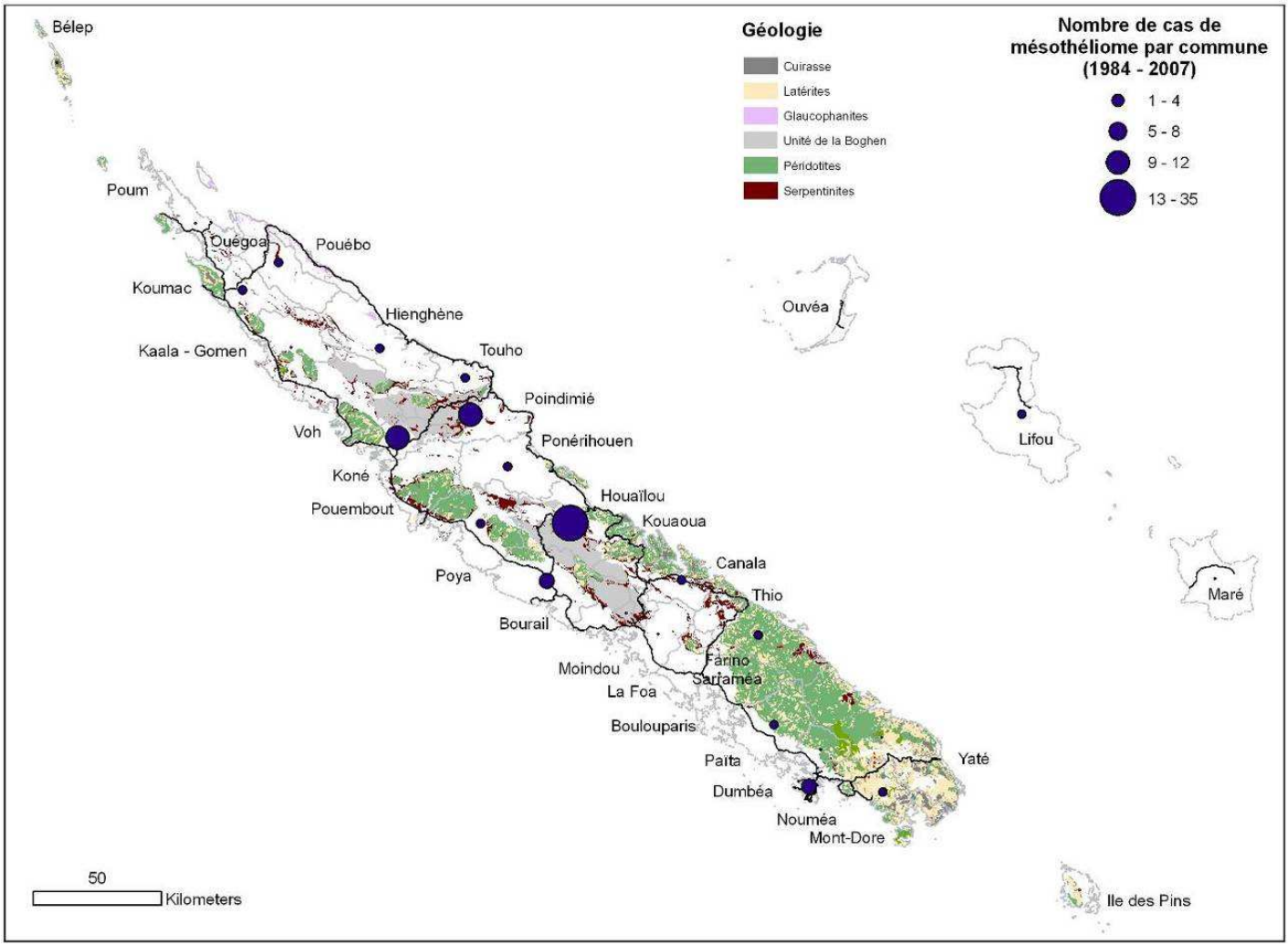


Figure 32 - Taux d'incidence standardisé sur l'âge (population mondiale) du mésothéliome malin pleural, par commune (lieu de résidence le plus long), Nouvelle-Calédonie 1984-2008

Quelle que soit la méthode d'analyse utilisée, les trois communes les plus touchées par le mésothéliome sont (*figure 32*) :

- Houaïlou, où le taux d'incidence standardisée varie de 84 pour 100.000 p.a. (*lieu de résidence 30 ans avant le diagnostic*) à 73 pour 100.000 p.a. (*lieu de résidence la plus longue*), soit 400 fois l'incidence mondiale,

- Koné, où le taux d'incidence standardisée varie de 25 pour 100.000 p.a. (*lieu de résidence 30 ans avant le diagnostic*) à 23 pour 100.000 p.a. (*lieu de résidence la plus longue*), soit 120 fois l'incidence mondiale,

- Poindimié, où le taux d'incidence standardisée varie de 18 pour 100.000 p.a. (*lieu de résidence 30 ans avant le diagnostic*) à 16 pour 100.000 p.a. (*lieu de résidence la plus longue*), soit 85 fois l'incidence mondiale.

Suivent dans l'ordre les communes de Touho, Poya, Thio, Bourail, Ouégoa, Hienghène et Canala.

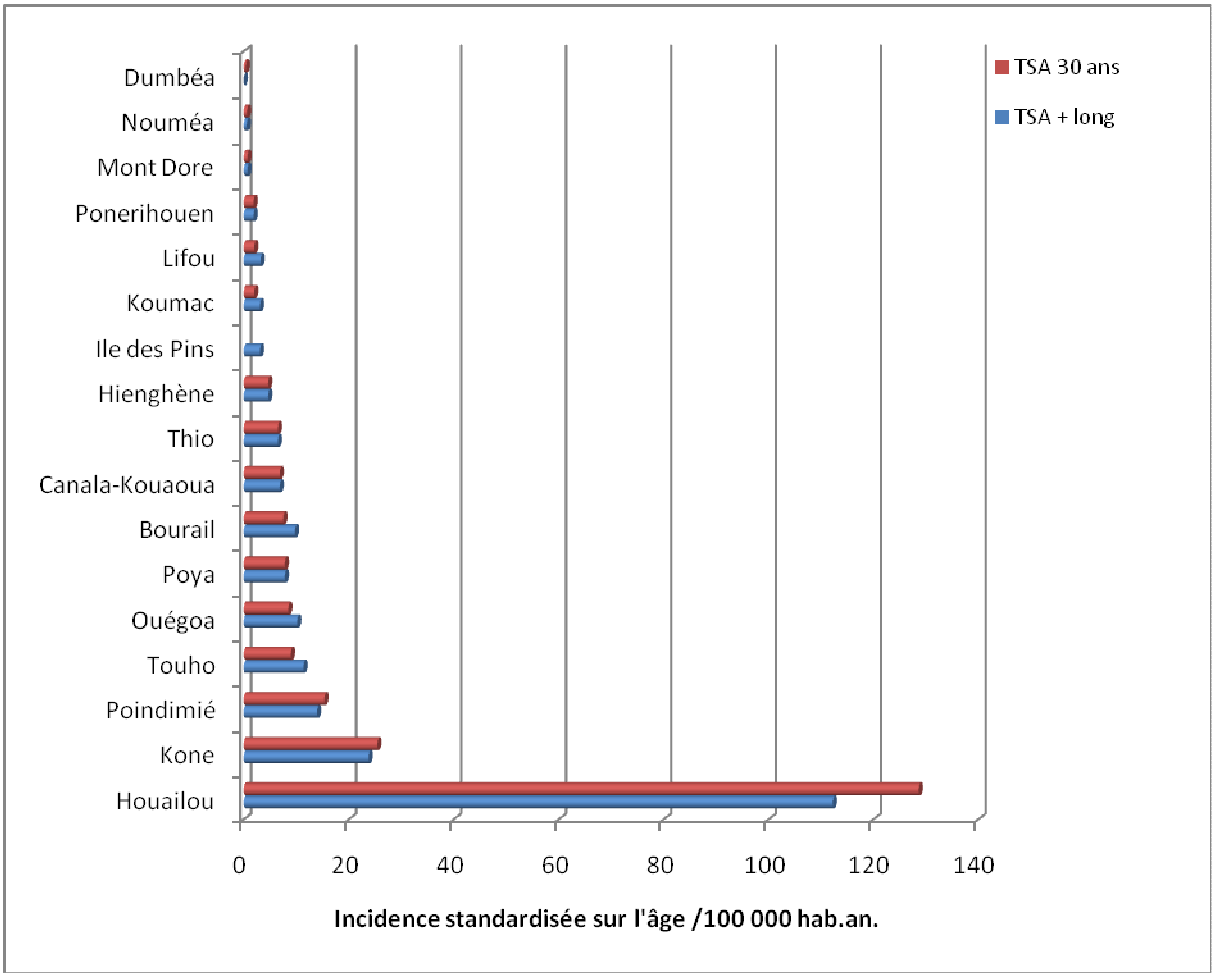


Figure 33 – Communes avec TSA de mésothéliome >0, classées selon 2 méthodes : lieu de résidence le plus long et résidence 30 ans avant le diagnostic, NC 1984-2008

Répartition par tribus de résidence

La fréquence et l'incidence des cas par tribu de résidence, calculées selon les deux méthodes d'analyse du lieu de résidence, sont présentées dans le tableau récapitulatif page suivante (*tableau 5*).

COMMUNE	TRIBU	DISTRICT	Cas-30	nb hom	nb fem	Ib-30	I brute - 30 IC95%		TSA-30	TSA - 30 IC95%		Cas+lg	I br + lg	I brute + lg IC95%		TSA +lg	TSA + lg IC95%	
Bourail	Azareu	NY	1	1	0	30,9	1,63	152,0	23,6	0,6	131,2	2	64,1	11,4	201,8	47,1	5,71	170,2
Bourail	Bouirou	NY	5	3	2	99,6	39,2	209,4	229,6	74,6	535,9	6	119,5	52,1	235,9	249,7	91,4	543,5
Bourail	Ny	NY	1	1	0	27,8	27,8	1,42	31,4	0,79	175,0	1	27,8	1,42	131, 8	31,4	0,79	175,0
Canala	Méhoué	CANALA	1	0	1	12,1	0,62	57,3	13,3	0,34	74,2	1	12,1	0,62	57,3	13,3	0,34	74,2
Canala	Mérénémé	CANALA	1	1	0	38,8	1,98	183,9	55,0	1,39	306,4	1	38,8	1,98	183,9	55,0	1,39	306,4
Canala	Nonhoué	CANALA	1	1	0	23,4	1,19	110,8	28,5	0,72	158,7	1	23,4	1,19	110,8	28,5	0,72	158,7
Hienghène	Tiendanite	TENDO	1	0	1	61,7	3,15	292,8	68,1	1,72	379,2	1	61,7	3,15	292,8	68,1	1,72	379,2
Houaïlou	Boréaré	BOREARE	1	0	1	179	9,11	847,1	204,2	5,17	1 137,5	0						
Houaïlou	Coula/Koro	BOREARE	1	0	1	45,5	2,32	215,6	55	1,39	306,4	1	45,5	2,32	215,6	55	1,39	306,4
Houaïlou	Gondé	HAUT NINDIEN	1	0	1	46,7	2,38	221,7	68,1	1,72	379,2	0						
Houaïlou	Gouaraoui	BAS NINDIEN	1	1	0	100	5,1	474,4	102,1	2,58	568,8	2	200	35,5	629,6	204,2	24,7	737,5
Houaïlou	Gouareu	NEOUYO	2	1	1	98	17,4	308,6	202	24,5	729,6	2	98	17,4	308,6	202	24,5	729,6
Houaïlou	Karagreu	BOREARE	1	0	1	49,5	2,52	234,8	61,3	1,55	341,3	1	49,5	2,52	234,8	61,3	1,55	341,3
Houaïlou	Néaoua	NEOUYO	7	5	2	547	220	1126,8	601,5	242	1 239,3	5	390,6	154	821,3	418,1	114	1070,6
Houaïlou	Nédiouen	WARAI	3	1	2	54	14,7	139,5	69,5	14,3	203,2	5	89,9	35,4	189,1	114,1	37,1	266,2
Houaïlou	Nédivin	BAS NINDIEN	3	2	1	68,2	18,6	176,2	212,5	43,8	621,0	3	68,2	18,6	176,2	212,5	43,8	621,0
Houaïlou	Néouyo	NEOUYO	2	0	2	65,4	11,6	205,7	48,8	5,91	176,2	2	65,4	11,6	205,7	48,8	5,91	176,2
Houaïlou	Nérin	HAUT NINDIEN	1	0	1	192	9,81	912,3	306,3	7,75	1 706,3	2	384,6	68,3	1 210,8	612,5	74,2	2 212,5
Houaïlou	Nessa Kouya	HAUT NINDIEN	2	0	2	63,7	11,3	200,5	86,4	10,5	312,1	3	95,5	26,1	246,9	122,4	25,3	357,8
Houaïlou	Nindiah	BAS NINDIEN	6	2	4	476	207	939,8	451,6	165	982,9	2	158,7	28,2	499,7	163,3	19,8	590,0
Houaïlou	Oingo	HAUT NINDIEN	1	0	1	333	17	1 581,3	275,0	6,96	1 532,2	1	333,3	17	1 581,3	275	6,96	1 532,2
Houaïlou	Ouakaya	NEOUYO	1	0	1	96,2	4,9	456,1	111,4	2,82	620,5	1	96,2	4,9	456,1	111,4	2,82	620,5
Houaïlou	Ouessoin	BAS NINDIEN	3	1	2	429	117	1 107,7	581,3	120	1 698,6	3	428,6	117	1 107,7	581,3	120	1 698,6
Houaïlou	Thu	WARAI	1	1	0	41,7	2,13	197, 7	29,9	0,76	166,5	1	41,7	2,13	197, 7	29,9	0,76	166,5

COMMUNE	TRIBU	DISTRICT	Cas-30	nb hom	nb fem	Ib-30	I brute - 30 IC95%		TSA-30	TSA - 30 IC95%		Cas+lg	I br + lg	I brute + lg IC95%		TSA +lg	TSA + lg IC95%	
Koné	Baco	BACO	1	0	1	16,7	16,7	0,85	19,1	0,48	106,6	1	16,7	0,85	79,3	19,1	0,48	106,6
Koné	Bopope	POINDAH	1	1	0	13,4	34,5	1,76	38,3	0,97	213,3	1	34,5	1,76	163,6	38,3	0,97	213,3
Koné	Néami	POINDAH	2	1	1	44,1	7,82	138,68	30,6	0,77	170,6	0						
Koné	Netchaot	POINDAH	3	0	3	54,7	54,7	14,93	184,6	38,1	539,5	3	54,7	14,9	141,5	184,6	38,1	539,5
Koné	Noéli	POINDAH	4	2	2	165	56,5	378,26	188,7	51,4	483,2	3	124	33,8	320,4	139,7	28,8	408,4
Koné	Tiaoué	BACO	3	1	2	64,1	17,5	165,68	73,6	8,91	265,8	4	85,5	29,2	195,6	100,8	27,5	258,1
Kouaoua	Ouerou-Pimet	KOUAOUA	1	0	1	68,5	3,49	324,93	76,6	8,91	265,8	1	68,5	3,49	324,93	76,6	8,91	265,8
Ouégoa	St Jean Baptiste	BONDE	2	0	2	73,0	12,96	229,78	68,8	8,33	248,35	2	73,0	12,96	229,78	68,8	8,33	248,35
Ouégoa	St Michel	BONDE	1	1	0	100,0	5,1	474,4	111,4	2,82	620,5	1	100,0	5,1	474,4	111,4	2,82	620,5
Poindimié	Ometteux	BAYES	2	1	1	46,3	46,3	8,22	60,1	7,28	217,1	1	23,1	1,18	109,8	26,1	0,66	145,2
Poindimié	Ouindo	BAYES	1	1	0	84,7	4,32	402,03	81,7	2,07	455,0	1	84,7	4,32	402,0	81,7	2,07	455,0
Poindimié	Paama	BAYES	0									1	133,3	23,7	419,7	81,7	2,07	455,0
Poindimié	St Thomas	WAGAP	2	1	1	37,9	6,72	119,24	40,6	4,91	146, 6	2	37,9	6,72	119,2	40,6	4,91	146, 6
Poindimié	Ti - Ouano	WAGAP	2	0	2	106	18,9	334,89	116,7	14,1	421,4	1	53,2	2,71	252,3	58,3	1,48	325,0
Poindimié	Tié	WAGAP	1	0	1	17,5	17,5	0,89	16,3	0,41	91,0	1	17,5	0,89	82,9	16,3	0,41	91,0
Poindimié	Tiéti	WAGAP	1	1	0	11,5	11,5	0,59	11,6	0,29	64,4	1	11,5	0,59	54,6	11,6	0,29	64,4
Poindimié	Tiwaka	WAGAP	3	1	2	188	51,1	484,63	200,6	41,4	586,2	3	187,5	51,1	484,6	200,6	41,4	586,2
Poya	Montfaoué	MUEO	2	1	1	50,8	50,8	9,01	65,9	7,98	238,1	2	50,8	9,01	159,8	65,9	7,98	238,1
Thio	St Philippo II	THIO	1	1	0	30,3	1,55	143,8	68,8	1,74	383,0	1	30,3	1,55	143,8	68,8	1,74	383,0
Touho	Koé	TOUHO	1	0	1	21,2	21,2	1,08	23,6	0,60	131,2	1	21,2	1,08	100,5	23,6	0,6	131,2
Touho	Kokingone	TOUHO	1			38,8	1,98	183,88	45,8	1,16	255,4	2	77,5	13,8	244,0	92,9	11,3	335,8
Touho	Pombeï	POYES	1	1	0	64,9	3,31	308,05	91,7	2,32	510,7	1	64,9	3,31	308,0	91,7	2,32	510,7

Tableau 4 – Nombre de cas de mésothéliome, répartition selon le sexe, incidence brute et incidence standardisée sur l'âge par tribus de la Grande Terre, 1984-2008, intervalles de confiance à 95%, selon les 2 méthodes : lieu de résidence 30 ans avant le diagnostic et lieu de résidence le + long.

Mésothéliome et facteurs possibles d'exposition selon les communes

Une rapide description des cas et de leur environnement géologique est présentée par tribu pour chaque commune non étudiée dans les étapes précédentes.

- ***Canala et Kouaoua***

  Quatre tribus sont concernées par le mésothéliome à Canala-Kouaoua : Mehoué (1 cas), Mérénémé (1 cas), Nonhoué (1 cas) et Ouérou-Pimet (1 cas). Les 3 premières tribus appartiennent au district coutumier de Canala, et la dernière au district de Kouaoua.

  Tous les cas ayant vécu à Canala ont plus de 70 ans. Aucune activité professionnelle à risque n'a été retrouvée, et le sexe ratio hommes/femmes est de 2. Les lieux d'habitation se situent au bord de la piste principale, et on ne nous a pas rapporté l'utilisation du *Pö* pour ces cas. Cependant ce facteur ne peut pas être complètement exclu, car 2 cases à *Pö* trémolitique ont été recensées à Mérénémé, et 2 autres à Nonhoué. Une vingtaine de cases à *Pö* trémolitique a été recensée dans les autres tribus de Canala, sans présence de mésothéliome. Le cas de Kouaoua est une jeune femme de moins de 40 ans, qui n'a pas été exposée au *Pö.* La période d'exposition probable de ces quatre cas correspond à une période de forte activité minière dans la région, et donc de roulage sur les pistes.

  Dans ce secteur, la géologie des formations porteuses d'amiante est relativement homogène. La région est dominée par les massifs de péridotites exploités de longue date pour le nickel. A la base de ces massifs, de nombreuses écailles de serpentinite, souvent en connexion avec la semelle de la nappe des péridotites, traversent l'unité de Poya et ses basaltes (*figure 33*). Les occurrences d'amiante se rattachent au type "semelle serpentineuse" des massifs de péridotite. Des veinules de chrysotile et des failles à antigorite sont connues dans les nombreuses écailles de serpentinite recoupées par la RPN 3 (piste à horaire du col de Pétchécara, versant nord) entre le col et Nakety (*Maurizot 2007*). Aucune occurrence d'amiante n'est pour l'instant connue ou signalée dans les zones minières environnantes. Notre connaissance dans ce contexte géologique étant pour l'instant parcellaire, cette absence correspond plus à une carence d'information.

Nous avons trouvé plusieurs occurrences de chrysotile en filonnets typiques dans les talus de la piste, dans les carrières d'emprunt de matériaux de revêtement et sur la bande de roulement de la piste, soit à l'état d'affleurements sur lesquels roulent les véhicules, soit dans les matériaux de revêtement. Sur 43 points d'observation entre le col de Pétchécara et le pont de Mokoué (base de la piste à horaire), 14 ont montré des occurrences d'amiante (observation macroscopique). Le chrysotile se trouve en petits filons souvent infra millimétriques, parfois de 1 à 2 millimètres d'épaisseur et exceptionnellement en filons d'un demi-centimètre d'épaisseur.

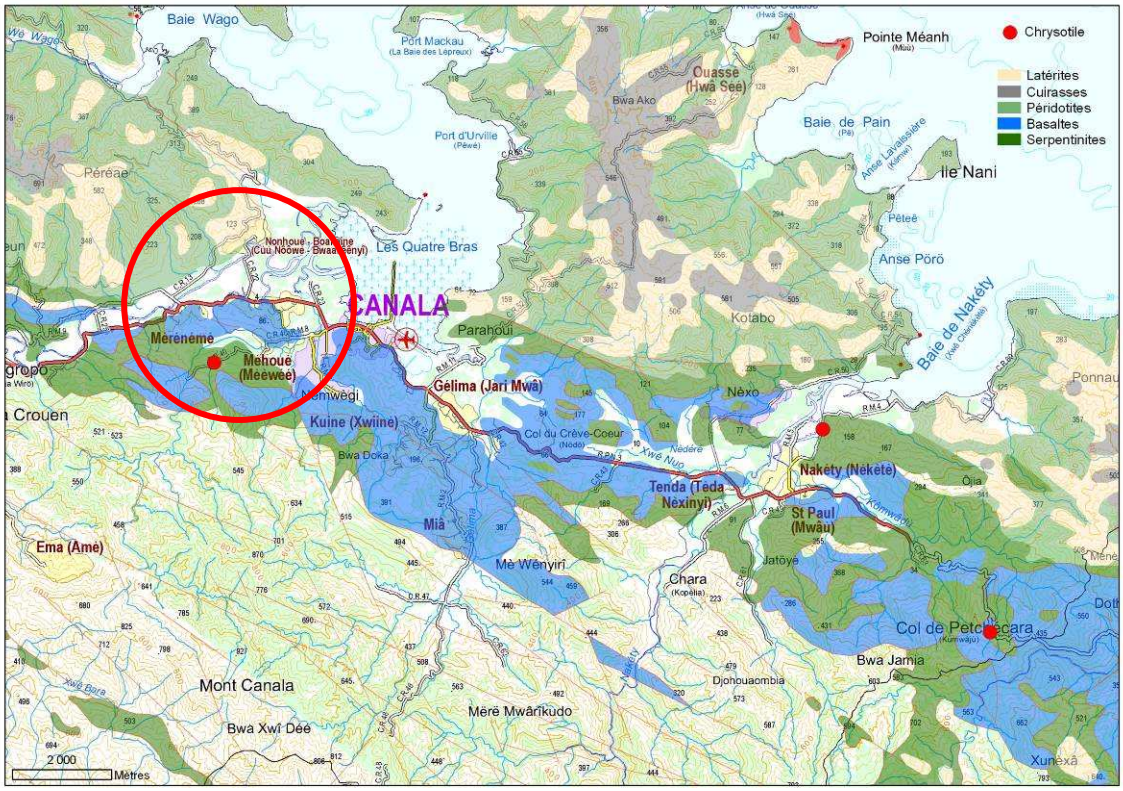


Figure 34 - Carte géologique de la région de Canala et occurences d'amiante. Les sites des cas sont concentrés dans le cercle rouge.

Une occurrence de filonnets de chrysotile se trouve dans un affleurement de serpentinite exposé sur la piste du col de Pétchécara. La roche est à nu sur la bande de roulement. Le passage répété des véhicules a provoqué l'écrasement des filonnets, leur désagrégation et la libération des fibres.

Deux carrières d'emprunt, utilisées probablement pour la confection et l'entretien de la piste, ont été reconnues le long du tracé. La plus haute est ouverte dans des serpentinites où des veinules de chrysotiles infra-millimétriques y sont observables.

Les analyses en laboratoire ont confirmé la présence de chrysotile et de serpentine fibreuse de type antigorite. D'autres occurrences de chrysotile (*planche photographique 3 et photographie 55*) ont été trouvées dans une carrière encore utilisée pour encaillasser les pistes.

Planche photographique 3 – Filonnets de chrysotile dans la carrière de Saint-Paul à Nakéty

Photographie 55 – Image MOLP d'un frottis de chrysotile (carrière de Saint-Paul - Nakéty)

- ***Thio***

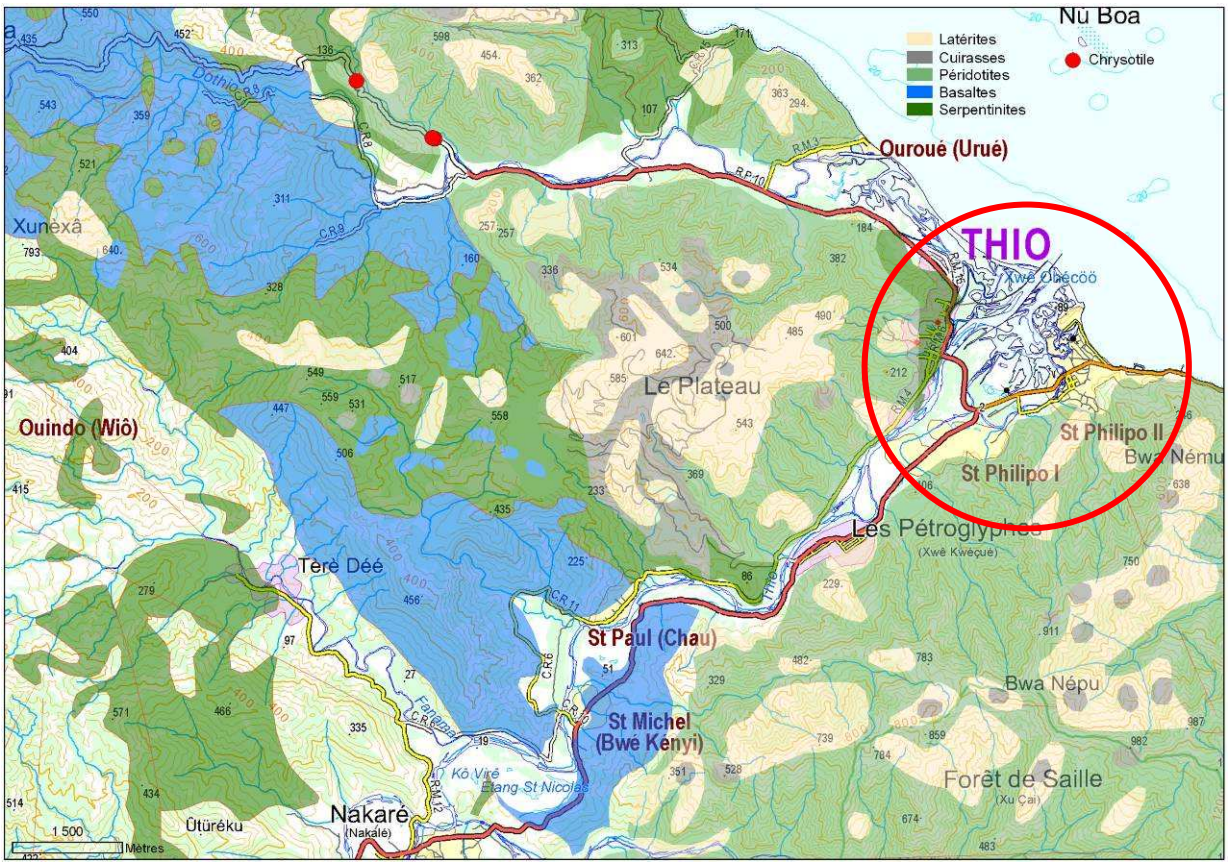


Figure 35 - Carte géologique de la région de Thio et occurrences d'amiante. Les sites concernés par les cas sont dans le cercle rouge

Seule la tribu de Saint Philippo II (1 cas) est concernée par le mésothéliome au district coutumier de Thio, un autre cas ayant vécu au village.

Tous deux sont des hommes de plus de 65 ans, ayant exercé l'activité professionnelle de mineur à Thio. Ils n'ont pas utilisé de *Pö*, et aucune case n'y a été recensée. Thio est une commune prospère où l'activité minière date de plusieurs décennies, d'où l'abandon de l'utilisation du torchis depuis longtemps. L'ensemble des données : sexe, âge, profession, évoque la possibilité de contamination professionnelle pour ces cas.

Le contexte géologique de la région de Thio est similaire à celui de Canala (*figure 34*). La région est dominée par les massifs de péridotites dans une zone où ils sont exploités de longue date pour le nickel. La semelle de base de la nappe est plus ou moins bien développée et forme un système d'écailles complexes avec l'unité des basaltes de Poya sur laquelle elle repose. Quelques occurrences d'amiante ont été rencontrées dans la piste du col de Pétchécara [*Maurizot et Sevin 2009*]. Deux types

d'occurrences sont présents : des veinules le plus souvent infra millimétriques de chrysotile en roche saine, des terres blanches amiantifères résultant de l'altération de lattes d'antigorite.

Sur la piste du col, nous avons pu observer la roche à nu directement exposée avec des veines de chrysotiles de plus de 2 mm d'épaisseur dans la zone de roulement des véhicules. Cette occurrence est analogue à celle décrite sur le tronçon situé en Province Nord (RP N3) entre le col de Pétchécara et Nakety [*Maurizot 2007*]. La composition du revêtement de cette piste est assez uniforme et consiste en un mélange, en proportions variables, d'alluvions, de déblais du terrain en place (péridotites à l'Est, basaltes à l'Ouest, grenaille dans les zones latéritiques) et d'une manière constante de serpentinite provenant sans doute d'une ou plusieurs carrières d'emprunt proches du col. Les veinules de chrysotiles sont parfois présentes dans ces fragments de serpentinite. Nous en avons trouvé aussi bien dans les alluvions de la Dothio que dans les alluvions mis sur la piste. Partout ailleurs, les routes provinciales sont goudronnées, mais devaient présenter un revêtement comparable avant 1980.

- ***Hienghène***

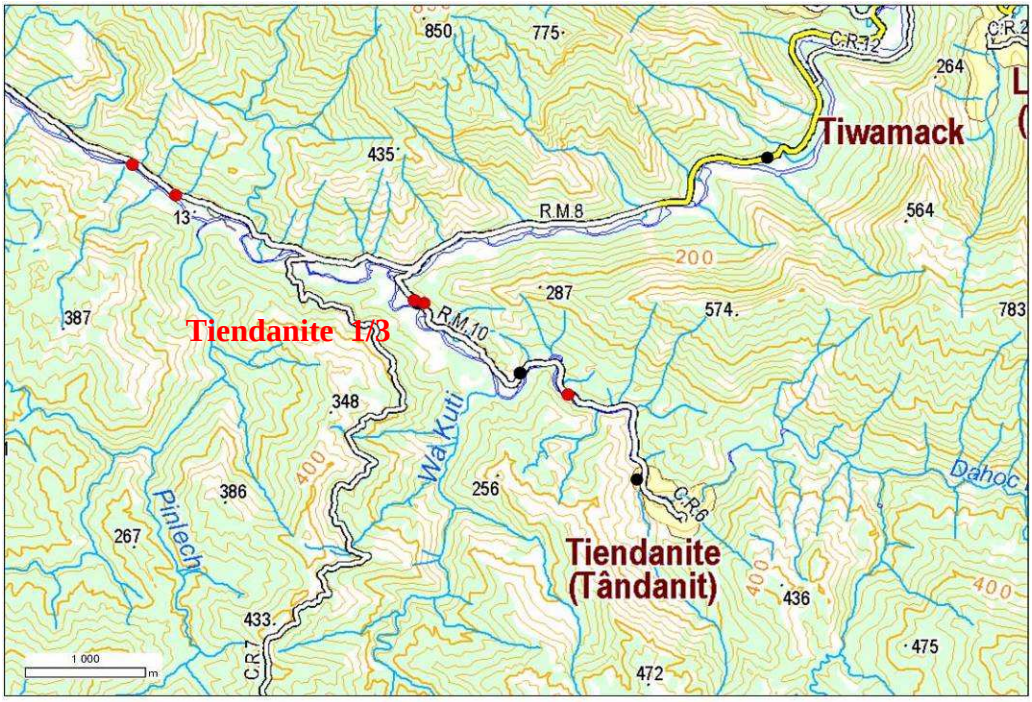
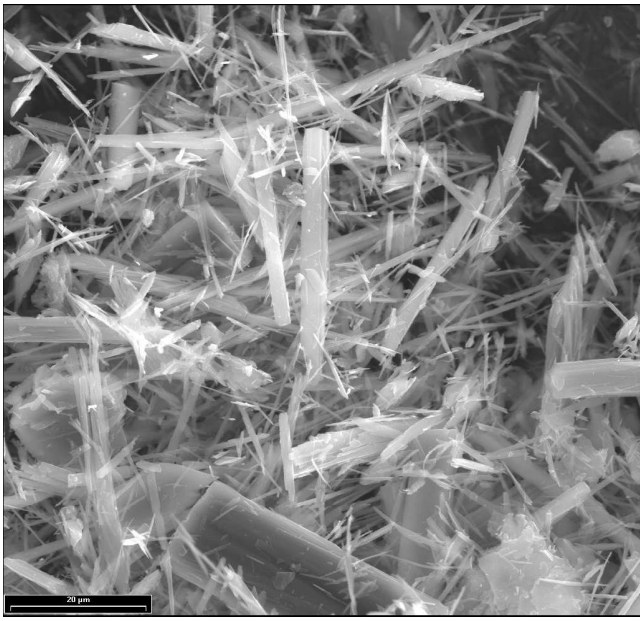


Figure 36 - Localisation des occurrences d'amiante (cercles rouges) dans la vallée de Tiendanite

Un seul cas de mésothéliome a été enregistré à Hienghène, dans la tribu de Tiendanite. Il s'agit d'une femme âgée, ayant utilisé le *Pö* dans son enfance, et ayant habité la majeure partie de sa vie au bord d'une piste traversée par un large filon de serpentinite.

Les données géologiques sont nombreuses dans la région de Hienghène [*Picard 2005 et 2006, Lahondère 2007, Record 2008, Lahondère et Maurizot 2009*]. Des zones amiantifères à trémolite ont été identifiées en plusieurs localités: Ouaré, Tiendanite, Gavatch, Tendo, Bas-Coulna (*figure 35*). Soixante-dix-huit cases à *Pö* trémolitique ont été recensées.

Dans la vallée qui mène à Tiendanite, les schistes noirs de l'unité du Diahot sont traversés par des lames de serpentinite et des masses de métabasalte. A 500 m du pont de la Hienghène, deux occurrences de talc-schiste et de terre blanche, associées à des "pierres savons", ont été répertoriées [*Picard 2006*]. Ces lames de serpentinites sont très mal cartographiées sur les cartes géologiques existantes. Quels que soient les sites envisagés dans cette zone de Hienghène, la trémolite est toujours présente et a été caractérisée en laboratoire (*photographie 56*).



Photographie 56 – Image MEB (x 1000) de la trémolite, Hienghène

- ***Ouégoa***

  Les trois cas de Ouegoa sont originaires du district coutumier de Bondé, dans les tribus de Saint Michel et de Saint Jean Baptiste. L'un est un homme ayant travaillé à la mine. Aucun n'aurait été en contact avec le *Pö*; 4 cases à *Pö* trémolitique ont été recensées en tout dans la région de Bondé.

  Des roches amiantifères sont connues aux alentours du village de Ouégoa et ont été visitées et échantillonnées à plusieurs reprises (*Picard 2006, Lahondère 2007, Lahondère et Maurizot 2009*). A Bondé une petite occurrence de serpentinite est connue (*Maurizot 1989*). Une partie du village de Ouégoa est construite sur l'unité de Pouébo représentées par un mélange à matrice serpentineuse. Nous avons particulièrement étudié deux sites, sur carrière et sur piste.

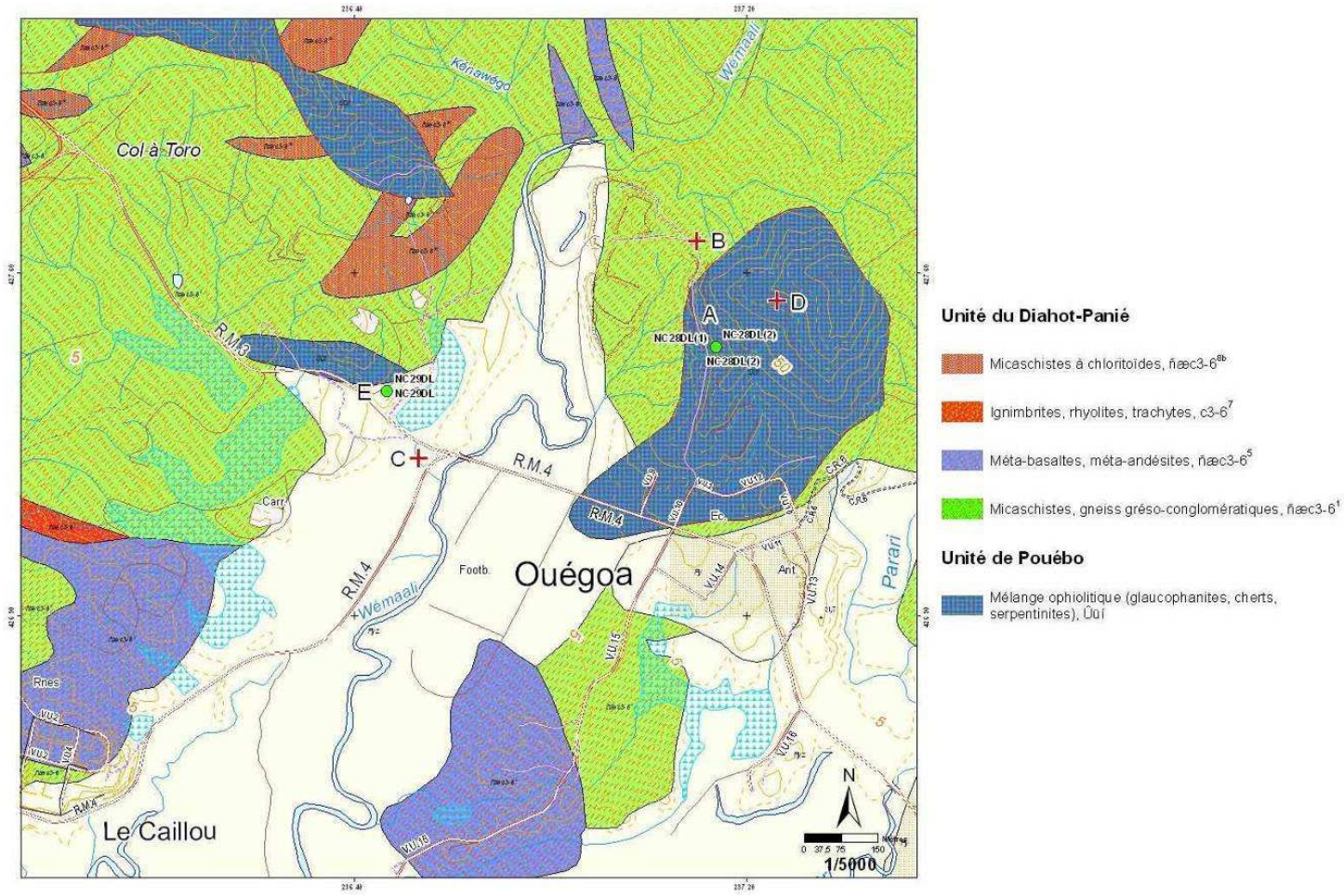
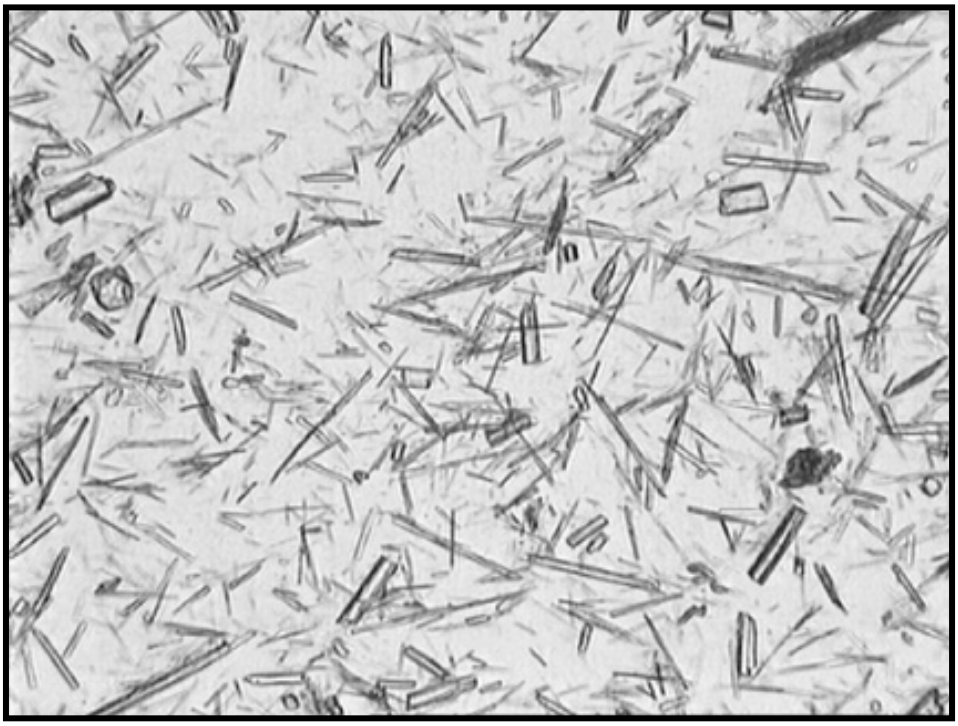


Figure 37 - Plan de positionnement des occurrences d'amiante à proximité du village de Ouégoa.

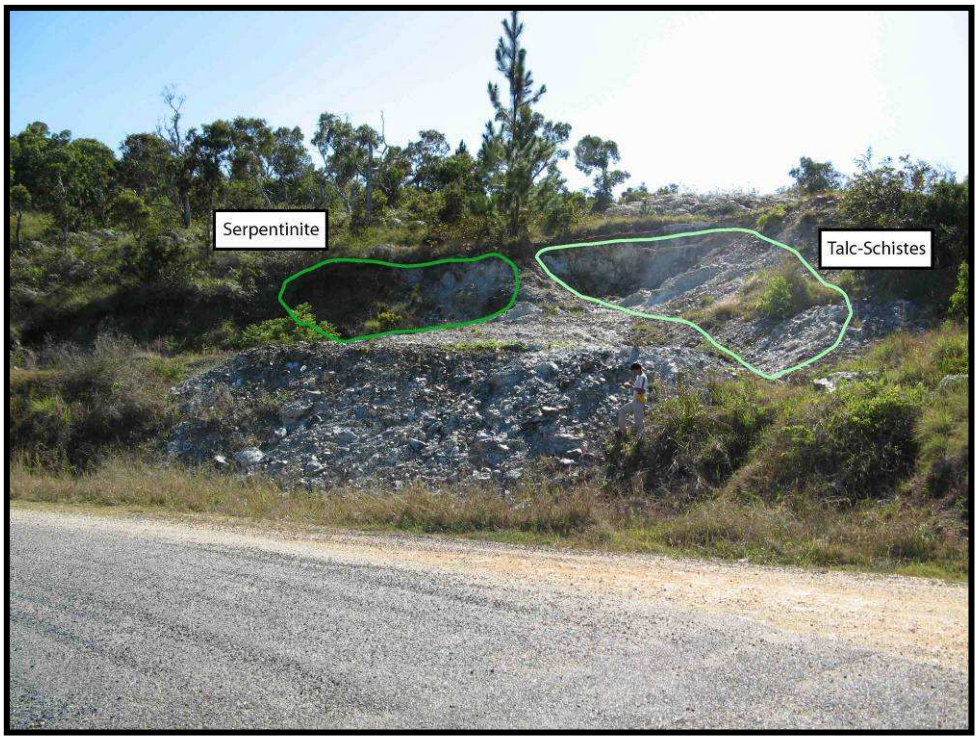
La carrière (*figure 36, point A*) située sur la route menant au collège n'est pas exploitée. Il s'agit d'une carrière d'emprunt, contenant des serpentinites associées à des micaschistes vert pâle, des talcschistes et de la pierre savon. Les terres blanches amiantifères apparaissent souvent dans la couche d'altération superficielle. Elles sont constituées de très fines aiguilles de trémolite qui proviennent de l'altération de trémolite primaire plus grossière. Elles forment en général des agrégats centimétriques, composés exclusivement de fibres d'amiante visible aussi bien dans le talus que sur le sol. A proximité de la carrière, en amont comme en aval, des occurrences de fibres ont été observées. La trémolite de taille amiante a été caractérisée par MOLP et MEBA sur ces affleurements (*Lahondère 2007*).

Des occurrences de terres blanches ont également été observées sur la piste du château d'eau (*figure 37, point D*) dans des talcschistes et au *point E* où elles étaient autrefois utilisées comme *Pö* pour les cases en torchis. La trémolite amiante a été confirmée en laboratoire sur cet affleurement (*photographies 58 à 60, figure 37*).

A Bondé, les observations MOLP de C. Picard (2006) ont révélé la présence d'abondantes fibres de trémolite (*photographie 57*) à proximité d'un affleurement de métabasalte.



Photographie 57 – Terre blanche de Bondé observé au MOLP (x 200) - *source Picard 2006*



Photographie 58 - Ouégoa, carrière avec glissement de terrain (point A).

Photographie 59 - Ouégoa, terre blanche trémolitique dans la carrière (Point A).

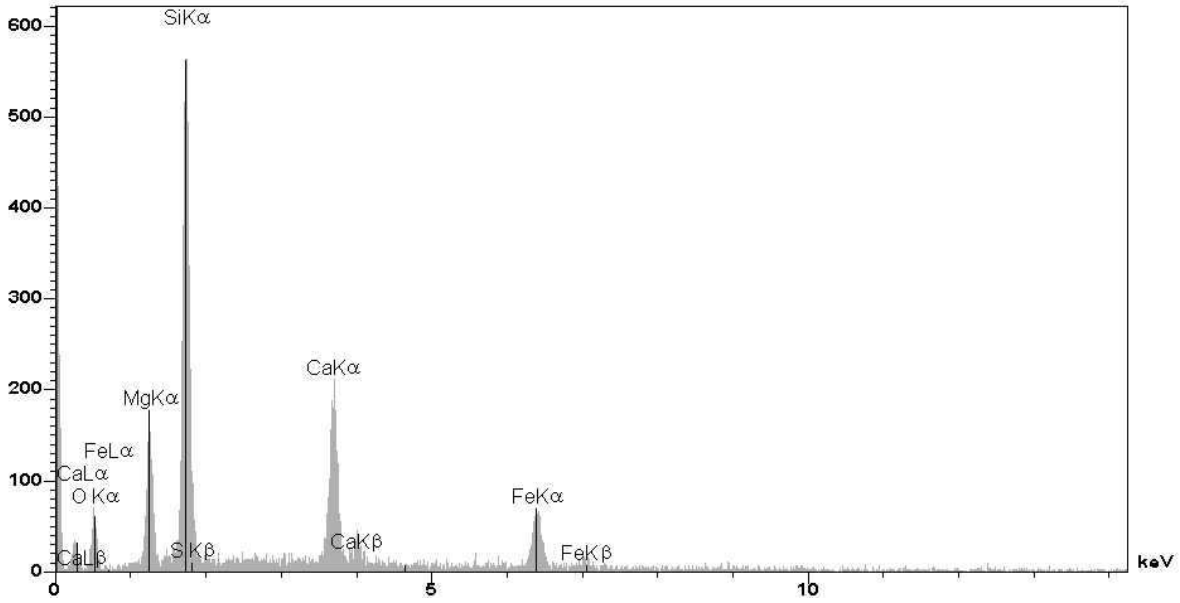


Figure 38 - Spectre EDS d'analyse d'une gerbe de trémolite de la carrière de Ouégoa (point A)

Photographie 60 - Image MEB, électrons secondaires, des fibres de trémolite (point A).

- ***Koumac***

Un seul cas a été recensé à Koumac, qui vivait au village sans avoir utilisé le *Pö*. Il s'agit d'une femme européenne, pour laquelle aucune activité à risque n'a pu être mise en évidence au cours de l'enquête.

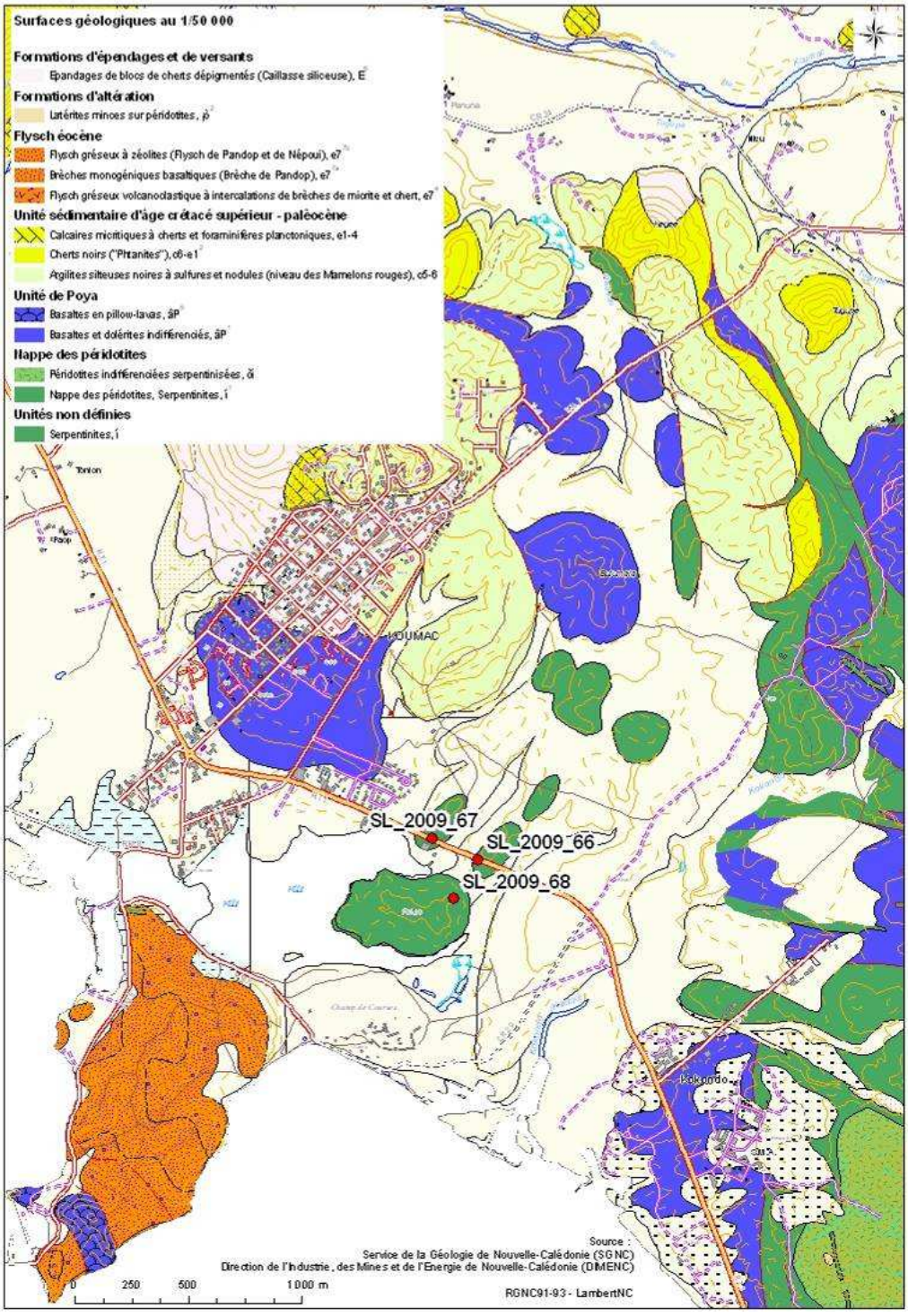


Figure 39 - Carte géologique autour du village de Koumac et positionnement des échantillons.

Plusieurs lames de serpentinite se trouvent à proximité du village de Koumac et traversent la route. Elles sont interprétées comme des lambeaux de la semelle de la nappe des péridotites (*figure 38*). Du chrysotile en petits filonnets infra-millimétriques a été trouvé dans l'un des affleurements situés immédiatement à l'Est du village. Par ailleurs, plus au Nord, le chrysotile est abondant dans la semelle du massif de Tiébaghi. Les poussières fines de ces affleurements montrent une petite proportion (< 5%) de fibres de classe amiante se formant à partir de lattes de taille plus grande se délitant.

- ***Poya***

La seule tribu de Montfaoué est touchée par le mésothéliome à Poya. Il s'agit d'une femme originaire d'une tribu qui borde la transversale Koné-Tiwaka, et d'un homme ayant travaillé à la mine. Ces deux personnes ont vécu dans leur enfance dans une case à *Pö* trémolitique, et 14 habitations à risque ont été recensées dans la tribu. Nous avons constaté la présence de cases trémolitiques dans les tribus de Nétéa et de Goipin, sans cas recensé. La région de Poya est l'une des plus concernées par ce problème d'habitat à risque : 62 cases ont été recensées sur les cinq tribus situées dans la chaine. Ce secteur constitue un lieu de référence car le *Pö* trémolitique *in situ* y a été identifié pour la première fois [*Cluzel et Pelletier 1994*].

L'ensemble de serpentinite de Montfaoué est l'un des plus importants en superficie dans la chaîne centrale. La cartographie géologique de ces serpentinites très abondantes a été refaite récemment (*figure 39*). La trémolite y a été caractérisée aussi bien dans des gisements de *Pö* qu'en affleurement naturel. Le contexte est typiquement celui de l'unité de la Boghen et des filons de serpentinite associés, la trémolite se développant à l'interface micaschistes - serpentinites sous différentes formes minéralogiques puis se désagrégeant en fines fibres par altération superficielle.

Un autre cas de mésothéliome a vécu au village minier de Népoui. Il s'agit d'une femme sans activité à risque connue. Le village de Népoui est installé sur une formation sédimentaire qui remanie les péridotites mais dont les éléments sont la plupart du temps profondément altérés. Au niveau de l'embranchement de la RT1 avec la RT4 qui mène au village une importante carrière de serpentinite de type antigorite, qui a servi à encaillasser la route aujourd'hui goudronnée, est ouverte dans

la semelle serpentineuse du massif du Kopéto. Des filonnets de chrysotile sont apparents. D'autres anciennes carrières sont encore visibles sur le secteur.

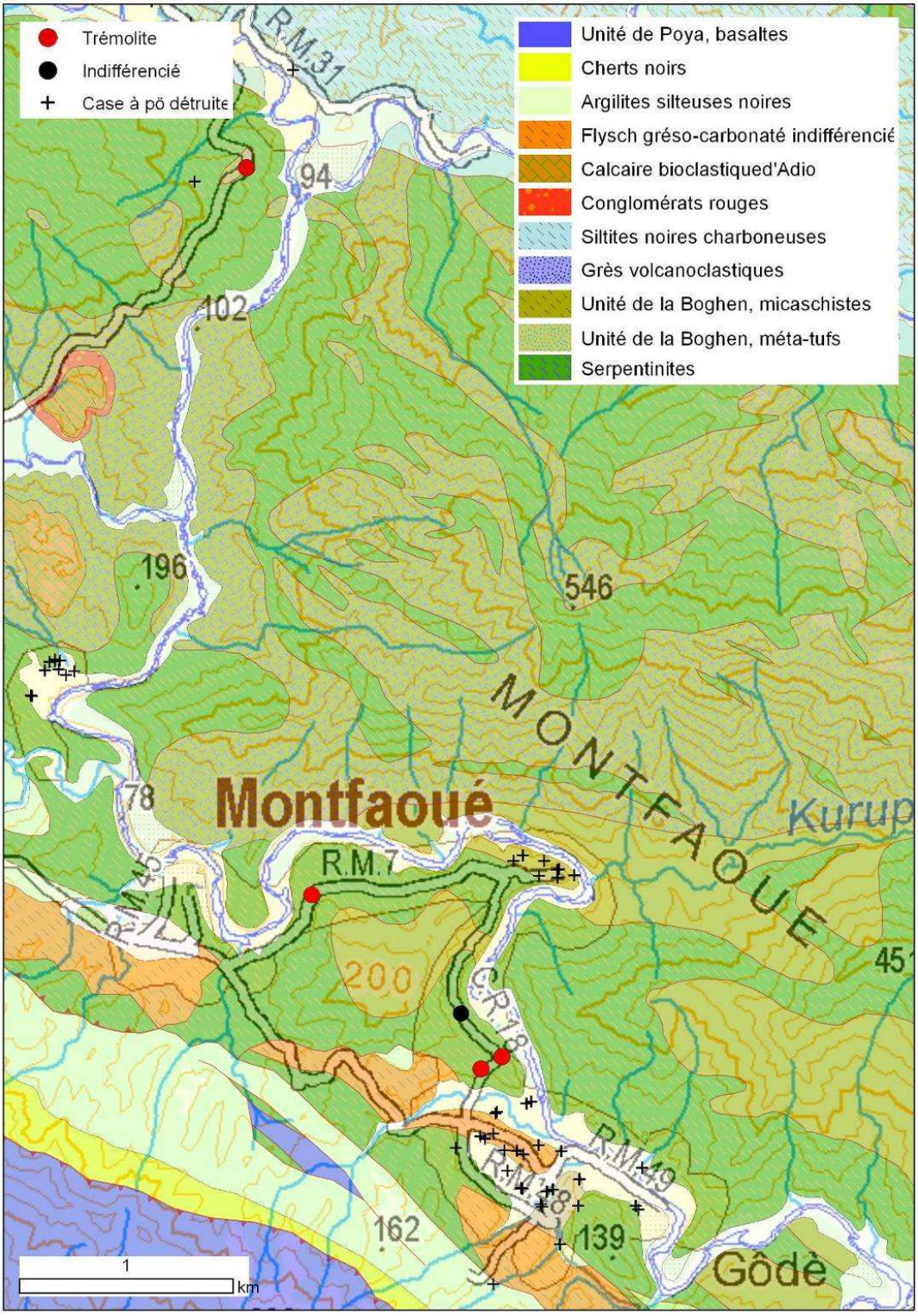


Figure 40 - Nouvelle cartographie géologique et points d'observation de la région de Montfaoué.

- ***Ponérihouen***

  Aucune tribu n'est concernée par le mésothéliome à Ponérihouen. Un cas possible a vécu au village : il s'agit d'un homme ayant été employé aux Travaux Publics, en particulier à la réfection des routes (col des Roussettes et région de Koné-Poindimié-Touho). Une exposition professionnelle est à considérer pour ce cas, d'origine européenne, qui n'a jamais vécu dans une case à *Pö*.

  Nos connaissances géologiques sont suffisantes pour pouvoir affirmer qu'il n'y a pas de roches potentiellement amiantifères dans cette région.

- ***Dumbéa***

  Le seul cas enregistré à Dumbéa est un homme ayant habité au bord de la route. Aucune notion de *Pö* n'est connue pour ce cas, ni aucune activité professionnelle à risque. Le jeune âge du cas écarte cette dernière hypothèse.

  Nos connaissances géologiques sont suffisantes pour pouvoir affirmer qu'il n'y a pas de roches potentiellement amiantifères dans cette région. Il serait cependant intéressant d'étudier l'historique du revêtement de la route.

- ***Nouméa***

  Neuf cas ont été enregistrés à Nouméa, cinq hommes et quatre femmes :
  - un homme ayant travaillé au chargement des bateaux,
  - trois hommes employés à l'usine de la SLN,
  - un homme ayant vécu son enfance à Ducos, dont l'âge écarte toute hypothèse de contamination professionnelle, et dont le père travaillait à la SLN,
  - une femme ayant habité à Ducos et dont le mari travaillait à la SLN,
  - trois femmes européennes, pour lesquelles aucun facteur d'exposition possible n'a pu être mis en évidence. L'une d'elles se souvenait d'avoir souvent pris, lorsqu'elle était petite fille, la route du col des Roussettes qui n'était pas goudronnée pour aller en voiture avec ses parents en vacances.

  L'âge des quatre premiers hommes rend possible l'hypothèse de l'origine professionnelle de l'exposition.

- ***MontDore***

  Deux cas masculins de plus de 60 ans ont vécu au Mont-Dore : un tahitien dont la famille n'a pas pu être retrouvée, et un officier de la marine marchande ayant travaillé sur les bateaux de la SLN, dont la maladie a été reconnue d'origine professionnelle.

- ***Lifou***

  Les trois cas ayant vécu à Lifou sont :
  - un homme ayant pu s'exposer à l'amiante en travaillant dans la construction,
  - une femme dont le mari travaillait au chargement de bateaux,
  - une femme pour laquelle aucune source possible d'exposition à l'amiante n'a été mise en évidence au cours de l'enquête.

  Nos connaissances géologiques sont suffisantes pour pouvoir affirmer qu'il n'y a pas de roches potentiellement amiantifères dans cette région. Il n'y a pas de *Pö* trémolitique à Lifou, l'usage était de fabriquer une chaux à partir de corail. L'âge des cas rend possible la contamination professionnelle ou para-professionnelle (vêtements du père ou du mari).

5.5.4. Conclusions

Cette troisième étape clôturait l'enquête épidémiologique et géologique autour des cas de mésothéliome enregistrés sur tout le territoire de Nouvelle-Calédonie de 1984 à 2008. Le sexe ratio proche de 1 et l'âge des malades (à partir de 30 ans) démontrent l'existence d'une exposition environnementale.

On observe très peu de différences selon les deux méthodes d'analyse du lieu de résidence (30 ans avant le diagnostic, et durée de résidence la plus longue). La distribution de la maladie selon le lieu probable de l'exposition confirme les deux secteurs à plus forts risques, étudiés lors des deux premières étapes : l'incidence du mésothéliome, standardisée sur l'âge, est la plus importante pour la commune de Houaïlou (128,66 pour 100 000 personnes années, IC 95% = [70,41; 137,84]), puis pour les communes de Koné (25,46 [14,25; 41,98]) et Poindimié (15,37 [3,17; 44,92]).

L'étude selon les tribus de résidence montre des incidences remarquablement élevées dans certaines tribus de Houaïlou : elle est supérieure à 500/100 000 à Néaoua et Ouessoin, deux tribus très proches d'une activité minière intense depuis plusieurs décennies, avec des intervalles de confiance dont les minimales sont supérieures à 100 et 200/100 000.

L'incidence du mésothéliome présente des valeurs similaires à celles observées dans le monde industrialisé pour les communes du Grand Nouméa: Dumbéa (0,40 [0,01; 2,26]), Nouméa (0,64 [0,13; 1,88]) et le MontDore (0,72 [0,15; 2,09]), mais avec un sexe ratio proche de 1 pour la commune de Nouméa..

Sur l'ensemble de la Grande-Terre, en dehors des régions de Houailou-Bourail et Koné-Touho-Poindimié des cas de mésothéliome ont été relevés dans seulement 8 tribus sur les 178 de Canala, Kouaoua, Thio, Poya, Hienghène et Ouégoa.

La possibilité d'une exposition professionnelle (ou paraprofessionnelle pour les femmes ou filles) ne peut être écartée pour certains cas. Les professions concernées sont : la mine, la construction, le chargement/déchargement de bateaux, l'industrie minière et les travaux publics.

D'après l'enquête, l'exposition au *Pö* trémolitique n'existe que pour une partie des cas. De façon surprenante, aucun cas n'a été enregistré à Belep, alors que 41 cases trémolitiques y avaient été recensées, un seul cas à Hienghène (81 cases trémolitiques recensées), aucun à Kaala-Gomen (29 cases trémolitiques recensées), aucun à Pouembout (28 cases trémolitiques recensées), aucun à Sarraméa (17 cases trémolitiques recensées), deux cas seulement dans les tribus de Poya (95 cases trémolitiques recensées). A l'opposé, 37 cas de mésothéliome ont été enregistrés à Houaïlou alors que seulement 26 cases trémolitiques y ont été recensées.

L'exposition aux fibres d'amiante provenant de serpentinite présente sur une route proche de l'habitat peut être envisagée pour tous les cas recensés en tribu. En effet des carrières ou des affleurements de serpentinite sur route ont été relevés dans leur environnement au cours de l'enquête géologique. Les analyses minéralogiques ont mis en évidence la présence quasi constante de fibres d'antigorite, parfois accompagnée de fibres de chrysotile ou de trémolite-actinolite.

En conclusion, les sources possibles d'exposition à l'amiante sont variées en Nouvelle-Calédonie. L'habitat recouvert de *Pö* trémolitique représentait une source possible d'exposition ; la campagne de remplacement des habitats concernés a permis d'éliminer cette source. Une importante source de contamination est probablement représentée par la présence de serpentinite sur pistes. Le lien de causalité entre serpentinite et cas reste encore à démontrer et le niveau d'exposition à quantifier, mais à ce stade, les suspicions paraissent suffisantes pour recommander les mesures nécessaires à la protection des populations. La campagne de recensement des carrières, des tronçons de pistes revêtues de serpentinite et des aménagements en zones potentiellement amiantifères doit être étendue à tout le territoire.

Un volet innovant de ce programme de recherche financé par le Gouvernement de la Nouvelle-Calédonie consistait à juger de la pertinence de la méthode hyperspectrale pour la reconnaissance des roches amiantifères. Ce travail a montré que l'identification et la cartographie des roches et des phases minérales amiantifères par télédétection ne pouvaient être envisagées qu'à partir de données hyperspectrales de très bonne qualité, à haute résolution spectrale et spatiale (par acquisition aéroportée) [*Maurizot 2009a*].

Enfin, l'évaluation de la part des différents facteurs de risque d'exposition à l'amiante environnemental en Nouvelle-Calédonie ne peut se faire qu'au travers d'une étude comparant les zones comportant des cas de mésothéliome avec les zones sans cas. Les résultats de ce travail, initié grâce à un financement du Ministère de l'Outre-Mer, sont présentés au chapitre suivant.

Chapitre 6. Analyse des clusters et étude écologique des déterminants environnementaux du mésothéliome malin

« Les statistiques sont vraies quant à la maladie et fausses quant au malade; elles sont vraies quant aux populations et fausses quant à l'individu »

Léon Schwartzenberg (1923-2003)

6.1. Objectifs des travaux

L'objectif principal de nos travaux était d'analyser les clusters du mésothéliome malin pleural en NC, ainsi que les associations entre la maladie et les sources possibles d'exposition environnementale à l'amiante mises en évidence lors des enquêtes précédentes. Pour cela, l'étude éco-épidémiologique a été étendue à l'ensemble des tribus d'un large secteur d'étude (*figure 41*), à la fois dans celles où le mésothéliome a été enregistré et dans celles indemnes de cas.

6.2. Matériels et Méthodes

Cas inclus et secteur d'étude

Tous les cas de mésothéliome malin pleural diagnostiqués en Nouvelle-Calédonie de 1984 à 2008 inclus ont été identifiés au registre du cancer NC, soit 109 cas. L'histoire résidentielle et professionnelle des cas a été reconstruite à l'aide d'investigations épidémiologiques menées sur le terrain et décrites dans les chapitres précédents. Cinq cas ont été exclus car ils ne vivaient pas en Nouvelle-Calédonie durant la période possible d'exposition.

Un secteur d'étude a été défini (*figure 40*), qui incluait les communes avec les plus forts taux d'incidence du mésothéliome calculés sur la période 1984-2003, et les trois unités géologiques potentiellement amiantifères. Ce secteur inclut toutes les tribus,

avec ou sans cas de mésothéliome, des communes de Houaïlou, Bourail, Poya, Koné, Poindimié, Touho et Hienghène, soit 100 tribus.

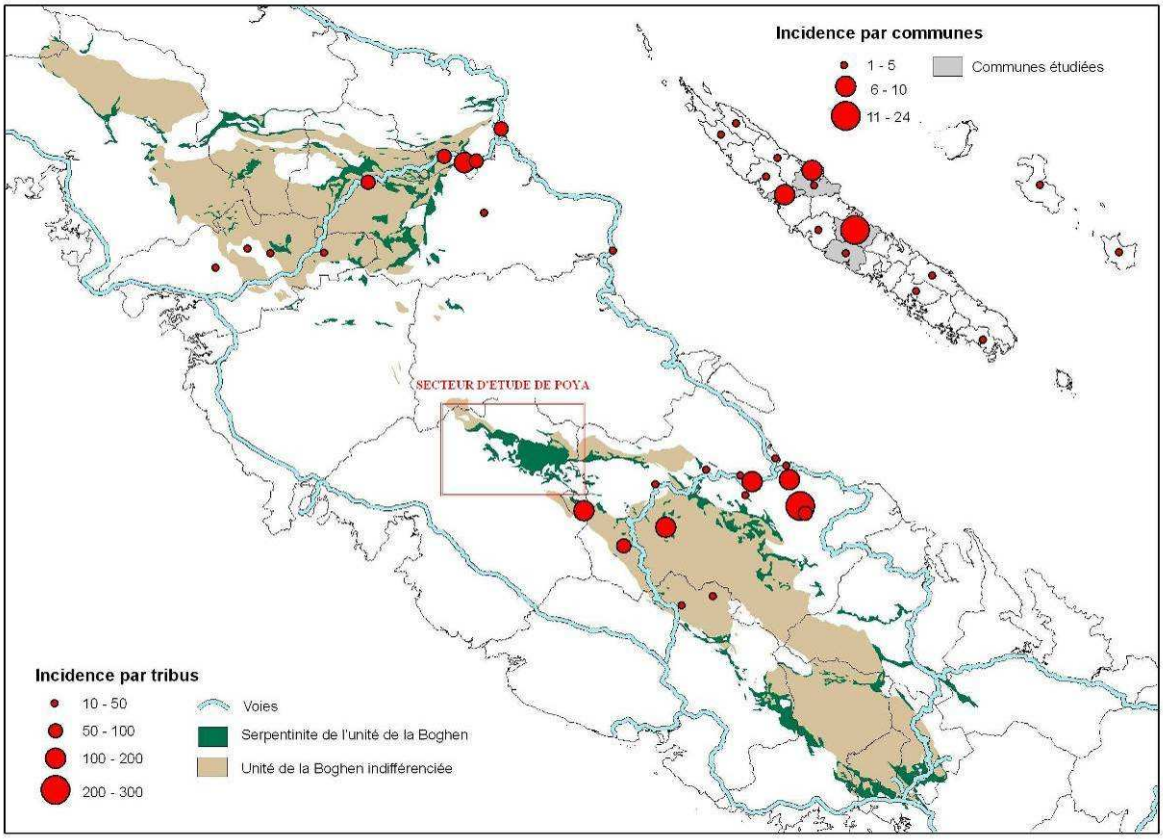


Figure 41 – Carte de la région centrale de la Grande Terre, incidences brutes par tribu du mésothéliome malin pleural pour les communes de Koné, Touho, Poindimié, Houailou et Bourail, et incidences standardisées par commune, 1984-2003, pour 100 000 personnes année

Enquêtes géologiques et environnementales

Les investigations ont été décrites dans les chapitres précédents. Elles ont été élargies aux 100 tribus du secteur d'étude. Nous avons également utilisé les données des recensements de carrières et sites aménagés amiantifères réalisés par le service de la Géologiede la DIMENC [*Geoimpact 2007, 2008a, 2008b, Ingémines 2008 et 2009, Sévin 2009*]. La description des résultats géologiques a été rédigée en collaboration avec les géologues.

Dans chaque tribu du secteur d'étude les anciens ont été interrogés sur la pratique du *Pö* : nature du matériau et période d'utilisation. Des échantillons ont été collectés sur les maisons existantes et dans les sites d'extraction, et analysés.

Les analyses minéralogiques, décrites dans le chapitre précédent, ont été menées sur 486 échantillons de roches ou de *Pö*, afin de vérifier la présence et la nature des fibres d'amiante. Tous les échantillons sont été examinés au MOLP (microscope optique à contraste de phase). Pour des raisons économiques, nous n'avons pu réaliser les analyses minéralogiques aux rayons X et en microscopie électronique (MEBA ou META) que sur 94 échantillons choisis. Sur les échantillons restants, 97 étaient négatifs au MOLP ; pour les 277 autres échantillons, la microscopie optique, couplée aux observations de terrain et aux connaissances acquises grâce aux analyses précédemment réalisées, était suffisante pour déterminer la nature probable de l'amiante.

Description des données

L'unité d'étude choisie est la tribu, unité géographique qui correspond le mieux à l'échelle des données environnementales étudiées. En effet c'est à l'échelle de la tribu que ces données sont le plus homogènes (géologie, pente, utilisation du *Pö*, végétation, etc). Les données décrites ci-dessous ont donc été recueillies pour chaque tribu étudiée.

Fréquence et incidence du mésothéliome

Le nombre de cas, l'incidence brute et l'incidence standardisée sur l'âge à la population mondiale ont été calculés avec leurs intervalles de confiance à 95%, sous l'hypothèse que la maladie suit une loi de Poisson. Tenant compte de la durée de latence du mésothéliome, ces calculs ont été réalisés selon deux méthodes d'attribution du lieu de résidence :

- la résidence de plus longue durée, à condition que celle-ci ait eu lieu au moins 20 ans avant la date du diagnostic,
- la résidence pendant la trentième année avant la date du diagnostic.

Les données de population utilisées sont issues des recensements de 1983, 1989, 1996 et 2004 [*INSEE-ITSEE 1976 à 2004*].

Présence de serpentinite et son utilisation

Pour chaque tribu nous avons recherché la présence ou non de serpentinite sur route, soit utilisée comme matériau de recouvrement, soit présente dans le talus et débordant sur la chaussée.

La distance entre la tribu et la plus proche carrière de serpentinite par la route a été calculée, ainsi que le nombre de carrières de serpentinite dans un rayon de 20 km autour de la tribu. Ce rayon de 20 km a été choisi car il correspond à la distance approximative d'influence d'une carrière, telle qu'elle nous a été indiquée par le service des Mines et Carrières de la DIMENC. Au-delà de cette distance, le transport de matériaux n'est plus économique.

Données minéralogiques

A partir des données d'analyse minéralogiques des différents échantillons de roches prélevés dans les talus, carrières et autres affleurements, nous avons la noté pour chaque tribu la présence de fibres et leur nature lorsqu'elle était définie : chrysotile, antigorite et trémolite-actinolite.

Nature et historique du *Pö*

Selon le résultat de l'analyse minéralogique, le *Pö* de chaque tribu a été classé dans l'une des trois catégories suivantes : trémolitique (contenant des fibres), non trémolitique, ou partiellement trémolitique si une partie de la tribu utilisait du *Pö* trémolitique et l'autre non.

La période d'utilisation du *Pö* trémolitique dans la tribu a été étudiée à partir de deux variables :

- utilisation postérieure à 1970
- nombre d'années d'utilisation depuis 1940.

Nous avons également utilisé les données du recensement des habitations à *Pö* trémolitiques initié en 1997 [*DPASS-PS 2001*].

Activité minière

Un « facteur mine » reflétant l'influence de l'activité minière sur chaque tribu a été construit selon la formule f = T x W / D / 1000 tel que :

- T est le tonnage de minerais de nickel extrait de 1940 à 1980
- W est un coefficient compris entre 0 et 1 pondéré par la rose des vents, d'après la direction du massif minier par rapport à la tribu (*cf carte 3 dans l'article en fin de ce chapitre*)
- D est la distance entre le centre de la tribu et le bord du massif le plus proche.

Autres données environnementales

Toutes les données ont été intégrées dans le système d'information géographique ArcGis version 9.02 (ESRI). Ce SIG a été utilisé pour calculer de façon automatique :

- la surface de serpentinite dans un rayon de 5 km autour du centre de chaque tribu,
- la distance entre le centre de la tribu et la carrière de serpentinite la plus proche,
- la proximité des bordures des massifs miniers avec chaque tribu,
- la couverture végétale de chaque tribu, d'après les données de l'Atlas de Nouvelle-Calédonie [*Morat 1978*]. Quatre catégories ont été relevées dans l'environnement tribal : le « bush », la savanne, la forêt dense et le maquis minier dense. Les deux premières catégories ont été regroupées sous l'appellation « végétation non dense » et les deux dernières sous l'appellation « végétation dense ».
- la pente moyenne et la courbure sur une surface de 1km² autour de chaque tribu afin d'approcher la notion de relief et d'étroitesse des vallées,
- la distance au littoral, permettant de distinguer un mode de vie côtier de celui des tribus situées dans la Chaine,
- la distance à la route principale. La route principale a été définie comme étant l'ensemble des routes territoriales et provinciales qui font le tour de la Grande Terre et les deux principales transversales du secteur d'étude : Koné-Tiwaka et route du Col des Roussettes.

Analyses statistiques

Des analyses de clusters spatiaux, temporels et spatio-temporels ont été réalisées afin de détecter les secteurs et les périodes associées avec un risque significativement plus élevé de mésothéliome. J'ai utilisé pour cela la méthode de scan statistique de Kulldorff, qui teste les clusters possibles à l'aide de techniques du maximum de vraisemblance [*Kulldorff 1997, 2006 et 2009*]. Le sexe et l'âge ont été considérés comme covariables, et le seuil de significativité a été fixé à 95% et évalué par 999 simulations de Monte Carlo. Ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel SaTScan version 8.2.1 [*Aamodt 2006, Clayton 1993, Duczmal 2006, Fukuda 2005, Ozonoff 2005, Pollock 2006, Sheehan 2005, Tango 2005*].

Pour les analyses statistiques uni et multi variées, chaque tribu ayant moins de 50 habitants recensés en 1989 a été regroupée avec la tribu voisine, à condition que celle-ci se trouve dans la même vallée ou à moins de 5 km sur le même littoral, dans

le même contexte géologique. Les associations entre les estimateurs des expositions et le mésothéliome ont été analysées selon deux méthodes : les tribus avec cas ont été comparées avec les tribus sans cas de mésothéliome en calculant les odds ratios (OR), puis la régression de Poisson a été utilisée afin de calculer les ratios de taux d'incidence (IRR). La première méthode est plus puissante pour détecter un facteur significatif, alors que la seconde permet de tenir compte de l'importance de l'incidence et d'estimer l'influence linéaire d'un facteur sur l'incidence. Pour montrer le lien entre le risque d'incidence et chaque variable discrète, les taux d'incidence standardisés (ASR) sont rapportés en prenant la catégorie la moins exposée pour les facteurs de risque, et la catégorie la plus exposée pour les facteurs protecteurs.

Les variables continues ont été catégorisées en terciles dans un 1er temps. Si deux classes contigües étaient comparables, la variable était alors divisée en deux catégories. Afin d'augmenter la puissance des calculs, les analyses multivariées ont été conduites sur des variables dépendantes, catégorisées en deux classes.

Les moyennes ont été comparées par le test t de Student, variante Welch quand le test d'égalité des variances de Welch était significatif, et par le test de Kruskall-Wallis pour comparer plus de deux groupes. Les pourcentages ont été comparés avec le Khi² de Pearson ou le test de Fisher exact quand les effectifs théoriques étaient petits (< 5). Les tests statistiques utilisés pour comparer les taux d'incidence sont basés sur la convergence de la distribution de Poisson vers la distribution normale. L'adéquation de la distribution observée avec une distribution de Poisson a été vérifiée par le Xhi² de conformité.

Les analyses multivariées ont été réalisées à l'aide de la régression logistique et de la régression de Poisson, en utilisant la méthode pas à pas descendante, et en incluant toutes les variables ayant une p-value < 0.25 dans les analyses univariées. Toutes les interactions ont été vérifiées par le test du ratio de vraisemblance; les interactions les plus significatives ont été inclues dans le modèle logistique multivarié. Les corrélations ont été testées; lorsque deux variables étaient fortement corrélées (r > 0,7), seulement l'une d'elles était inclue dans le modèle de régression multiple de Poisson.

Les OR et les IRR sont donnés avec leurs intervalles de confiance à 95%. Les tests sont bilatéraux, et. le seuil de significativité a été fixé à 5 % ($p \leq 0.05$). Les calculs

statistiques ont été réalisés avce les logiciels R et Stata SE version 8. 0 (StataCorp, College Station, Texas, USA).

6.3. Environnement géologique du secteur d'étude

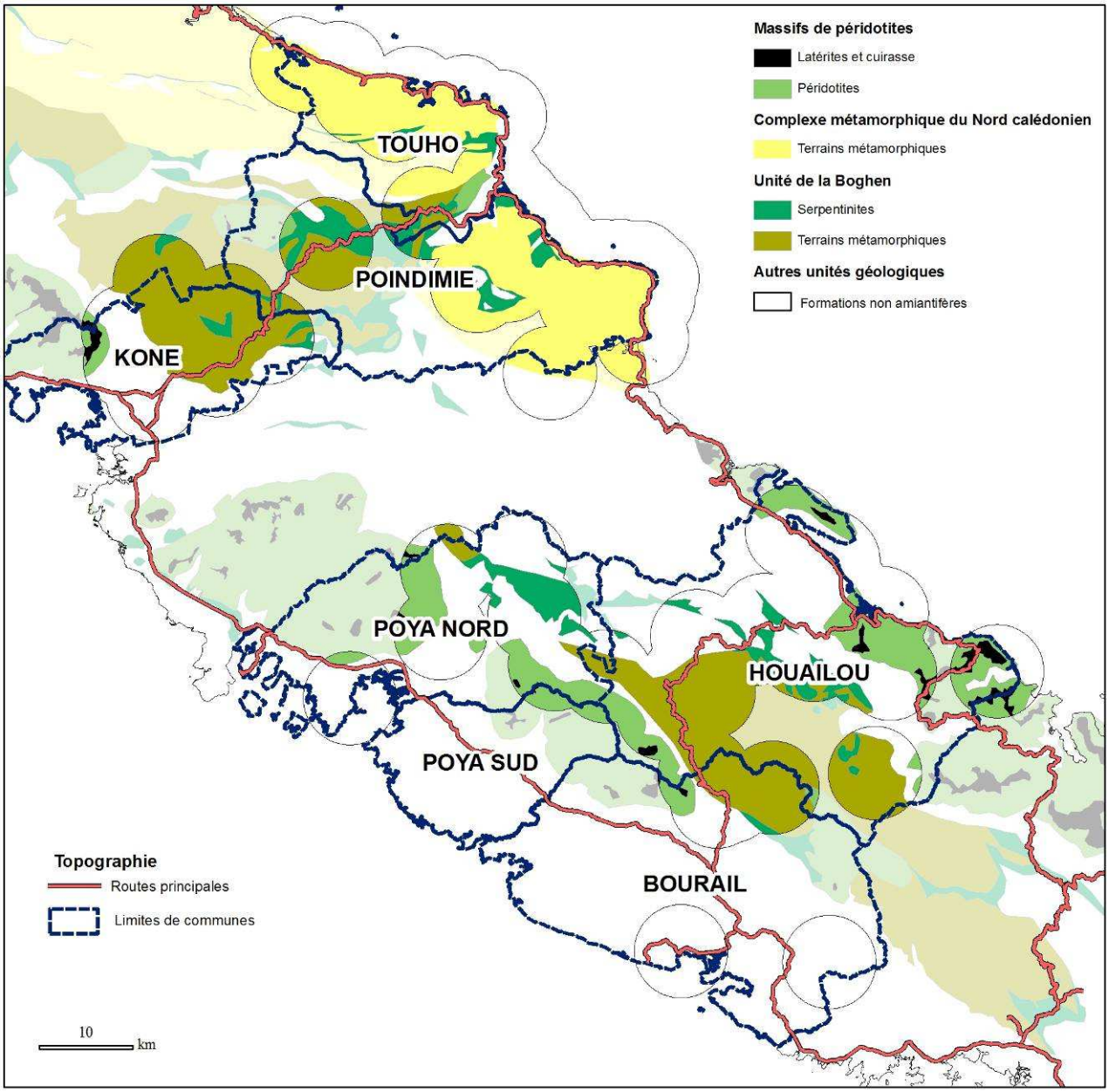


Figure 42 - Principales unités géologiques de la zone d'étude et zone d'influence de 5 km autour des tribus (fond géologique, carte à 1 / 1 000 000 - BRGM-DIMENC).

Les périmètres concernés par notre étude sont représentés sur la *figure 41* par une zone d'influence de 5 km centrée sur chaque tribu. Cette distance est arbitraire et son

propos n'est que d'illustrer l'influence du milieu naturel sans tenir compte de la dimension anthropique. Dans la pratique, l'espace de vie des personnes correspond plutôt à des unités morphologiques (vallées, littoral) pour les plus sédentaires, et s'étend à des radiales et transversales beaucoup plus importantes pour les plus "mobiles". L'agglomération de ces zones d'influence donne une idée des espaces de vie communs à l'ensemble des populations concernées.

Dans les deux zones, Houaïlou-Bourail-Poya d'une part et Koné-Touho-Poindimié d'autre part, la géologie s'organise de façon assez comparable et symétrique (*figure 42*). L'axe de la Grande-Terre ou Chaîne centrale est occupé par l'unité de la Boghen et ses filons de serpentinite associés, alors que dans les zones côtières NE et SW se développent les massifs de péridotites ou "massifs miniers", sièges des exploitations de nickel. Cette symétrie n'est pas complète pour la partie orientale de la zone Koné-Touho-Poindimié où les massifs miniers font défaut et sont remplacés par le complexe métamorphique du Nord calédonien. Ainsi trois unités géologiques fondamentales, potentiellement amiantifères, sont présentes dans les zones d'étude :

- l'unité de la Boghen.
- les massifs de péridotites.
- le complexe métamorphique du Nord calédonien.

La qualité des données géologiques et minéralogiques des zones étudiées est inégale mais en moyenne suffisante (*figure 42*). Dans le secteur de Houaïlou–Bourail-Poya, la cartographie géologique a été améliorée dans la dynamique des études lancées par le groupe de travail "amiante" [*Werner 2007, Géo-impact 2007 et 2008*]. Dans la région de Koné-Touho-Poindimié, en revanche, les levés n'ont pas été repris et datent de 1985 [*Maurizot 1985*]. La connaissance générale, typologique, sur les occurrences d'amiante est bonne, mais doit être améliorée dans le détail par des inventaires communaux. Ces inventaires systématiques et détaillés des occurrences d'amiante dans les zones aménagées ont été réalisés sur les communes de Houaïlou [*Géo-impact 2007 et 2008*], Bourail [*Géo-impact 2008*], Touho et Poindimié *[Ingémine 2008 et 2009*]. Ils étaient en cours sur la commune de Koné et à venir sur la commune de Poya au moment de notre étude [*Araucaria 2009*]. Outre ces inventaires exhaustifs, les deux zones ont fait l'objet de nombreuses reconnaissances géologiques et minéralogiques [*Picard 2004, Baumann et al. 2007, Lahondère 2007, Maurizot et al. 2008, Baumann et al. 2008, Lahondère 2009, Picard 2006*]. Toutes les données géo-

localisées sur l'amiante en Nouvelle-Calédonie sont intégrées dans un Système d'Information Géographique interopérable géré par le Service Géologique de la Direction de l'Industrie, des Mines et de l'Energie de Nouvelle-Calédonie (DIMENC). La plupart des données cartographiques figurées dans ce texte sont extraites de cette base de données géoréférencées.

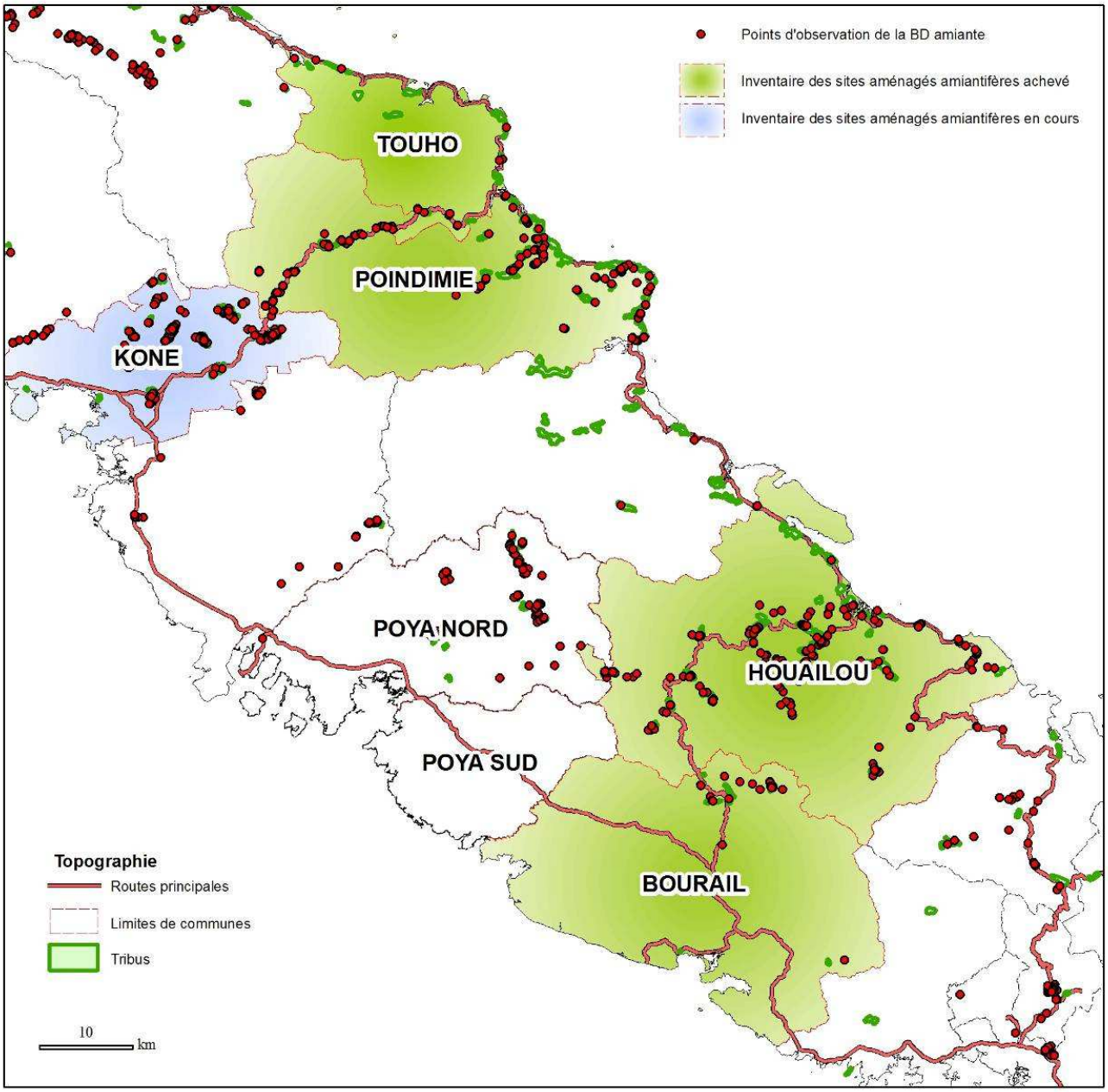


Figure 43 - Qualification de la donnée en termes de quantité et qualité dans la zone d'étude

L’unité de la Boghen

L'unité de la Boghen [*Aitchison* 1995] est constituée par des roches métamorphiques, principalement des micaschistes et des serpentinites, affleurant dans l'axe de la Chaîne centrale. Ces roches portent l'empreinte d'une déformation et d'un métamorphisme polyphasé complexes dont le chemin Pression-Température oscille au cours du temps entre le faciès « schiste vert » et le faciès « schiste bleu ». On peut y distinguer un ensemble ophiolitique (serpentinites, basaltes, cherts) qui représente le probable plancher océanique des sédiments [*Cluzel 1996*] et un ensemble méta-sédimentaire représenté par des micaschistes.

Les nombreuses lames de serpentinites associées à l'unité de la Boghen, qui partagent avec les micaschistes la même empreinte tectono-métamorphique, représentent dans ce schéma des lambeaux arrachés à un manteau supra-subduction. Elles sont les hôtes des occurrences d'amiante caractéristiques de l'unité. Les occurrences de trémolite (de la famille des amphiboles) s'y développent généralement à l'interface méta-sédiment - serpentinite, le sédiment ayant pu fournir le calcium qui entre nécessairement dans la composition spécifique de ce minéral.

L'exemple emblématique de Montfaoué où le *Pö* trémolitique a été mis en évidence [*Cluzel et Pelletier 1994*] est illustré dans la *planche photographique 4*. La trémolite se forme à l'interface micaschiste - serpentinite. Elle se transforme en amas de terre blanche caractéristiques au contact entre le sol végétal et la roche.

Un autre exemple est montré dans la *planche photographique 5*, au col de Nerin, dans une petite carrière régulièrement utilisée pour recharger la piste. Cette occurrence correspond à un niveau constitué essentiellement par des fibres de trémolite-amiante (*photographie 61, figure 43*), localisé sur uncontact faillé entre des serpentinites et les métasédiments de l’unité de la Boghen, produisant par altération des amas fibreux ou pâteux de terre blanche.

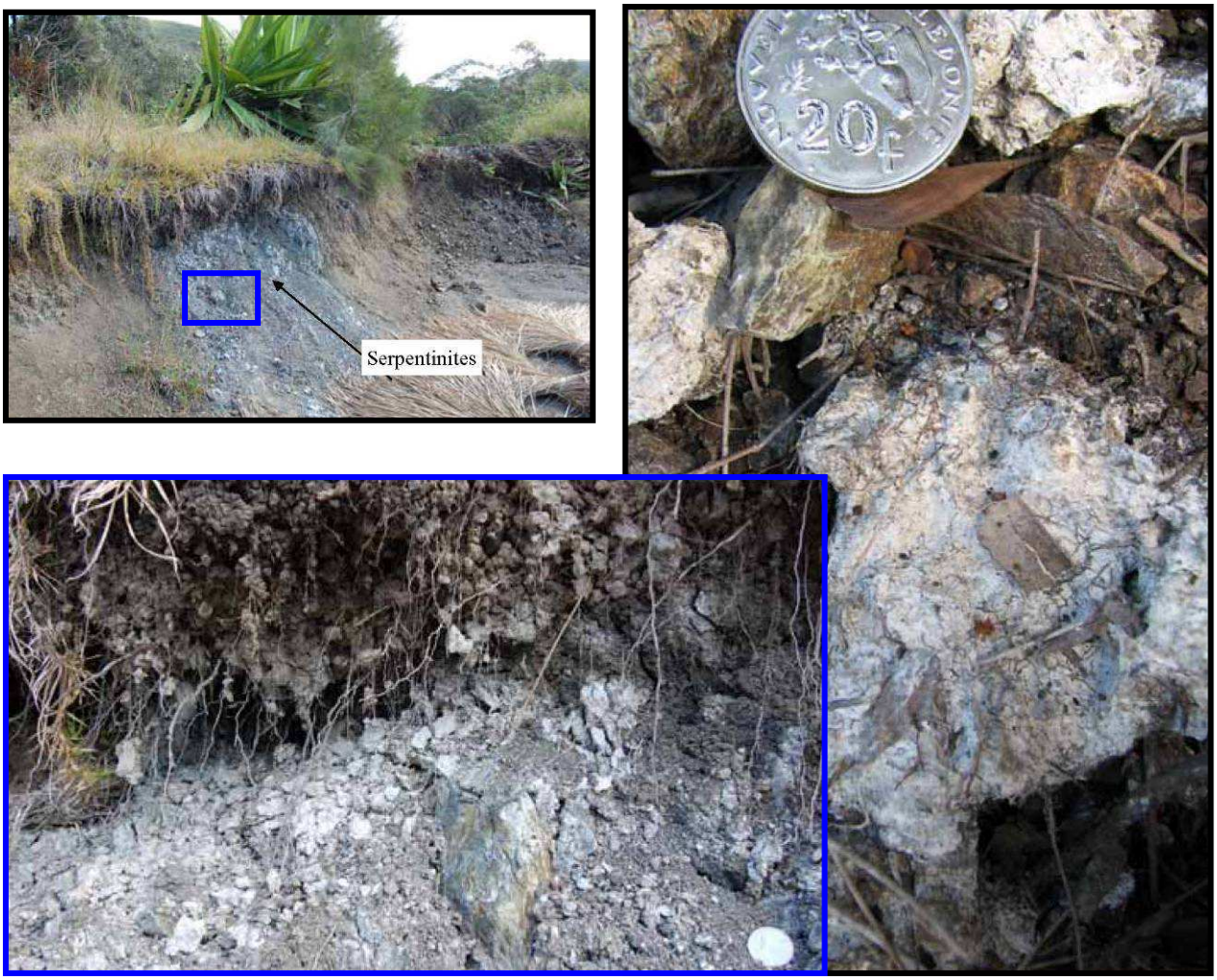


Planche photographique 4 - Occurrence de trémolite amiante à Montfaoué (talus de piste)

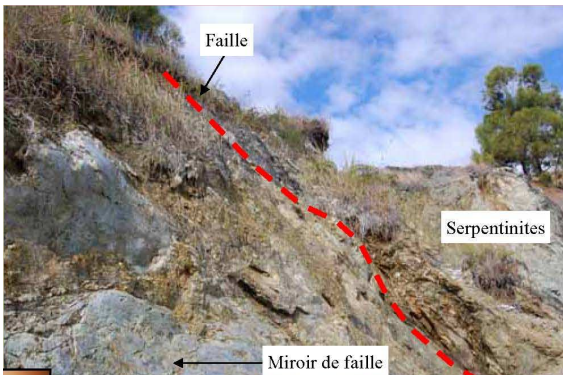
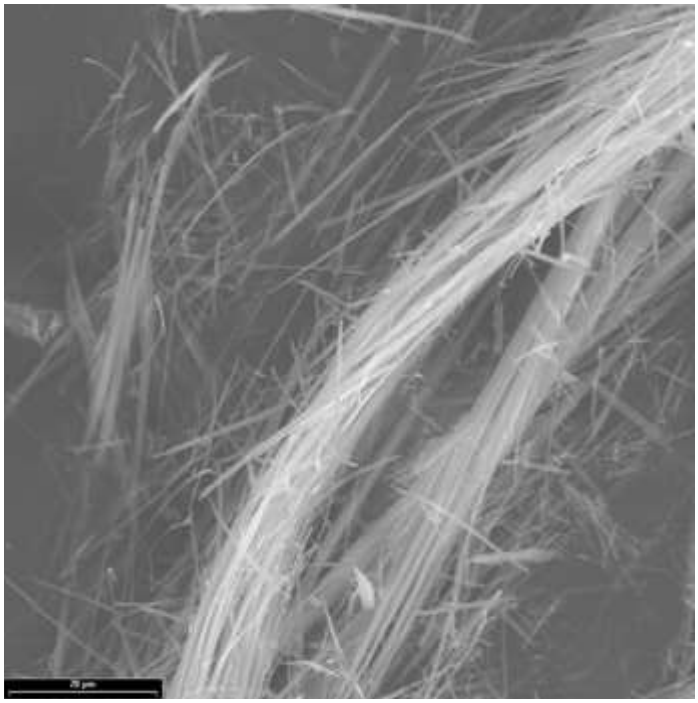


Planche photographique 5 - Occurrence de trémolite amiante au Col de Nerin (carrière en activité intermittente)



Photographie 61 - Image MEB de trémolite amiante de Nérin

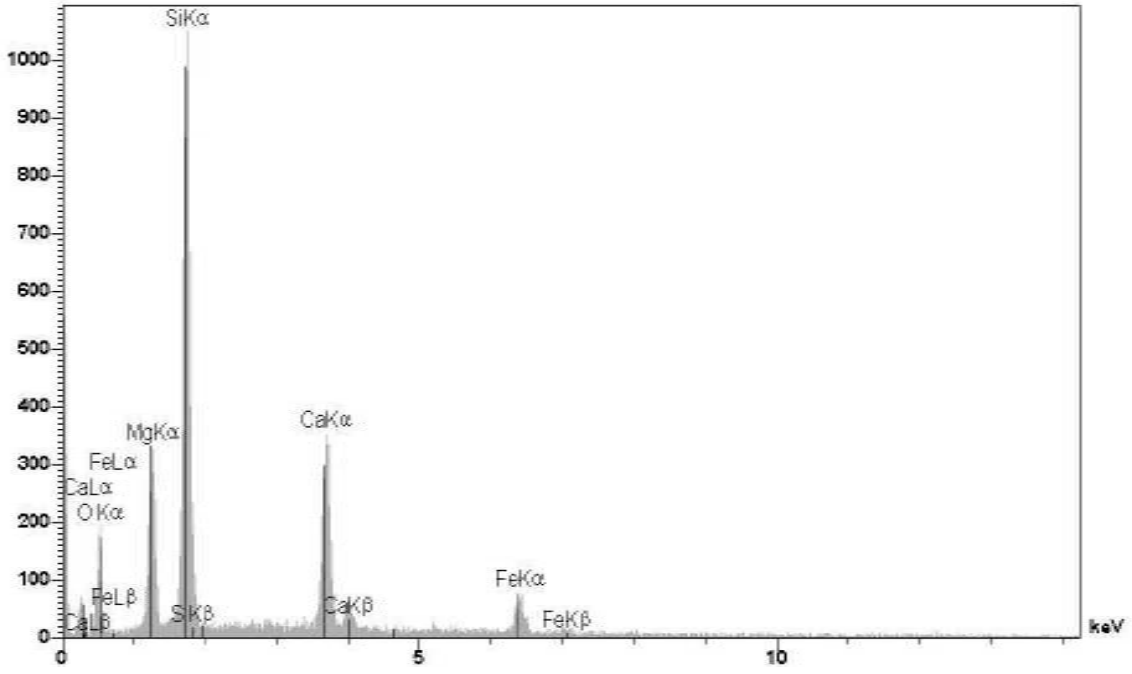


Figure 44 - Spectre EDS sur la trémolite amiante de Nérin

La nappe des péridotites

La nappe des péridotites [*Avias 1967*] qui occupe un tiers de la surface de la Grande-Terre est un élément fondamental dans le paysage géologique de la Nouvelle-Calédonie. Sa mise en place par obduction (chevauchement de manteau et de croûte océanique sur un domaine continental) date de l'Eocène (40 Ma). Les péridotites occupent toujours une position sommitale dans l'édifice géologique de la Grande-Terre et forment des massifs aux reliefs imposants, dominant toutes les autres unités.

Les péridotites sont souvent serpentinisées, à divers degrés. La serpentinisation peut être diffuse dans la masse, limitée à des plans de fracture (contexte fragile) ou apparaître de manière massive au niveau de grands accidents tectoniques (contexte ductile). Le principal d'entre eux est représenté par la semelle de base des massifs, d'épaisseur variable. Outre l'aspect mécanique lié à la déformation, la serpentinisation nécessite un apport de fluides, lesquels peuvent être en relation avec un cortège intrusif filonien. La semelle serpentineuse de base est souvent en connexion avec de nombreuses lames de serpentinite coincées dans le substrat, représentant autant d'écailles de manteau arrachées au toit de la plaque chevauchante. L'ensemble de ces accidents est potentiellement porteur de minéraux de type amiante.

Le phénomène d'altération en milieu tropical chaud et humide est particulièrement important sur les péridotites et conduit à la formation de profils latéritiques, cuirassés à leur sommet et à la base desquels se concentrent des minéralisations économiques en nickel et cobalt supergènes.

Trois types d'amiante ont été inventoriés dans les massifs de péridotite. Antigorite (*planche photographique 6*) et chrysotile (minéraux morphotypes différents, de la famille des serpentines, mais de composition chimique identique) sont présents dans les zones d'accidents serpentineux. La trémolite pourrait être liée à la présence du cortège filonien, seul élément pouvant expliquer l'apparition de minéraux calciques dans un tel contexte (*planche photographique 7*). Il est à noter que dans le substrat péridotitique et serpentineux "dur" non altéré, les fibres à l'état naturel sont maintenues dans la roche et ne peuvent être libérées que par des actions mécaniques. La dissociation des fibres par foisonnement et leur diffusion potentielle se fait naturellement dans les saprolites qui représentent les premiers stades

d'altération de la roche saine. Au-delà, dans les latérites où l'altération est encore plus importante, les fibres disparaissent théoriquement.

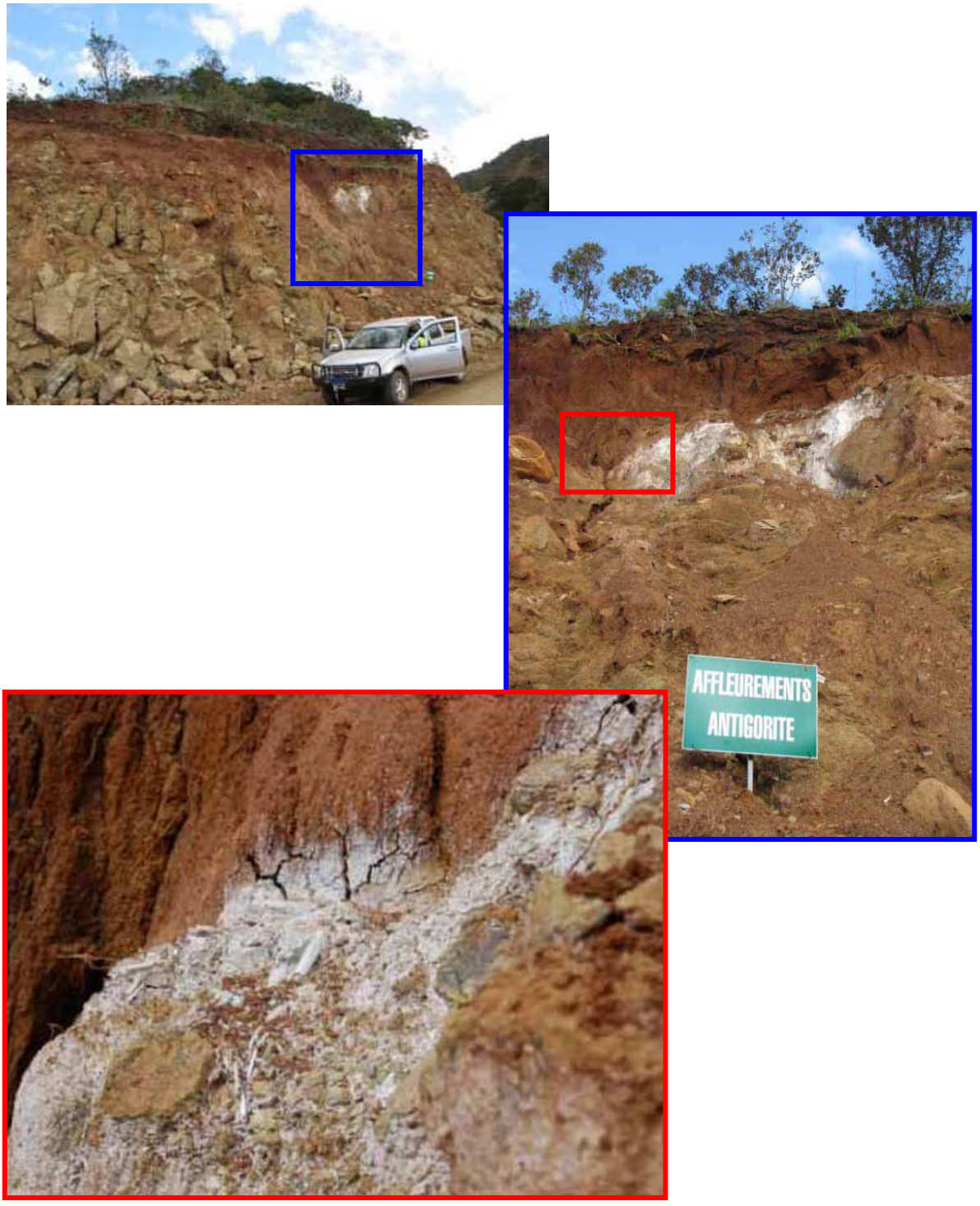


Planche photographique 6 - Occurrence d'antigorite amiante, mine Méa.

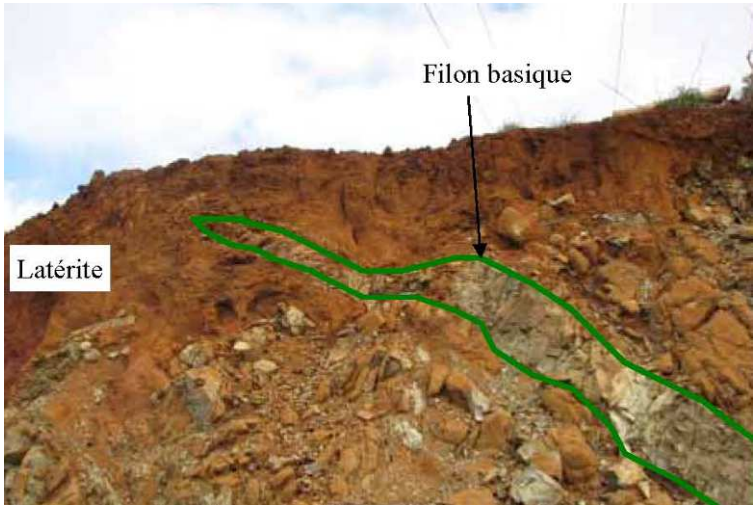


Planche photographique 7 - Occurrence de trémolite amiante en liaison avec un filon de gabbros, Col de N'go, Massif du Sud

Le complexe métamorphique du Nord calédonien

Le complexe métamorphique du Nord s'est formé par subduction d'un ensemble sédimentaire et volcanique sous la plaque Pacifique pendant le Paléogène. L'unité comprend des méta-sédiments transformés en micaschistes et gneiss (unité du Diahot) et un ensemble ophiolitique, mélange chaotique de blocs de roches basiques à matrice méta-sédimentaire ou serpentineuse (unité de Pouébo), transformé en éclogites et glaucophanites. Le chemin Pression-Température des deux unités décrit un mouvement tournant horaire prograde puis rétrograde entrainant pour l'unité de Pouébo un enfouissement jusqu'à 70 km de profondeur. L'âge du pic métamorphique est de 44 - 45 Ma. Le stade rétrograde ultérieur (entre 40 et 34 Ma) a provoqué des recristallisations dans les faciès "schistes verts". Dans ce complexe métamorphique les minéraux de type amiante sont restreints à l'unité de Pouébo et aux corps ultrabasiques associés. Les associations minérales du stade rétrograde final sont majoritairement représentées par la trémolite (*planche photographique 8)*.

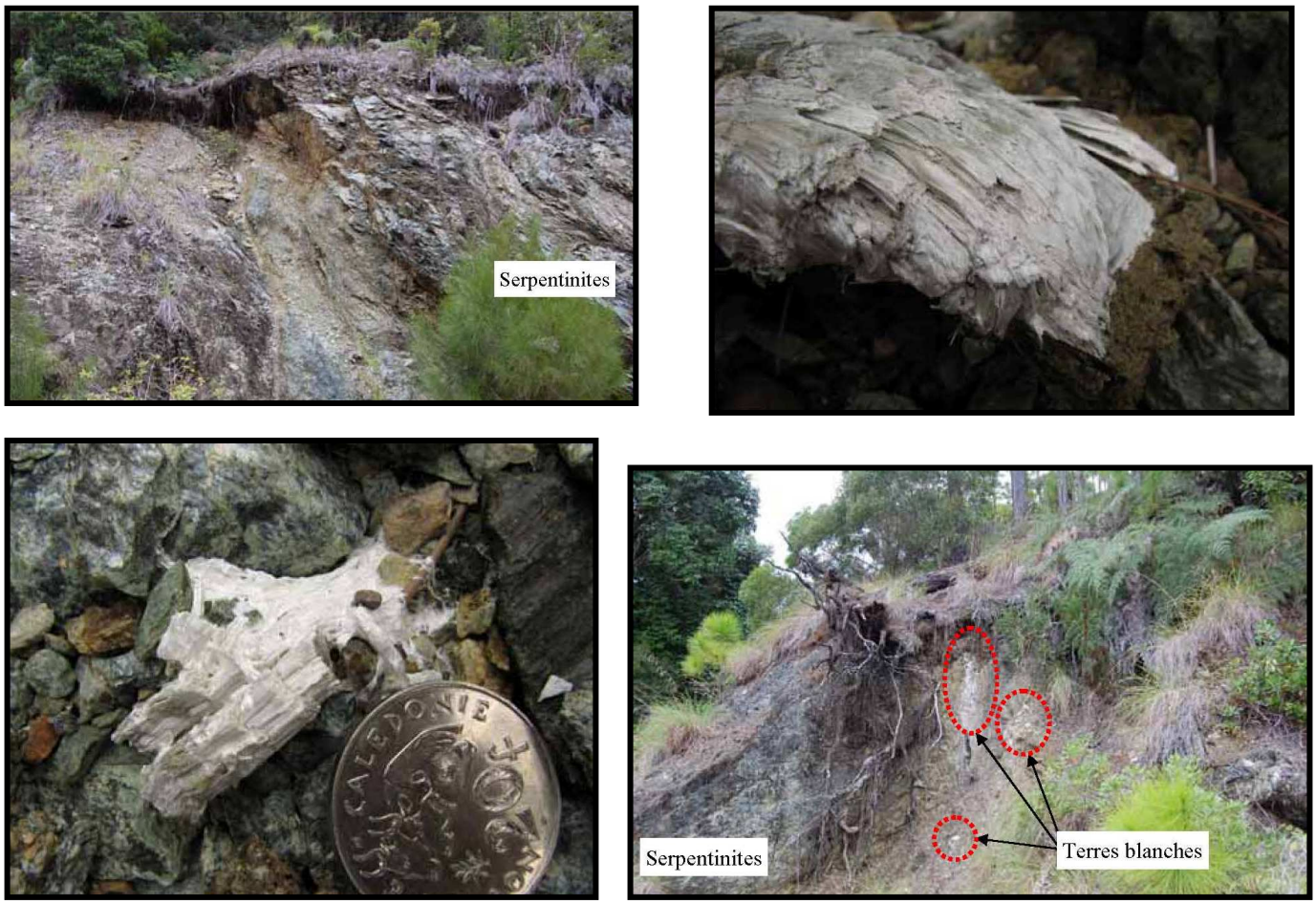


Planche photographique 8 - Occurrences de trémolite amiante et de chrysotile dans un mélange serpentinite/basalte, secteur de Tiéti, complexe métamorphique du Nord calédonien

Distribution générale des minéraux amiante en fonction du contexte géologique

La confrontation rapide des cartes géologiques et des données minéralogiques montre la prédominance des occurrences de trémolite liées aux filons de serpentinite de l'unité de la Boghen par rapport à des occurrences de chrysotiles sporadiques liées aux massifs de péridotite. Un examen plus attentif montre cependant la présence d'antigorite amiante ou de chrysotile dans les serpentinites de l'unité de la Boghen. Enfin les dernières études en cours ont également démontré la présence d'antigorite amiante ou de trémolite dans les massifs miniers [*Lahondère 2009*]. La réalité minéralogique des occurrences d'amiante est donc relativement complexe et le schéma simpliste « unité de la Boghen à trémolite et massif de péridotite à chrysotile » ne peut plus être appliqué systématiquement.

Les cartes présentées dans les *figures 44 à 47* présentées ci-après superposent à des cercles de 5 km autour des tribus avec présence du mésothéliome, la géologie, les cases à *Pö* trémolitique et les carrières de serpentinite recensées dans le secteur d'étude divisé en deux zones : Houaïlou-Bourail-Poya et Koné-Poindimié-Touho-Hienghène.

Photographie 62 – Route avec, en premier plan, un revêtement de serpentinite

6.4. Description et analyse des données

La superposition des données épidémiologiques, géologiques, minéralogiques et environnementales du secteur étudié est représentée dans les cartes des *figures 44 à 47*, en *annexe 8* et dans l'article « *Pleural Mesothelioma in New Caledonia: associations with environmental risk factors* **»** présenté à la fin de ce chapitre. Les données sont détaillées dans les tableaux de l'article et dans l'*annexe 7.* Les résultats de l'étude spatiale et temporelle du mésothéliome, ainsi que ceux des analyses statistiques uni et multivariées sont présentés dans l'article.

Région de Houaïlou - Bourail - Poya

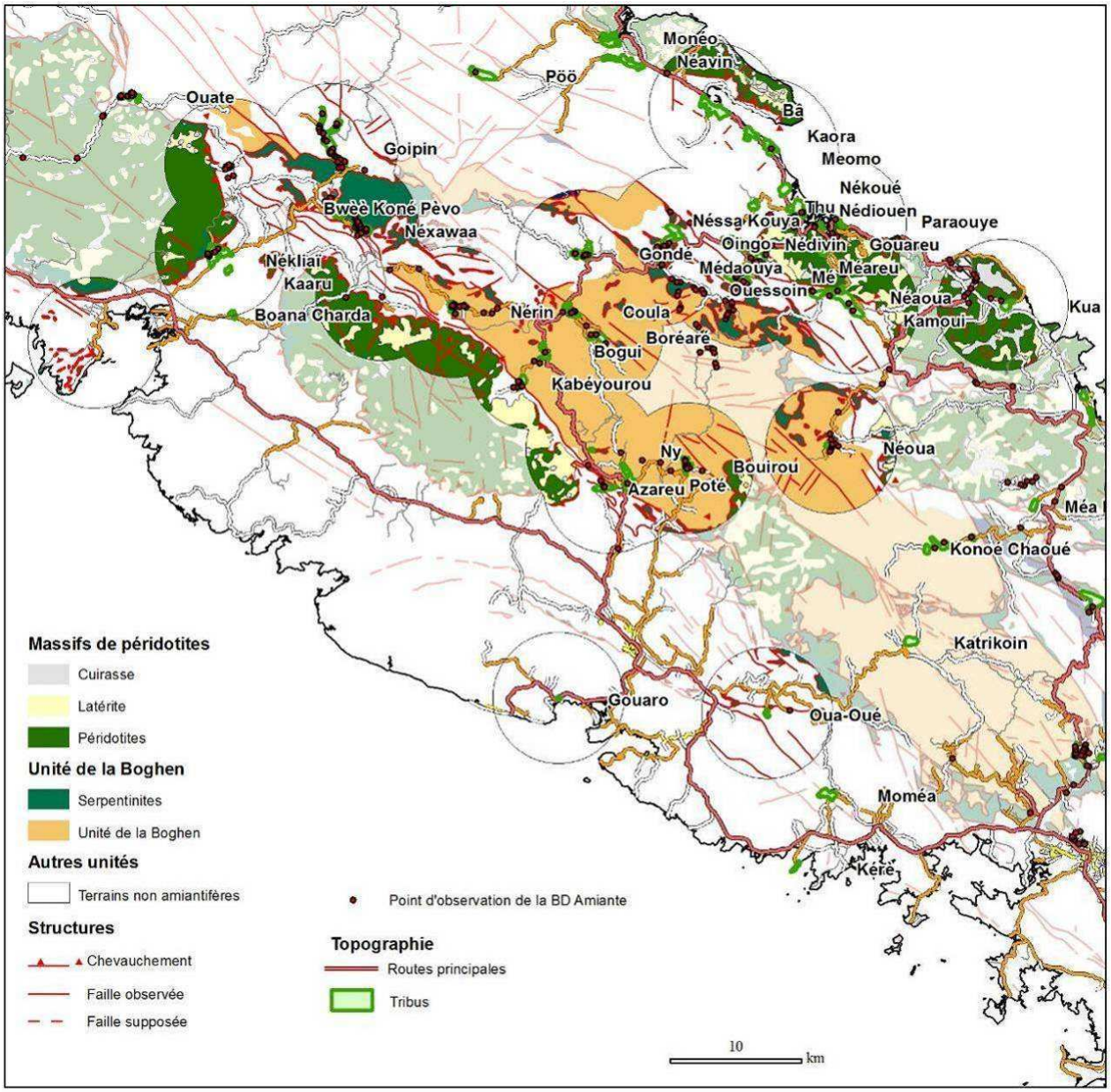


Figure 45 - Région de Houaïlou-Bourail-Poya : Eléments de géologie, topographie, toponymie.

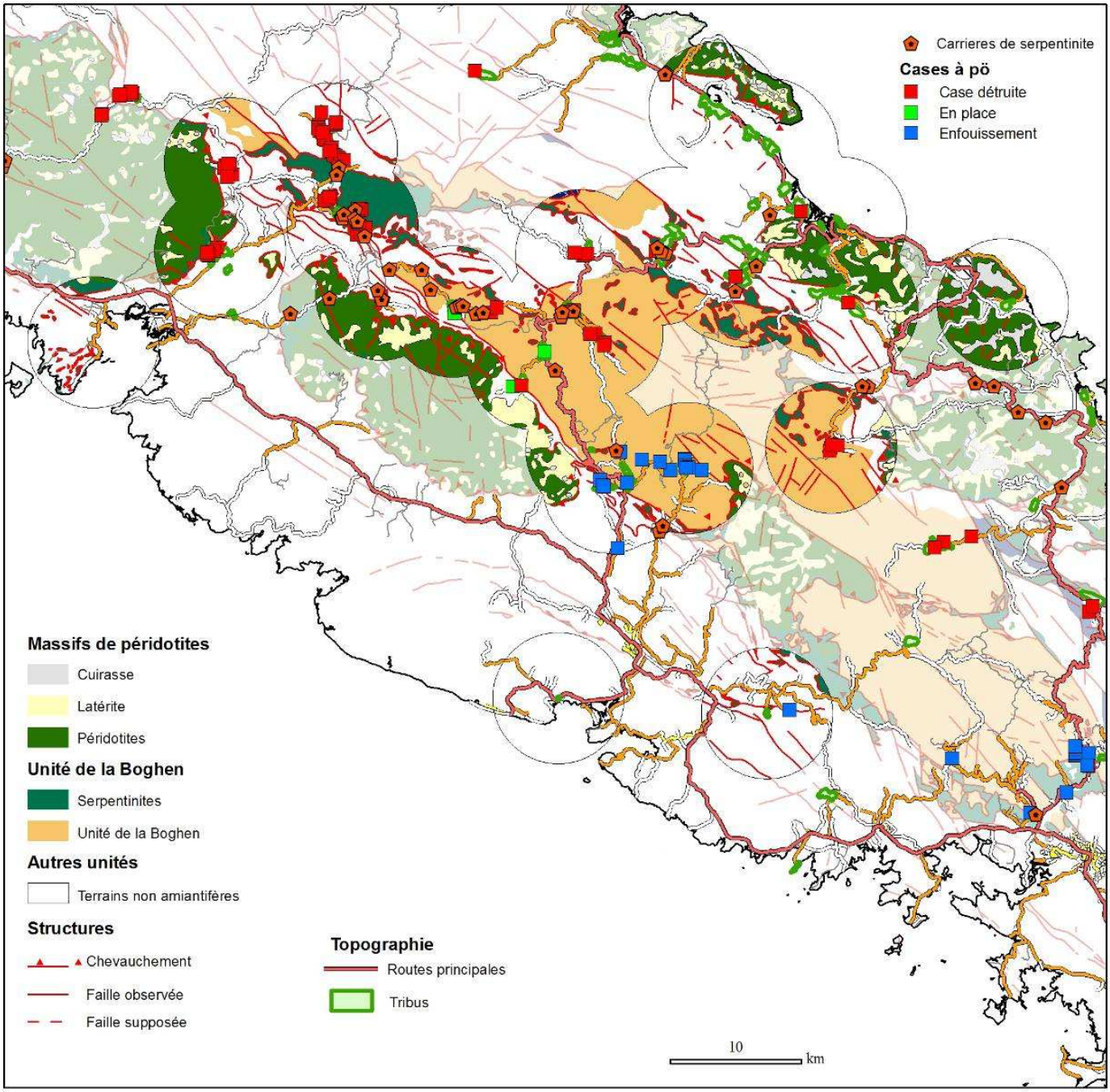


Figure 46 - Région de Houaïlou-Bourail-Poya : Cases à *Pö* trémolitique et carrières de serpentinite.

Région de Koné - Poindimié - Touho - Hienghène

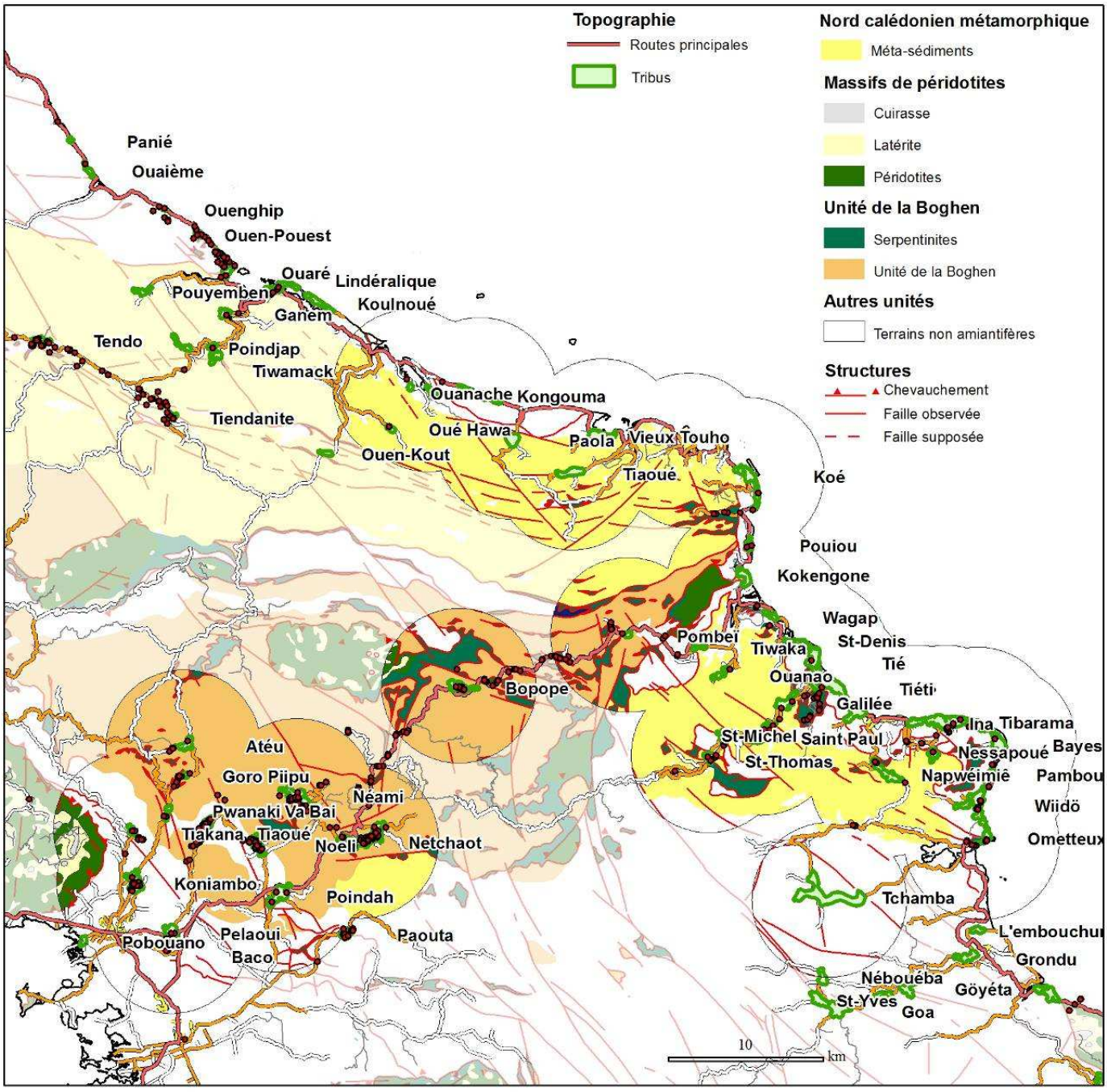


Figure 47 - Région de Koné-Poindimié-Touho-Hienghène : Eléments de géologie, topographie, toponymie.

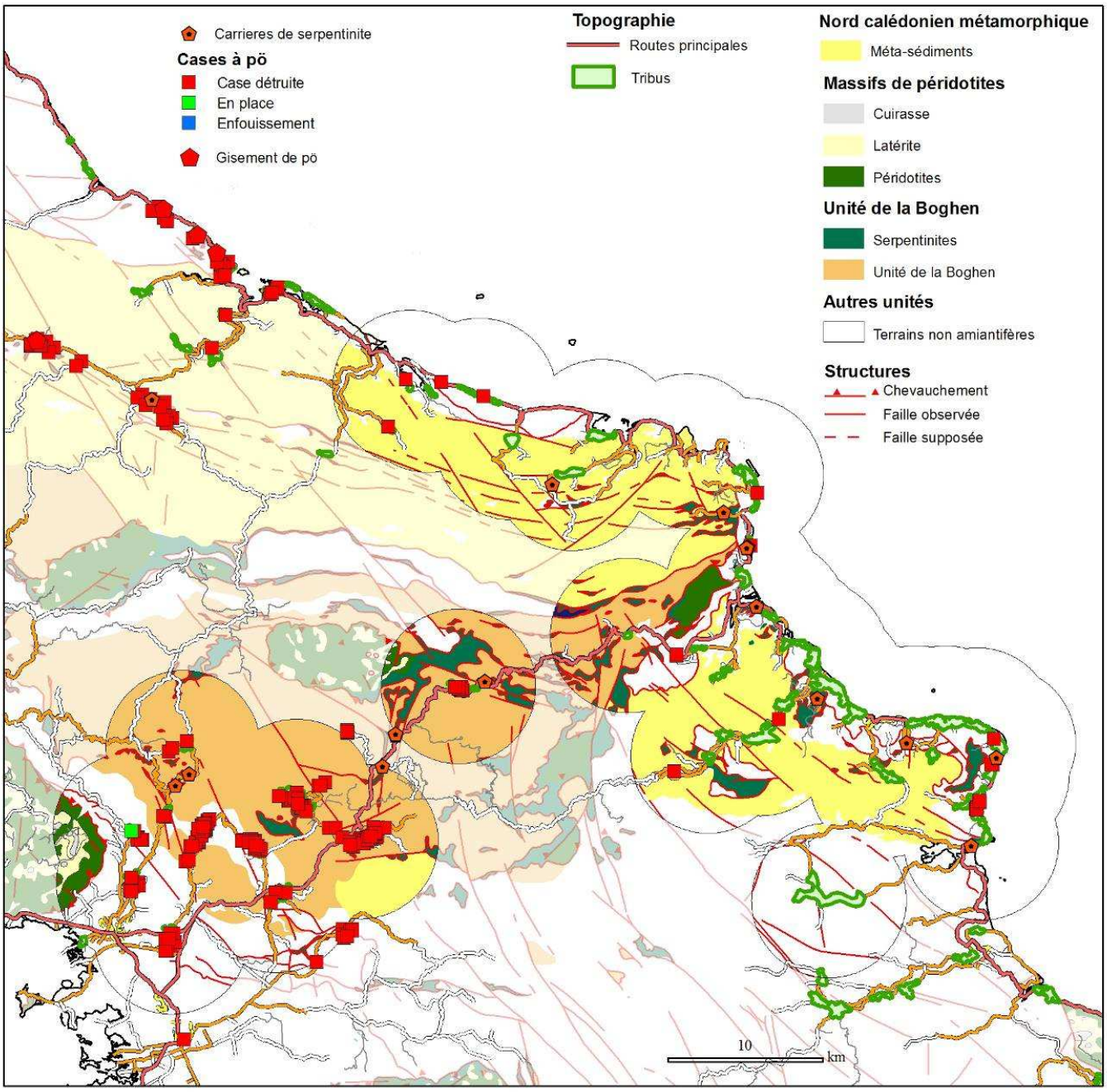


Figure 48 - Région de Koné-Poindimié-Touho-Hienghène: Cases à *Pö* trémolitique et carrières de serpentinite

Analyses statistiques

Les principaux résultats des analyses spatiales montrent un cluster significatif autour du village de Houaïlou, regroupant 18 tribus (p=0,001). Deux autres clusters, non

significatifs, ont été retrouvés à Koné et à Poindimié. Aucun cluster temporel n'a été mis en évidence (*cf article pages suivantes*).

Les analyses écologiques ont identifié la présence de serpentinite sur les routes comme étant le principal facteur de risque environnemental pour le mésothéliome, avec un odds ratio très élevé : OR = 495.0, 95% CI [46.2 – 4679.7] et IRR = 13.0, 95% CI: [10.2-16.6]. Le risque de mésothéliome croit avec la surface de serpentinite, la proximité avec les carrières de serpentinite et la proximité avec les massifs de péridotite. L'association avec la maladie est plus forte pour les serpentines, en particulier la présence d'antigorite, que pour les amphiboles. Une forte pente, ainsi qu'une couverture végétale dense, apparaissent comme des facteurs protecteurs. L'utilisation du *Pö* trémolitique, qui avait été dénoncée dans une étude précédente comme étant la principale responsable du mésothéliome en Nouvelle-Calédonie, n'est pas associée avec l'incidence de la maladie.

6.5. Conclusions

Notre étude montre que l'utilisation de serpentinite pour encaillasser les routes représente un facteur d'exposition majeur à l'amiante. A l'état naturel la serpentinite ne représente pas un danger en soi lorqu'elle est recouverte par la végétation. Elle le devient quand elle est mise à nu, écrasée et libère ainsi les fibres dans l'air respiré par les populations. Il est donc urgent de terminer le recensement des nombreuses carrières de serpentinite en Nouvelle-Calédonie, d'en interdire l'utilisation et de recouvrir ces carrières avec une terre qui permettrait à la végétation de se développer et de jouer son rôle protecteur. De la même façon, les autorités devraient prendre au plus tôt les mesures nécessaires afin que les routes encaillassées avec la serpentinite soient rendues inoffensives par le recouvrement avec un matériau non amiantifère.

Nos travaux montrent également que l'antigorite, qui ne figure pas sur la liste des « amiantes » officiels, peut produire des fibres par altération et devenir dangereuse pour la santé humaine. Pour mieux comprendre le risque représenté par les sources naturelles d'amiante, il serait nécessaire de réaliser des études sur la potentialité de ces sources à libérer des fibres, ainsi que sur la nature et les dimensions de ces fibres, relativement à la présence de maladie.

Title: Pleural Mesothelioma in New Caledonia: associations with environmental risk factors

Authors:

Francine Baumann[1]

Pierre Maurizot[2]

Morgan Mangeas[3]

Jean-Paul Ambrosi[4]

Jeroen Douwes[5]

Bernard Robineau[6]

Institution: Université de la Nouvelle-Calédonie, ERIM, B.P. R4, 98851 Nouméa Cedex, New Caledonia

Affiliations:

1. Université de la Nouvelle-Calédonie, ERIM [EA3791], Noumea, New Caledonia
2. Bureau de la Recherche Géologique et Minière, Noumea, New Caledonia
3. Institut de Recherche pour le Développement, US140 ESPACE, Noumea, New Caledonia
4. CEREGE, Aix Marseille University, CNRS, Collège de France, Aix-en-Provence, France
5. Centre for Public Health Research, Massey University, Wellington, New Zealand
6. Service Géologique, DIMENC, Noumea, New Caledonia

Corresponding author: Francine Baumann, Institut de Recherche pour le Développement, US140 ESPACE, BP A5, 98848 Noumea cedex, New Caledonia. Tel: (687) 26 08 32. Fax: (687) 26 43 26. E-mail: fbaumann@live.fr

Running title: Mesothelioma Environmental factors in NC

Keywords: antigorite, asbestos, cluster analysis, ecological study, environment, mesothelioma, New Caledonia, serpentinite.

Abbreviations and definitions:

ASR age standardized incidence rates

CI confidence interval

IRR incidence rate ratios

MM malignant mesothelioma

NS non significant

OR odds ratio

PLM polarized light microscopy

TEM transmission electron microscopy

Pö local name for white soil used to whitewash the walls of houses

Acknowledgments: We thank the pathologists Dr Y Rougier and Dr V Rouleau, the lung specialists and the doctors of the dispensaries for their contributions,O Grauby (CRMCN, CNRS) for providing scanning electrin microscopy facilities, and John Bell for his assistance in the English writing. We are grateful to the local and tribal authorities of Houaïlou, Bourail, Poya, Koné, Touho, Poindimié and Hienghène for helping us to collect informations.

Grant support: This work was supported by grants from the French Ministry of Overseas Territories and from the Government of New Caledonia. The funding sources had no role in the study design, data collection, data analysis, or interpretation of the findings.

Competing financial interest declaration: The authors declare no competing financial interests

Abstract

BACKGROUND: High incidences of malignant mesothelioma (MM) have been observed in New Caledonia. Previous work showed an association between MM and soil containing serpentinite.

OBJECTIVES: To study the spatial and temporal variation of MM and its association with environmental factors.

METHODS: All 109 MM cases recorded in the Cancer Registry of New Caledonia between 1984 and 2008 were investigated. Spatial, temporal and space-time cluster analyses were performed. We conducted an ecological analysis involving 100 tribes over a large area including those with the highest incidence rates. Associations with environmental factors were assessed using logistic and Poisson regression analyses.

RESULTS: The highest incidence was observed in the Houaïlou area with a world age standardised rate of 128.7 per 100,000 person-years; 95%CI: 70.41–137.84. A significant spatial cluster grouped 18 tribes (31 observed cases *vs* 8.12 expected cases, p=0.001), but no significant temporal clusters were identified. The ecological analyses identified serpentinite on roads as the greatest environmental risk factor: odds ratio = 495.0, 95%CI: 46.2–4679.7; multivariate incidence rate ratio = 13.0, 95%CI: 10.2-16.6. The risk increased with serpentinite surface, proximity to serpentinite quarries and distance to the peridotite massif. The association with serpentines was stronger than for amphiboles. Living on a slope and close to dense vegetation appeared protective. The use of whitewash, previously suggested to be a risk factor, was not associated with MM incidence.

CONCLUSIONS: Presence of serpentinite on roads is a major environmental risk factor for mesothelioma in New Caledonia.

Introduction

Malignant mesothelioma (MM) is a rare and fatal tumor of the pleura, with a worldwide annual incidence of one or two cases per million inhabitants. The incidence has increased since the 1950s in males in regions where asbestos was mined or industrially used (MacDonald and MacDonald 1986). Inhalation of asbestos fibres is the only established causal factor for MM (Merler and Chellini 1992). MM may also occur after exposure to erionite fibres (Baris et al. 1979), or to fluoro-edenite fibres (Putzu et al. 2006). The risk of MM increases with level and duration of exposure (Cugell and Kamp 2004), with a median latency period of 30-40 years (Montanaro et al. 2003). Incidence rates range 1.2 to 9 times higher in men than in women, due to occupational exposure (Ross and McDonald 1995).

MM has been associated with domestic exposure in family members of asbestos workers (Ferrante et al. 2007), and environmental exposure (Hillerdal 1999; Maule et al. 2007) related to asbestos factories, mines or naturally occurring asbestos in Greece (Constantopoulos et al. 1987), Cyprus (McConnochie et al. 1987), Turkey (Carbone et al. 2007), Corsica (Rey et al. 1993), Italy (Magnani et al. 2001) and California (Pan et al. 2005).

There are two main families of asbestos: amphiboles (of which tremolite, actinolite, crocidolite) and serpentines (chrysotile, antigorite, lizardite). Asbestos fibres vary in length and shape: chrysotile has long, flexible fibres whilst amphiboles fibres are brittle. Although all types of asbestos fibres can be associated with MM, the highest risks have been reported for amphiboles (Hodgson and Darnton 2000). Health problems associated with exposure to airborne asbestos particles have been observed since the early 1900s, and have resulted in severe restrictions on the use of asbestos from the 1980s. In natural environments, asbestos is commonly associated with ultramafic rocks (rich in Fe and Mg minerals), mostly peridotites, of which hydratation produces serpentinites (Schreier 1989).

A third of the main island of New Caledonia, called the Grande Terre, consists of ultramafic rocks, mainly peridotites and serpentinites (Birrell and Wright 1945). Three geological areas may contain asbestos: the Boghen Unit, the Peridotite massifs and the Northern Caledonian metamorphic complex (Figure 1). The territory is administratively divided into 33 communes centred on 1 city and 32 villages. The commune include some to several dozens of Melanesian tribes. Nickel mining and smelting is the main economic activity of the country and nickel ores have been shown to contain asbestos (Langer et al. 1980).

Very high incidences of MM and lung cancer are observed in New Caledonia: for the 1996-2005 period, the age standardized incidence rates (ASR) of MM was 4.6 per 100,000 year in men and 3.1 in women, and lung ASR in Melanesians was 92.8/100,000 years in men and 27.8 in women (Baumann and Rougier 2005). A previous study showed an association between MM and the use of a whitewash made with local soils, called *Pö* (Goldberg et al. 1995). Analysis of some *Pö* samples confirmed that this whitewash could contain tremolite.

We conducted a case-control study of MM on the 68 cases recorded in the Cancer Registry of New Caledonia for the 1984-2002 period (Baumann et al. 2007b). The world age standardized incidence rate of MM was 7.52 per 100,000 in Melanesians, against 0.57 in Caucasians. The early onset of the disease, beginning at the age of 30 years, and the sex ratio equal to 1.03, suggested a non occupational exposure for Melanesians. Thirty percent of cases lived in Houaïlou, an area where mining activity was important during the 1960s-1970s. Geographical analysis demonstrated a significant association between soil containing serpentinite and MM.

This paper presents the results of spatial, temporal and space-time cluster analyses on all MM cases recorded in New Caledonia between 1984 and 2008, and an ecological analysis conducted in a specific area including the places with higher MM incidences. The main

objectives of this ecological study were to analyse the clusters of MM, and the associations between MM and exposure to possible natural sources of asbestos.

Materials and Methods

MM cases were identified from the Cancer Registry of New Caledonia. Eligible cases were malignant pleural mesotheliomas, histologically confirmed and diagnosed from 1984 to 2008.

Epidemiological investigations were conducted on all 109 eligible MM cases. The living cases (12%) or two closest relatives were interviewed using a standardized questionnaire. All questioned people gave their informed consent. These investigations were conducted within the framework of the cancer registry and were approved by the French and the local authorities. We collected demographic characteristics, residential history including location and description of each dwelling, lifetime school and occupational history. Five cases were excluded because they had lived in New Caledonia for less than twenty years before the date of diagnosis.

We identified a study area which included the communes with the highest MM incidences and the three geological units which may contain asbestos (Figure 1). We conducted an ecological analysis of the 100 tribes living in this area, comparing environmental exposure between tribes with and without MM cases. Environmental determinants such as presence of serpentinite on roads, mining activity in close proximity, vegetation cover, etc, were assessed at the tribal level and will be described briefly below.

Environmental and geological investigations

To locate the known bodies of ultramafic rocks, serpentinite and peridotite massifs, which are the potential sources of natural asbestos, we used a digital version of the 1/50,000

geological maps. We conducted geological and environmental investigations in the environment of each of the 100 tribes. Following our first investigations (Baumann et al. 2007a, Baumann et al. 2008), a census of serpentinite quarries was carried out by the service of Mines and Quarries, which we also used. Serpentinite was widely used to cover roads and may thus be a potential source of exposure.The territorial and provincial roads, which are the most used, began to be sealed in the 1970s in the South and in the 1990s in the North.

In each tribe, we questioned elders about the material which was used to whitewash the houses, the history of this practice, and the localities of the quarries of *Pö*. We collected samples of indoor and outdoor *Pö* on the walls of existing whitewashed dwellings and in the quarries. We detected three categories of *Pö*: tremolitic (containing asbestos fibres), non tremolitic and partly tremolitic (some families used tremolitic *Pö* while others used a material without fibres). We collected samples of all natural materials which were suspected of containing asbestos in the close vicinity to the tribe: outcrops, road cuts, quarries.

We carried out mineralogical analyses on the 486 samples collected to assess the presence of asbestos. We first analysed fibres using polarized light microscopy (PLM). Where required, we used X-ray powder diffraction and transmission electron microscopy (TEM) associated with chemical analysis to determine the nature of the asbestos. For cost reasons, we analysed 'only' 94 samples using both approaches. Of the 392 remaining samples, 97 were negative and PLM was sufficiently reliable to determine the nature of the asbestos for the remaining samples.

We constructed an index of mining activity influence as follows: $T \times W / D / 1000$ where:

. *T* is the tonnage of Nickel ore extracted between 1940 and 1980,

. *W* is a coefficient depending on the orientation of the mining massif with respect to the tribe and the prevailing wind

. *D* is the distance between the centre of the tribe and the nearest massif.

We integrated all data into the Geographic Information System (GIS) ArcGis version 9.02 (ESRI, Redlands, CA). Mean slope and mean curvature over one square kilometre around the centre of the tribe, surfaces areas and all distances were automatically calculated by using ArcGis on a 50 m cell size digital terrain model.

Statistical analyses

We calculated the 95% confidence intervals (CI) of incidences on the assumption that the number of cases observed followed a Poisson distribution (after testing the compliance with a Poisson distribution). Because of the mean latency of 30 years – minimum 20 years – we studied the geographical distribution of MM cases by using two methods. The first involved the longest place of residence, provided that the subject had lived there for at least 20 years before diagnosis. The second method involved the place where the subject was residing in the 30^{th} year prior to the date of diagnosis. For each commune and each tribe we calculated crude and world age standardized incidence (ASR) of MM with their 95%CI by both analysis methods. We used the population data from the 1983, 1989, 1996 and 2004 census.

We performed a spatial, temporal and space-time disease clustering analysis in order to detect possible areas or periods associated with a significantly higher risk of MM. We used the Kulldorff's spatial scan statistical method that adopts maximum likelihood techniques to test for the presence of clusters and identify their location. The spatial scan analysis was implemented in SaTScan software (version 8.2.1). Gender and age were considered as covariates. We evaluated clusters using 999 Monte Carlo simulations.

For the univariate and multivariate analyses, we grouped each tribe with fewer than 50 inhabitants (1989 census) with the closest tribe, provided that it was located in the same valley or no further than 5 kilometres away from the coast line. We analysed the associations between exposure estimates and MM by two methods: we first compared tribes

with and without MM cases and calculated odds ratios (OR), then Poisson regression was applied to calculate incidence rate ratios (IRR). We used the first approach because it is statistically more effective in detecting a significant factor, and the second to take into account the extent of MM incidence and to estimate the linear influence of the factor studied on this incidence. To show how the risk of incidence changed with the categorized variables, ASR are reported using the lowest exposure category as reference groups for risk factors, and the highest exposure category for protective factors. Continuous variables were first categorized by tertiles. If two contiguous classes were comparable, the variable was then categorized into two classes. In order to enhance the strength of results, multivariate analyses were carried out on bi-categorized dependant variables.

Means were compared with a *t* test, Welch variant when the Bartlett's test for equal variances was significant, and Kruskall-Wallis test when more than two groups were compared. Percentages were compared with a Pearson Khi^2 or a Fisher's exact test when numbers were small. The statistical tests applied to compare incidence rates are based on the convergence of the Poisson distribution towards the normal distribution. Multivariate analyses were conducted using backward stepwise logistic and Poisson regressions, including all the variables having a p-value <0.25 in the univariate analysis. All interactions were tested by using the likelihood-ratio test. The most significant interactions were included in the multivariate logistic model. Correlations were also tested. When two variables were strongly correlated ($r>0.7$), only one of them was included in the multiple Poisson regression model. OR and IRR are given with their 95% confidence intervals. All reported *p*-values are two-tailed.

The statistical calculations were performed with R and Stata SE Version 8.0 (StataCorp, College Station, Texas, USA) software.

Results

Among the 104 MM cases, 49 were men and 55 women. Ninety-one (87%) were Melanesians, eight (8%) Caucasians and five (5%) Tahitians. Age varied from 31 to 81 years, with a mean age of 60.0 years, comparable in both genders. Mean age was higher in Caucasian males (71.9 years) than in Melanesian males (60.3 years). The sex ratio M/F was higher in non Melanesians (2.25) compared to Melanesians (0.784). See *Supplemental Material, Table 1* for a more detailed overview of population characteristics.
A large proportion of men had many different jobs, for very short periods. Therefore, detailed analyses of occupation exposure were not feasible.

Both analysis methods of place of residence showed no significant difference (Supplemental Material, Figure 1). The results are presented according to the place of residence 30 years before the date of diagnosis.

MM incidence

Crude and standardized MM incidences were notably high in 3 communes (Figure 1). Compared to the main city Noumea (ASR=0.64, 95%CI: 0.13–1.88), the MM incidence was 200 times higher in Houaïlou (ASR=128.66, 95%CI: 70.41–137.84), 40 times higher in Koné (ASR=25.46, 95%CI: 14.25-41.98) and 25 times higher in Poindimié (ASR=15.37, 95%CI: 3.17–44.92). The study area included 7 of the ten communes with the highest MM incidence.

The number of cases by tribe varied from 0 to 7. The logarithm of ASR showed a bimodal distribution *i.e.* 62 tribes had a nil incidence, and the 38 others presented a symmetric distribution centred on the median of 4. The Khi^2 test of compliance of the observed distribution among these 38 tribes with a Poisson distribution did not show any significant deviation.

Seventy-eight MM cases lived in the study area 30 years before diagnosis. One of them had never lived in a tribe and was excluded from the ecological analysis. The other 77 cases were Melanesians, except for one Polynesian. The sex ratio M/F of less than 1 and the same mean age at diagnosis for both genders (less than 60 years) confirmed the high probability of an environmental causal exposure.

Cluster analyses

The spatial analysis of tribes of residence highlighted one cluster grouping of 18 central tribes in Houaïlou–Bourail area (Figure 2). Thirty-one cases were observed versus 8.12 expected cases, with a relative risk of 5.76 and a log likelihood ratio of 23.02, p=0.001. Two secondary clusters were observed in Koné and Poindimié but were not significant.

No significant cluster was found by temporal analysis. The spatio-temporal analysis showed 1 cluster grouping of 14 tribes in Houaïlou area for the 1991- 2003 period: 18 observed cases, 3.10 expected cases, p=0.001.

Description of environmental determinants (Supplemental Material, Figure 2)

The natural sources of asbestos

Based on geological maps and environmental sampling we identified the following natural sources of asbestos: in the Boghen Unit, serpentinite slivers were the host of tremolitic occurrences which, by weathering at the base of the soil horizon, evolves into white aggregates. This white soil was dough-like as clay. In the Peridotite massifs, three kinds of asbestos were observed: mainly antigorite having an appearance of friable rock which splits up into smaller fragments, chrysotile occurring as small (in the millimetre to centimetre range) veins in fresh rocks, and sometimes tremolite (Supplemental Material, Figure 3*)*. The majority of asbestos occurrences in the Northern Caledonian Metamorphic complex were represented by tremolite-actinolite white aggregates.

We found three categories of fibres: short (<20µm) and thin (<1µm) tremolite fibres, long (>100µm) and flexible chrysotile fibres, sheaves of fine fibres (<1µm), splintering from the edges of antigorite laths.

Serpentinite quarries

Within a 5 km radius around centre of each tribe, the surface of serpentinite outcrops exceeded 7 km² in twelve tribes (Supplemental Material, Figure 4). Forty-seven tribes were situated less than 5 km from a serpentinite quarry. Seventeen tribes lived within a 20 km distance by road from more than 10 serpentinite quarries.

Roads

Eighty-nine tribes lived less than 10 km from the main road. The presence of serpentinite on roads (surface or road cut) was identified in 44 tribes. According to the local authorities, quarries and roads of our study area were in use at least at the end of the 1960s.

Whitewash of dwelling walls

The material used for whitewashing varied according to the geological environment of the tribe. Most of tribes living near the sea used a soup made with fired coral. Others used white clay, or crushed white rocks diluted with water, including silica and tremolite. Since the 1950s, the cob dwellings have been replaced with corrugated iron or concrete houses. The last year for whitewash use varied from 1950 to 2000. After 1970, fibrous Pö was still used in 41 tribes (Supplemental Material, Figures 5-6).

Mining activity

Fifty-five tribes lived less than 10 km from the Peridotite massif. The tonnage of Nickel ore mined between 1940 and 1980 was substantial in the East of Houaïlou: about 12,000,000 tons were extracted from the mines of Poro and 14,300,000 tons from the mines of Kouaoua (Supplemental Material, Figure 7).

Vegetation and situation

Four types of vegetation were noticed in the tribes' environment (data prior to 1996): bush, savannah, forest and dense mining maquis. The plant cover was dense in 51 tribes (50 forest and 1 dense mining maquis) and non dense in 49 tribes (48 bush and 1 savannah).
The mean curvature was positive, indicating a convex shape, for only 22 tribes. Distance to the coastline was <4 km for 51 tribes.

Analyses of exposure and environmental factors

After grouping the smallest tribes, univariate and multivariate analyses were carried out on 82 geographical units.

Comparison of tribes with and without MM cases

The most significant risk factor highlighted by the univariate analyses (table 1) is the presence of serpentinite on roads: OR=465.0 (95%CI: 2.360–9161). This factor was present among 97% of tribes with MM cases versus 6% of tribes without MM case ($p<0.001$).

Significant increased risks were also found for, (in descending order): presence of antigorite, surface of serpentinite outcrops, the number of serpentinite quarries in a 20 km radius, proximity to the peridotite, proximity to the nearest quarry of serpentinite and presence of chrysotile. Proximity to the coast constituted a significantly protective factor.

Univariate Poisson regression (table 1) showed similar results with the highest incidence rate ratio observed for serpentinite on roads (IRR=60.654, 95% CI: 68.144-76.415). Statistically significant associations were also observed for the presence of antigorite, the distance to the peridotite massif, the number of serpentinite quarries, the surface area of serpentinite, the mine index and the presence of chrysotile. Proximity to the coast line, dense vegetation and mean slope >10° were inversely associated.

Interactions

The mine index was strongly correlated to the distance to the peridotite massif (r=0.7725, p <0.0001). Thus, to avoid co-linearity, we omitted the mine index in the multivariate analyses. Others correlations were ≤0.7.

Significant interactions were observed between the number of quarries and: presence of antigorite (p=0.0159), presence of chrysotile (p=0.0025) and serpentinite on roads (p=0.0026), and between the distance to the nearest quarry and serpentinite surface (p=0.0218). These interactions were included in the multivariate logistic regression.

Multivariate analyses (table 2)

Logistic regression resulted in only one highly predictive factor: the presence of serpentinite on roads, OR=465.0 (95%CI = 46.2-4679.7), which explained 72% of the total variance. We carried out a second logistic regression with the same variables except serpentinite on roads. This resulted in five predictive factors in the final model: presence of antigorite, distance to peridotite massif ≤10 km, serpentinite surface >2 km^2, presence of chrysotile and negative curvature, which explained 52% of the total variance.

The multivariate Poisson regression model involved six environmental determinants: serpentinite on roads, antigorite, distance to peridotite massif ≤10 km, serpentinite surface >2 km^2, chrysotile, distance to nearest quarry ≤5 km, and three protective factors: mean slope <10°, negative curvature and distance to coast line ≤4 km, explaining 76% of the total variance.

Discussion

Our study has confirmed the high risk of MM in New Caledonia and has identified geographical clusters. Living near roads covered by serpentinite was associated with the

greatest risk of MM. Other significant indicators included the number and the proximity of serpentinite quarries, and the size of the surface area containing serpentinite.

Because of the good mechanical properties of serpentinite, its stability under rain, and the ease of crushing it, this material was widely used to cover roads. The large number of quarries along the road between Koné and Poindimié provides evidence of this extensive practice until the completion of the present sealed road. Serpentinite quarries are numerous in the Houaïlou area and some of them were still in operation during our investigations.

The second interesting result is the difference in risk between serpentines and amphiboles. In particular, a much stronger association with MM risk was found for antigorite (OR=20.667, 95%CI: 4.028–106.03) compared to tremolite-actinolite (OR=1.714, 95%CI: 0.664–4.423). This difference may be explained by the shape and/or the use of these minerals. Tremolite commonly comes in the form of doughy and aggregated white soil under the vegetable layer whereas the fibrous form of antigorite comes from the weathering of the rocks, which produces increasingly small pieces down to very fine dust.

Unofficial serpentinite quarries, containing mostly antigorite, were abundant, and this material was very commonly used to cover the roads. People could be contaminated by the dust produced by traffic. The two serpentines chrysotile and antigorite have very similar chemical composition but different structures. Antigorite presents lathes which splinter while chrysotile has a coiled structure. Recent works showed the cyto-toxicity of antigorite fibres in vivo (Pugnaloni et al. 2010). But antigorite does not belong to industrial asbestos and is not recognized in asbestos regulation.

In the 1930s, Melanesians were encouraged to whitewash the walls of their dwellings. This *Pö* could be made with different material depending on the environment. Tremolite was used by melting this paste with hot water. This practice was widespread until the 1990s in

areas where MM incidence rates were low: census data showed 95 tremolitic dwellings in Poya (3 MM cases, 2 living in tribes) and 65 in Hienghène (1 MM case) compared to only 26 dwellings in Houaïlou and 17 in Poindimié, where the MM incidences were the highest. Consistent with this, the use of whitewash did not emerge as a significant risk factor for MM in the current study. The different indicators (number of tremolitic dwellings, use of tremolitic *Pö* after 1970, last year of *Pö* use) confirm this result, which contradicts previous studies (Luce et al. 2000). Thus, either natural tremolite fibres are less hazardous, or tremolite aggregates as used in whitewash retain the fibres and avoid their dispersal and subsequent exposure.

Mining activity produces dust which may contain asbestos fibres when peridotites are serpentinized. This dust can affect tribes which are down-wind from the mines. However, our mine index showed a slight effect, but proximity to the peridotite massifs was significantly associated with MM. Living on a slope >10° and in dense vegetation (non significant) appeared to be protective, probably because they prevent dust propagation.

Environmental exposure is usually related to low relative risks with a complex mixture of several low-level intercorrelated exposures (Pekkanen and Pearce 2001). Because of the long latency period and the involuntary nature of environmental exposure, it is difficult to reconstruct personal exposure accurately. Most environmental variables such as presence of serpentinite on roads, mining activity and plant cover are measured at the population level, so they can be analyzed by comparing populations rather than individuals. We therefore chose an ecological study design to assess the association between environmental asbestos exposure and MM. In order to minimize the typical problems associated with ecological analyses, and because our environmental data are relative to the tribes, we studied spatial units at the tribal level. Environmental data were similar to only nearby tribes, which were grouped when the population of one tribe was very small.

To test whether some MM cases were overlooked by the cancer registry, we checked all MM cases recorded in the death certificate files, questioned the public and private lung specialists and visited the health centres. We did not find any new case. We also studied the geographical distribution of all cancers incidence in NC for the 1990-2005 period (data not shown). The ASRs of all cancers were in the same order in Hienghène and Poya as in the other communes. Hienghène showed the highest incidence rate in women, due to very high incidence of thyroid and breast cancer, indicating a good quality of the medical detection and registration of cancers in this area. Thus the low MM incidence in Hienghène and Poya is unlikely to have arisen from a lack of registration. The observed spatial MM distribution is therefore unlikely to be due to selection effect.

Information on occupation was insufficient to allow the role of occupational exposure to be assessed. This is a limitation of our study. However, the sex ratio (M/F <1) of MM cases and the mean age of less than 60 years for both genders, suggest a high probability of a causal environmental exposure rather than occupational exposure. Moreover, occupational sources of exposure are unlikely to follow the same spatial distribution as environmental sources. Therefore, residual confounding by occupational exposure is not likely to explain our results.

Pan et al. (2005) showed an inverse association between mesothelioma and the distance that people lived from the nearest naturally occurring asbestos in California. The current study adds to the evidence that natural sources of asbestos increase the risk of mesothelioma, and a strength of our study is that it takes into account multiple exposure sources and protective environmental factors.

Conclusions

This study provides strong evidence that the use of serpentinite for road surfacing is a major environmental risk factor for mesothelioma in New Caledonia. Our first results have been communicated to health and local authorities, resulting in the government's establishing inventories of quarries and sites built on naturally occurring asbestos, and in initiating rehabilitation studies and new laws to protect workers. The same measures have not yet been established for residents.

Most environmental asbestos fibres are short and thin. As for antigorite fibres, short fibres are not usually taken into account in analyses. Recent studies have shown that these fibres could be responsible for mesothelioma (Suzuki et al. 2005). Thus, to understand the hazards of natural sources of asbestos, studies are now needed on the ability of these sources to release fibres into the air, and the types and sizes of fibres that are causally related to the disease.

REFERENCES

Baris YL, Artvinli M, Sahin LAA. 1979. Environmental mesothelioma in Turkey. Ann NY Acad Sci 330:423-32.

Baumann F, Rougier Y. 2005. Registre du cancer de Nouvelle-Calédonie, bilan de 15 années de surveillance [in French]. BEH 34:169-171.

Baumann F, Maurizot P, Ambrosi JP, Robineau B. 2007a. Confrontation des données épidémiologiques et des données géologiques pour étudier l'étiologie du mésothéliome environnemental en Nouvelle-Calédonie : application dans les deux zones test des communes de Houailou et de Bourail [in French]. IPNC MOM.

Baumann F, Rougier Y, Ambrosi JP, Robineau B. 2007b. Pleural mesothelioma in New Caledonia: An acute environmental concern. Cancer Detection and Prevention 31:70-76.

Baumann F, Maurizot P, Robineau B, Ambrosi JP. 2008. L'amiante environnemental en Nouvelle-Calédonie : confrontation des données épidémiologiques et des données écologiques dans le secteur de Koné-Touho-Poindimié [in French]. IPNC MOM.

Birrell K, Wright A. 1945. A serpentine soi1 in New Caledonia. New Zealand J Sci Techn 27:72-76.

Carbone M, Emri S, Dogan A, Steele I, Tuncer M, Pass H and Baris Y. 2007. A mesothelioma epidemic in Cappadocia: scientific developments and unexpected social outcomes. Nat Rev Ca 7:147-154.

Constantopoulos SH, Malamou-Mitsi V, Goudevenos J, Papathanasiou MP, Pavlidis NA, Papadimitriou CS. 1987. High incidence of malignant pleural mesothelioma in neighbouring villages of North-Western Greece. Respiration 51:266-71.

Cugell D, Kamp D. 2004. Asbestos and the pleura. Chest 125:1103-1117.

Ferrante D, Bertolotti M, Todesco A, Mirabelli D, Terracini B, Magnani C. 2007. Cancer mortality and incidence of mesothelioma in a cohort of wives of asbestos workers in Casale Montferrato, Italy; Environ Health Perspect 115:1401–1405.

Goldberd P, Luce D, Billon-Gailland MA, et al. Identification d'un excès de risque de cancer de la plèvre en Nouvelle-Calédonie lié à l'exposition environnementale et domestique à la trémolite [in French]. 1995. Rev Epidemiol Santé Publique 43:444-50.

Hillerdal G. 1999. Mesothelioma: cases associated with non-occupational and low dose exposures. Occup Environ Med 56:505–513.

Hodgson JT, Darnton A. 2000. The quantitative risks of mesothelioma and lung cancer in relation to asbestos exposure. Ann Occup Hyg 44(8):565-601.

Langer AM, Rohl AN, Slikoff IJ, Harlow GE, Prinz M. 1980. Asbestos as a Co-factor in Carcinogenesis Among Nickel Procesing Workers. Science 209:420-422.

Luce D, Bugel I, Goldberg P, Goldberg M, Salomon C, Billon-Galland MA, et al. 2000. Environmental exposure to tremolite and respiratory cancer in New Caledonia: A case-control study. Am J Epidemiol 151 (3):259-265.

MacDonald AD, MacDonald JC. 1986. Epidemiology of malignant mesothelioma. Asbestos related Malignancy 31-35.

McConnochie K, Simonato L, Mavrides P, Christofides P, Pooley FD, Wagner JC. 1987. Mesothelioma in Cyprus: the role of tremolite. Thorax 42:342-347.

Magnani C, Dalmasso P, Biggeri A, Ivaldi C, Mirabelli D. 2001. Increased Risk of Malignant Mesothelioma of the Pleura after Residential or Domestic Exposure to Asbestos: A Case-Control Study in Casale Monferrato, Italy. Environ Health Persp 109 (9):915-919.

Maule MM, Magnani C, Dalmasso P, Mirabelli D, Merletti F, Biggeri A . 2007. Modelling Mesothelioma Risk Associated with Environmental Asbestos Exposure. Environ Health Persp 115 (7):1066-1071.

Merler E, Chellini E. 1992. Epidemiology of primary tumors of the pleura. Ann Ist Super Sanita 28(1):133-46.

Montanaro F, Bray F, Gennaro V, Merler E, Tyczynski J, Parkin D. 2003. Pleural mesothelioma incidence in Europe: evidence of some deceleration in the increasing trends. Cancer Causes and Control 14:791-803.

Pan XI, Day H, Wang W, Beckett L, Schenker B. 2005. Residential Proximity to Naturally Occuring Asbestos and Mesothelioma Risk in California. Am J Resp Crit Care Med 172 (9):1019-1025.

Pekkanen J, Pearce N. 2001. Environmental Epidemiology: Challenges and Opportunities. Environ Health Perspect 109:1-5.

Pugnaloni A, Giantomassi F, Lucarini G, et al. 2010. Effects of asbestiform antigorite on human alveolar epithelial A549 cells: A morphological and immunohistochemical study. Acta histochemica 112:133-146

Putzu MG, Bruno C, Zona A, Massiccio M, Pasetto R, Piolatto PG and Comba P. 2006. Fluoro-edenitic fibres in the sputum of subjects from Biancavilla (Sicily): a pilot study. Env Health 5:20

Rey F, Viallat JR, Boutin C, Farisse P, Billon-Galland MA, Hereng P, et al. 1993. Les mésothéliomes environnementaux en Corse du nord-est [in French]. Rev Mal Respir 10:339-345.

Ross D, McDonald JC. Occupational and geographical factors in the epidemiology of malignant mesothelioma. 1995. Monaldi Arch Chest Dis.50(6):459-63.

Salomon C. 2000. Savoirs et pouvoirs thérapeutiques kanaks [in French]. PUF, Paris, INSERM, Coll. Ethnologies, ISBN 2-13-050573-2.

Schreier H. 1989. Asbestos in the natural environment. Studies in environmental science 37.

Suzuki Y, Yuen S, Ashle R. 2005. Short, thin asbestos fibers contribute to the development of human malignant mesothelioma: pathological evidence. Int J Hyg Environ Health 208:201-210.

Table 1 – Univariate analyses of environmental factors influences on MM ASR by tribe

Univariate analyses	Comparison of tribes with MM (n=34) vs tribes without MM cases (n=48)			Comp. of mean MM ASR by covariate class			
Variables	**Nb tribes**	**OR**	**95%CI**	**MMASR**	***p value***	**Poisson IRR**	**95%CI**
Serpentinite on track							
absence	46	1	-	1.6			
presence	34	465.00	2.360–9161	97.0	*<0.0001*[a]	60.654	68.144-76.415
Antigorite							
absence	35	1	-	3. 3			
presence	47	20.667	4.028–106.03	71.2	*<0.0001*[a]	21.682	18.003-26.114
Serpentinite surface							
0 – 1.2 km^2	27	1	-	3.2			
1.21 – 3 km^2	31	13.333	2.683–66.256	52.4			
3.01 – 30 km^2	24	25.000	4.698–133.03	72.9	*0.0001*[a]	2.484	2.366-2.609
Nb quarries < 20 km							
0 - 3	32	1	-	8.9			
4 - 6	27	4.320	1.276–14.623	44.0			
7 - 21	23	15.300	4.034–58.021	86.4	*0.0004*[b]	2.665	2.541-2.795
Distance to massif							
10.01 – 43 km	39	1	-	7.9			
0 – 10 km	43	7.716	2.423–24.570	73.3	*<0.0001*[a]	9.309	8.281-10.466
Distance to quarry							
9.1 – 31 km	25	1	-	29.9			
3.1 – 9 km	29	2.550	0.875–7.429	39.9			
0 – 3 km	28	9.452	2.526–35.361	55.6	*0.0265*[b]	1.368	1.310-1.427
Chrysotile							
absence	54	1	-	29.164			
presence	28	4.275	1.520–12.023	67.339	*0.0289*	2.309	2.159-2.469
Coast distance							
4.1 - 22 km	35	1	-	60.4			
0 - 4 km	47	0.318	0.122-0.830	28.7	*NS*	0.464	0.444-0.508
Curvature							
0.001 – 0.113	16	1	-	55.0			
-0.119 - 0	66	0.343	0.107 – 1.096	39.1	*NS*	0.711	0.659-0.768
Nb censed dwellings							
0	37	1	-	28.9			
1 - 54	45	2.471	0.989 – 6.174	53.1	*NS*	1.834	1.706-1.971
Dense vegetation							
no	38	1	-	58.0			
yes	44	0.420	0.166 – 1.059	28.5	*NS*[a]	0.492	0.456-0.527
Distance to main road							
1.1 – 36.5 km	43	1	-	39.6			
0 - 1 km	39	2.180	0.871 – 5.458	45.0	*NS*	1.136	1.062-1.214
Mine index							
=0	47	1	-	26.5			
> 0	35	2.051	0.821 – 5.126	63.3	*0.0438*[a]	2.392	2.232-2.564
Tremolite-actinolite							
absence	30	1	-	38.7			
presence	52	1.714	0.664 – 4.423	44.2	*NS*	1.142	1.065-1.226
Mean slope							
10.1 – 24.6	50	1	-	51.0			
1.6 – 10	32	1.167	0.472–2.884	28.4	*NS*	0.557	0.517-0.601
White washing							
non fibrous	18	1	-	43.9			
partly fibrous	16	1.333	0.337–5.270	88.5			
tot. fibrous	48	0.330	0.108–1.008	26.1	*0.0451*	0.727	0.670-0.755
Nb years of Pö use after 1945							
0 - 10 yr	28	1	-	48.3			
10.5 - 30 yrs	28	1.000	0.351–2.851	57.2			
30.5 - 55 yrs	26	0.300	0.093–0.972	19.5	*NS*[b]	0.709	0.680-0.740

Abbreviations: OR, odds ratio; ASR, world age standardized incidence rate per 100,000 persons year; IRR, incidence rate ratio; CI, confidence interval; NS, non significant

[a] Welch test [b] Kruskal-Wallis test

Table 2 – Multivariate analyses of environmental factors influences on MM ASR by tribe

Tribes with MM (n=34) vs tribes without MM cases (n = 48)	**Logistic regression - Pseudo R^2 = 0.7221**		
Variables	**OR**	**95%CI**	**p value**
Serpentinite on roads : presence / absence	465.0	46.2–4679.7	<0.001
Tribes with MM (n=34) vs tribes without MM cases (n = 48)	**Logistic regression without serpentinite on roads - Pseudo R^2 =0.5334**		
Variables	**OR**	**95%CI**	**p value**
Antigorite : presence / absence	35.823	4.053–316.6	0.001
Distance to massif : 0 – 10 km / > 10 km	19.825	2.935–134.05	0.002
Serpentinite surface : 2.01 – 30 / 0 – 2 km^2	9.773	1.871–51.04	0.007
Chrysotile : presence / absence	9.652	1.638–56.860	0.012
Curvature : < 0/ > 0	0.157	0.0074–0.503	0.009
Multivariate analysis of MM ASR – N = 80	**Poisson regression R^2 = 0.7615**		
Variables	**IRR**	**95%CI**	**p value**
Serpentinite on roads : presence / absence	13.052	10.225–16.661	<0.001
Antigorite : presence / absence	4.799	3.880–5.935	<0.001
Distance to massif : 0 – 10 km / > 10 km	3.241	2.812–3.736	<0.001
Serpentinite surface : 2.01 – 30 / 0 – 2 km^2	2.430	2.158–2.728	<0.001
Chrysotile : presence / absence	1.638	1.547–1.832	<0.001
Distance to quarry : 0 – 5 km / > 5 km	1.205	1.104–1.315	<0.001
Mean slope : > 10 ° / < 10 °	0.679	0.599–0.701	<0.001
Curvature : = 0 / > 0	0.844	0.775–0.919	<0.001
Coast distance : 0 – 4 km / > 4 km	0.849	0.784–0.818	<0.001

Abbreviations: OR, odds ratio; IRR, incidence rate ratio; CI, confidence interval; NS, non significant

Figure 1 – Map of New Caledonia, asbestos bearing geological units, main roads, standardized incidence of MM by commune (residence 30 years before diagnosis), 1984-2008, and study area

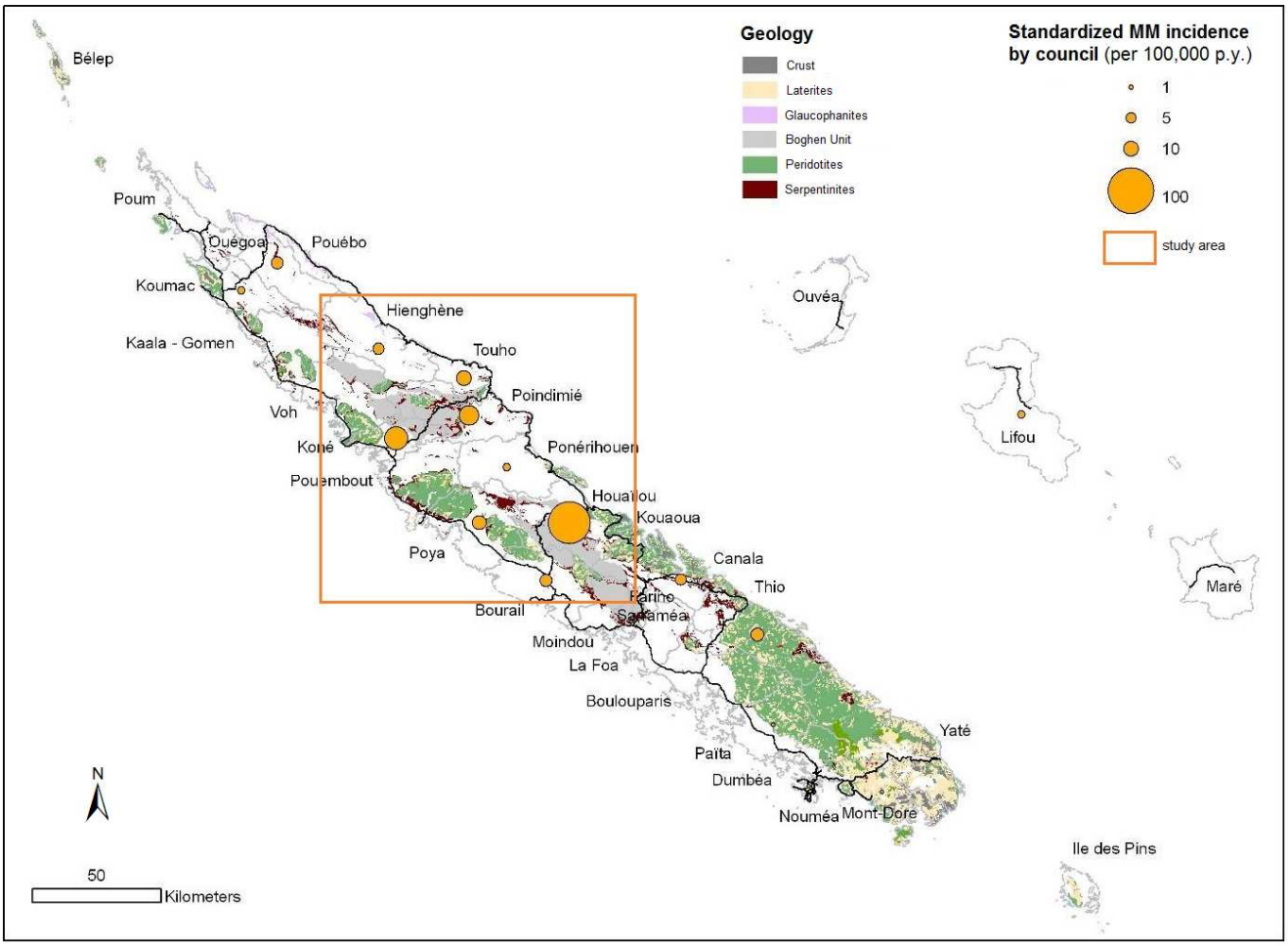
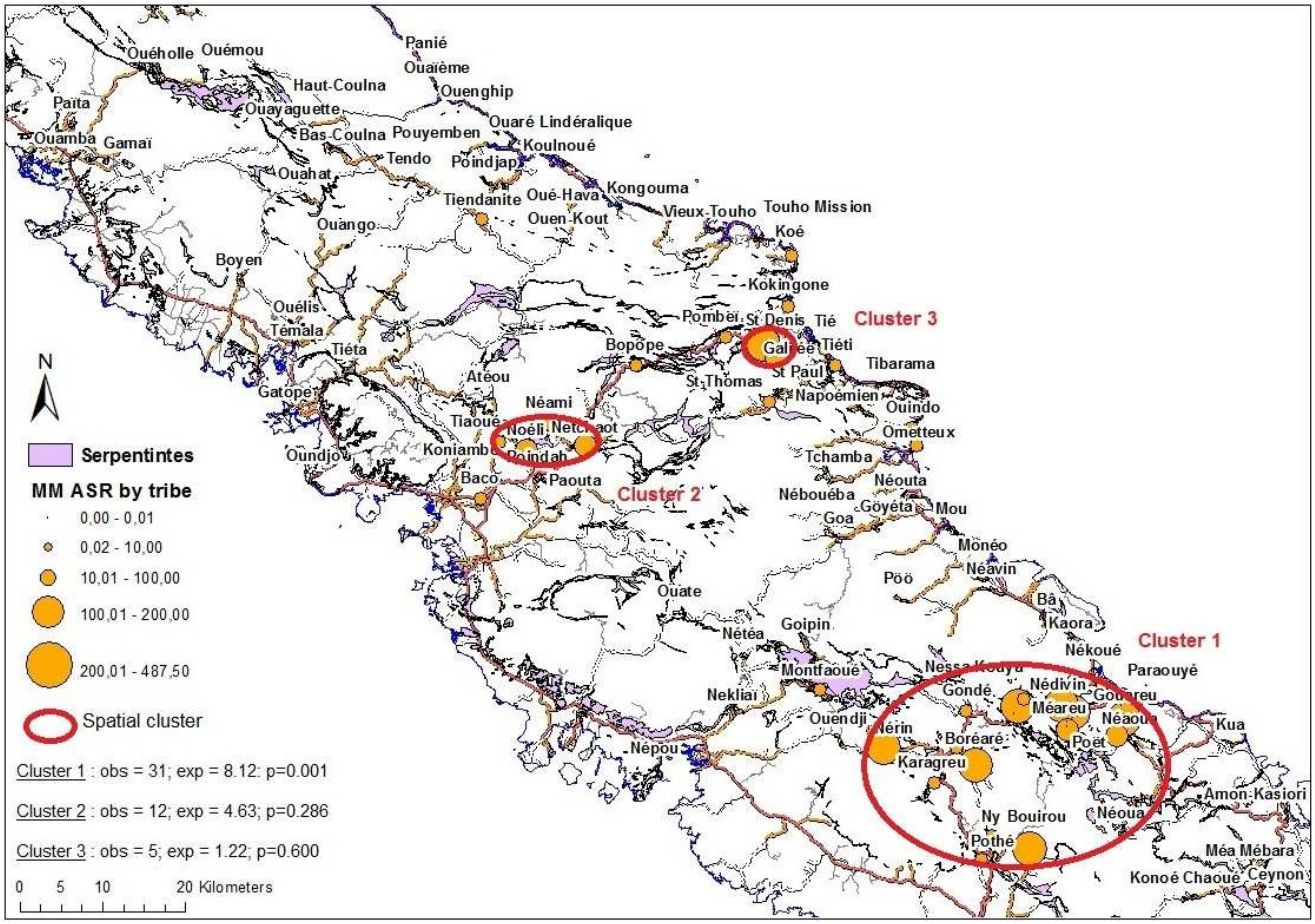


Figure 2 – Map of the study area, incidence of MM by tribe (residence 30 years before diagnosis), 1984-2008, and results of the spatial analysis



Abbreviations: obs, observed; exp, expected

SUPPLEMENTAL MATERIAL

TABLE OF CONTENTS

page

Table 1 – Distribution of all MM cases, NC 1984-2008, by ethnicity, gender and age group..... 3

Table 2 – Number of cases by commune, crude incidence and ASR of MM with 95% confidence interval (CI), by two methods: longer place of residence and residence 30 years before diagnosis (after exclusion of 20 years from the date of the diagnosis)…… 4

Table 3 – Tribes, number of MM cases 1984-2008, sex distribution, crude and world age standardized incidences, 95% confidence intervals, by two methods : residence 30 years before diagnosis and longer time of residence…… 5

Figure 1 – MM age standardized incidence by council per 100,000 inhabitants-years, by two methods: residence 30 years before diagnosis and longer time of residence..... 7

Figure 2 – Distributions of explicative variables values by tribes with and without MM cases..... 8

Figure 3 – Photographies of natural outcrops of tremolite, vein of chrysotile, antigorite in a serpentinite quarry and on a road, New Caledonia…… 9

Figure 4 – Maps of Houaïlou-Bourail-Poya and Kone-Poindimié-Touho-Hienghène areas, serpentinite outcrops, quarries of serpentinite and ASR of MM by tribe, 1984-2008..... 10

Figure 5 - Maps of Houaïlou-Bourail-Poya and Kone-Poindimié-Touho-Hienghène areas, use of tremolitic Pö and standardized incidence of MM by tribe, 1984-2008..... 11

Figure 6 – Maps of Houaïlou-Bourail-Poya and Kone-Poindimié-Touho-Hienghène areas, number of dwellings covered with tremolitic Pö and standardized incidence of MM by tribe, 1984-2008..... 12

Figure 7 – Study area, geological map of asbestos bearing units, tonnage of garnierite extracted 1940-1980, main roads and MM ASR by tribe (residence 30 years before diagnosis), 1984-2008.... 13

Table 1 – Distribution of all MM cases, NC 1984-2008, by ethnicity, gender and age group

Age group	Melanesians		Caucasians		Polynesians		All		
(years)	men	women	men	women	men	women	men	women	Total
30-39	1	4	0	0	1	0	2	4	6
40-49	6	6	0	2	1	0	7	8	15
50-59	13	16	1	0	0	1	14	17	31
60-69	10	11	1	0	2	0	13	11	24
70-79	9	13	2	0	0	0	11	13	24
80-89	1	1	1	1	0	0	2	2	4
Total	**40**	**51**	**5**	**3**	**4**	**1**	**49**	**55**	**104**
mean age	**60.3**	**59.5**	**71.9**	**57.0**	**52.6**	**51.0**	**60.8**	**59.2**	**60.0**
sex ratio	**0.784**		**1.667**		**4.000**		**0.891**		

Table 2 – Number of cases by commune, crude incidence and ASR of MM with 95% confidence interval (CI), by two methods: longer place of residence and residence 30 years before diagnosis (after exclusion of 20 years from the date of the diagnosis)

	Longer place of residence					Residence 30years before diagnosis				
Commune	**nb**	**Crude Inc.**	***95%CI***	**ASR**	***95%CI***	**nb**	**Crude Inc.**	***95%CI***	**ASR**	***95%CI***
Houailou	34	32,7	*22.65 - 45.7*	112,28	*77.73 - 156.9*	37	35,59	*25.06 - 49.05*	128,66	*70.41 - 137.84*
Kone	14	14,27	*7.8 - 23.94*	23,81	*13.02 - 39.96*	15	15,29	*8.56 - 25.22*	25,46	*14.25 - 41.98*
Poindimié	11	10,56	*5.27 - 18.9*	13,98	*6.98 - 25.01*	12	11,52	*5.95 - 20.12*	15,37	*3.17 - 44.92*
Touho	4	7,46	*1.87 - 19.1*	11,4	*3.11 - 29.19*	3	5,6	*1.15 - 16.35*	9	*1.86 - 26.29*
Ouégoa	3	6,15	*1.27 - 17.96*	10,2	*2.1 - 29.82*	3	6,15	*1.27 - 17.96*	8,5	*1.75 - 24.85*
Poya	3	4,96	*1.02 - 14.48*	7,84	*1.62 - 22.92*	3	4,96	*1.02 - 14.48*	7,84	*1.62 - 22.92*
Bourail	9	8,59	*3.93 - 16.31*	9,77	*4.47 - 18.55*	7	6,68	*2.69 - 13.78*	7,55	*3.04 -15.56*
Canala-Kouaoua	4	4,94	*1.35 - 12.65*	6,88	*1.88 - 17.62*	4	4,94	*1.35 - 12.65*	6,88	*0.17 - 38.34*
Thio	2	3,19	*0.39 - 11.52*	6,52	*0.79 - 23.56*	2	3,19	*0.39 - 11.52*	6,52	*1.35 - 19.06*
Hienghène	1	1,89	*0.05 - 10.51*	4,68	*0.12 - 26.06*	1	1,89	*0.05 - 10.51*	4,68	*0.12 - 26.06*
Ile des Pins	1	2,23	*0.06 - 12.41*	3,11	*0.08 - 17.34*	0	-	-	-	-
Koumac	1	2,23	*0.06 - 12.41*	3,11	*0.08 - 17.34*	1	1,57	*0.04 - 8.77*	2	*0.05 - 11.13*
Lifou	5	2,08	*0.68 - 4.86*	3,23	*1.05 - 7.53*	3	1,25	*0.26 - 3.65*	2	*0.41 - 5.83*
Ponerihouen	1	1,55	*0.04 - 8.63*	1,89	*0.05 - 10.51*	1	1,55	*0.04 - 8.63*	1,89	*0.05 - 10.51*
Mont Dore	3	0,6	*0.12 - 1.76*	0,72	*0.15 - 2.09*	2	0,4	*0.05 - 1.45*	0,72	*0.15 - 2.09*
Nouméa	8	0,52	*0.23 - 1.03*	0,58	*0.25 - 1.22*	9	0,49	*0.22 - 0.93*	0,64	*0.13 - 1.88*
Dumbéa	0	- -	-	0	-	1	0,42	*0.01 - 2.32*	0,4	*0.01 - 2.26*
Total	**104**					**104**				

Abbreviations: nb, number of MM cases; Inc, incidence

Table 3 – Tribes, number of MM cases 1984-2008, sex distribution, crude and world age standardized incidences, 95% confidence intervals, by two methods : residence 30 years before diagnosis and longer time of residence.

COUNCIL	TRIBE	N-30	nb men	nb wom.	Cr Inc-30	CI95%		ASR-30	CI95%		Nb+lg	Cr Inc +lg	CI95%		ASR+lg	CI95%	
Bourail	Azareu	1	1	0	30.9	1.63	152.05	23.6	0.6	131.25	2	64.1	11.4	201.79	47.1	5.71	170.19
Bourail	Bouirou	5	3	2	99.6	99.6	39.24	229.6	74.6	535.91	6	119.5	52.1	235.9	249.7	91.4	543.55
Bourail	Gouaro	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Bourail	Ny	1	1	0	27.8	27.8	1.42	31.4	0.79	175.01	1	27.8	1.42	131.78	31.4	0.79	175.01
Bourail	Oua-Oué	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Bourail	Pothé	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Hienghene	Bas Coulna - Ouayatte	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Hienghene	Caavatch	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Hienghene	Ganem	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Hienghene	Haut Coulna	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Hienghene	Le Koulnoue	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Hienghene	Lewarap	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Hienghene	Linderalique	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Hienghene	Ouaieme	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Hienghene	Ouare Ouen-Pouest Tilougne	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Hienghene	Ouayaguette	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Hienghene	Ouenghip	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Hienghene	Panie	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Hienghene	Pindache	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Hienghene	Poindjap	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Hienghene	Pouyemben	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Hienghene	Tendo	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Hienghene	Tiendanite	1	0	2	61.7	3.15	292.84	68.1	1.72	379.18	1	61.7	3.15	292.84	68.1	1.72	379.18
Hienghene	Tiwamack	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Houaïlou	Ba	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Houaïlou	Boéareu	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Houaïlou	Boréaré	1	0	1	179	9.11	847.14	204.2	5.17	1 137.54	0	-	-	-	-	-	-
Houaïlou	Coula/Koro	1	0	1	45.5	2.32	215.64	55	1.39	306.44	1	45.5	2.32	215.64	55	1.39	306.44
Houaïlou	Gondé	1	0	1	46.7	2.38	221.68	68.1	1.72	379.18	0	-	-	-	-	-	-
Houaïlou	Gouaraoui	1	1	0	100	5.1	474.4	102.1	2.58	568.77	2	200	35.5	629.6	204.2	24.7	737.51
Houaïlou	Gouareu	2	1	1	98	17.4	308.63	202	24.5	729.59	2	98	17.4	308.63	202	24.5	729.59
Houaïlou	Kamoui	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Houaïlou	Kaora	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Houaïlou	Kapoué	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Houaïlou	Karagreu	1	0	1	49.5	2.52	234.85	61.3	1.55	341.26	1	49.5	2.52	234.85	61.3	1.55	341.26
Houaïlou	Kua	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Houaïlou	Mé	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Houaïlou	Méareu	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Houaïlou	Médaouya	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Houaïlou	Méomo	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Houaïlou	Néaoua	7	5	2	547	220	1126.8	601.5	242	1 239.29	5	390.6	154	821.33	418.1	114	1070.57
Houaïlou	Néaria	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Houaïlou	Nédiouen	3	1	2	54	14.7	139.46	69.5	14.3	203.24	5	89.9	35.4	189.08	114.1	37.1	266.25
Houaïlou	Nédivin	3	2	1	68.2	18.6	176.23	212.5	43.8	621.01	3	68.2	18.6	176.23	212.5	43.8	621.01
Houaïlou	Nékoué	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Houaïlou	Néoua	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Houaïlou	Néouyo	2	0	2	65.4	11.6	205.75	48.8	5.91	176.17	2	65.4	11.6	205.75	48.8	5.91	176.17
Houaïlou	Nérin	1	0	1	192	9.81	912.31	306.3	7.75	1 706.30	2	384.6	68.3	1 210.77	612.5	74.2	2 212.53
Houaïlou	Nessa Kouya	2	0	2	63.7	11.3	200.51	86.4	10.5	312.11	3	95.5	26.1	246.94	122.4	25.3	357.79
Houaïlou	Néya	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0						
Houaïlou	Nindiah	6	2	4	476	207	939.84	451.6	165	982.88	2	158.7	28.2	499.68	163.3	19.8	590.01
Houaïlou	Oingo	1	0	1	333	17	1 581.33	275	6.96	1 532.19	1	333.3	17	1 581.33	275	6.96	1 532.19
Houaïlou	Ouakaya	1	0	1	96.2	4.9	456.15	111.4	2.82	620.47	1	96.2	4.9	456.15	111.4	2.82	620.47
Houaïlou	Ouessoin	3	1	2	429	117	1 107.71	581.3	120	1 698.65	3	428.6	117	1 107.71	581.3	120	1 698.65
Houaïlou	Paraouyé	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Houaïlou	Roibahon	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Houaïlou	Thu	1	1	0	41.7	2.13	197.67	29.9	0.76	166.47	1	41.7	2.13	197.67	29.9	0.76	166.47
Koné	Atéou	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Koné	Baco	1	0	1	16.7	16.7	0.85	19.1	0.48	106.64	1	16.7	0.85	79.33	19.1	0.48	106.64
Koné	Bopope	1	1	0	13.4	34.5	1.76	38.3	0.97	213.29	1	34.5	1.76	163.59	38.3	0.97	213.29
Koné	Koniambo	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Koné	Néami	2	1	1	44.1	7.82	138.68	30.6	0.77	170.63	0	-	-	-	-	-	-
Koné	Netchaot	3	0	3	54.7	54.7	14.93	184.6	38.1	539.52	3	54.7	14.9	141.5	184.6	38.1	539.52
Koné	Noéli	4	2	2	165	56.5	378.26	188.7	51.4	483.25	3	124	33.8	320.41	139.7	28.8	408.38
Koné	Poindah	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Koné	Tiaoué	3	1	2	64.1	17.5	165.68	73.6	8.91	265.81	4	85.5	29.2	195.6	100.8	27.5	258.11
Poindimié	Bayes	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Poindimié	Galilée	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Poindimié	Ina	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Poindimié	Napoémien	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Poindimié	Nessapoué	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Poindimié	Ometteux	2	1	1	46.3	46.3	8.22	60.1	7.28	217.07	1	23.1	1.18	109.81	26.1	0.66	145.22
Poindimié	Ouindo	1	1	0	84.7	4.32	402.03	81.7	2.07	455.01	1	84.7	4.32	402.03	81.7	2.07	455.01
Poindimié	Paama	0	-	-	-	-	-	-	-	-	1	133.3	23.7	419.73	81.7	2.07	455.01
Poindimié	Pambou	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Poindimié	St Denis	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Poindimié	St Michel	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Poindimié	St Paul	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Poindimié	St Thomas	2	1	1	37.9	6.72	119.24	40.6	4.91	146.56	2	37.9	6.72	119.24	40.6	4.91	146.56
Poindimié	Ti - Ouano	2	0	2	106	18.9	334.89	116.7	14.1	421.44	1	53.2	2.71	252.34	58.3	1.48	325.01
Poindimié	Tibarama	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Poindimié	Tié	1	0	1	17.5	17.5	0.89	16.3	0.41	91	1	17.5	0.89	82.94	16.3	0.41	91
Poindimié	Tiéti	1	1	0	11.5	11.5	0.59	11.6	0.29	64.39	1	11.5	0.59	54.65	11.6	0.29	64.39
Poindimié	Tiwaka	3	1	2	188	51.1	484.63	200.6	41.4	586.19	3	187.5	51.1	484.63	200.6	41.4	586.19

Poya	Goipin	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Poya	Montfaoué	2	1	1	50.8	50.8	9.01	65.9	7.98	238.08	2	50.8	9.01	159.8	65.9	7.98	238.08
Poya	Nekliaï	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Poya	Népou	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Poya	Nétéa	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Poya	Ouendji	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Touho	Koé	1	0	1	21.2	21.2	1.08	23.6	0.6	131.25	1	21.2	1.08	100.51	23.6	0.6	131.25
Touho	Kokingone	1	0	1	38.8	1.98	183.88	45.8	1.16	255.37	2	77.5	13.8	244.03	92.9	11.3	335.76
Touho	Kongouma	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Touho	Ouanache	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Touho	Paola	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Touho	Pombeï	1	1	0	64.9	3.31	308.05	91.7	2.32	510.73	1	64.9	3.31	308.05	91.7	2.32	510.73
Touho	Tiouandé	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Touho	Tiwae	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Touho	Touho Mission	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
Touho	Vieux-Touho	0	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-

Abbreviations: N-30, number of MM cases (residence 30 years before diagnosis); wom.,women; Cr Inc, crude incidence; Nb+lg, number of MM cases (longer time of residence)

Figure 1 – MM age standardized incidence by council per 100,000 inhabitants-years, by two methods: residence 30 years before diagnosis and longer time of residence

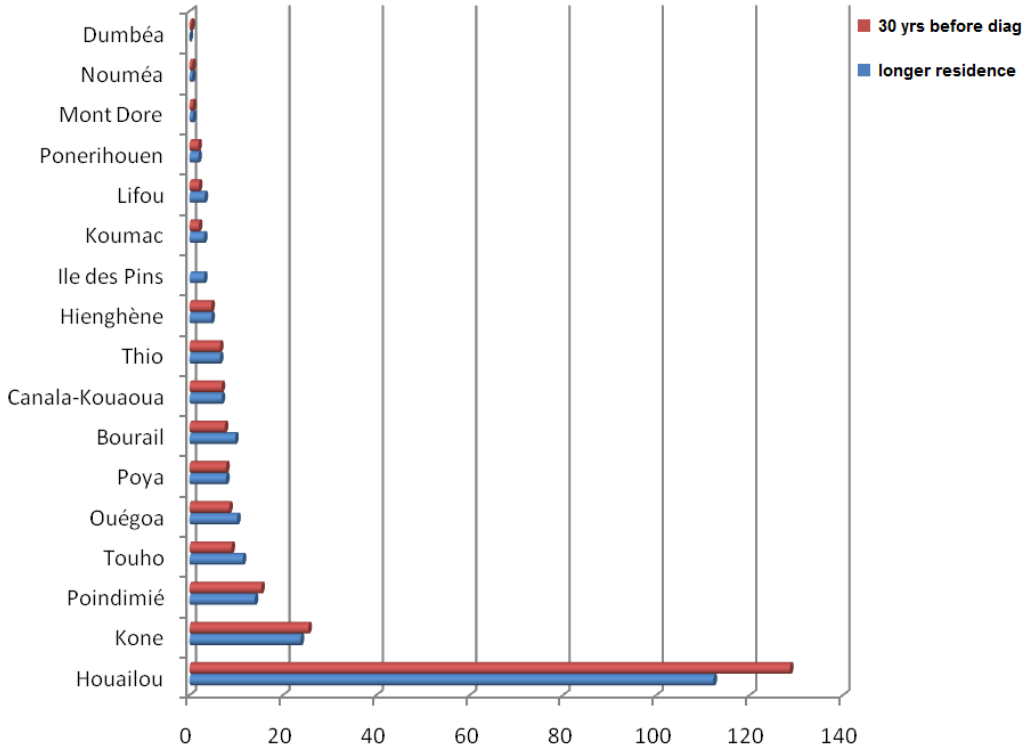
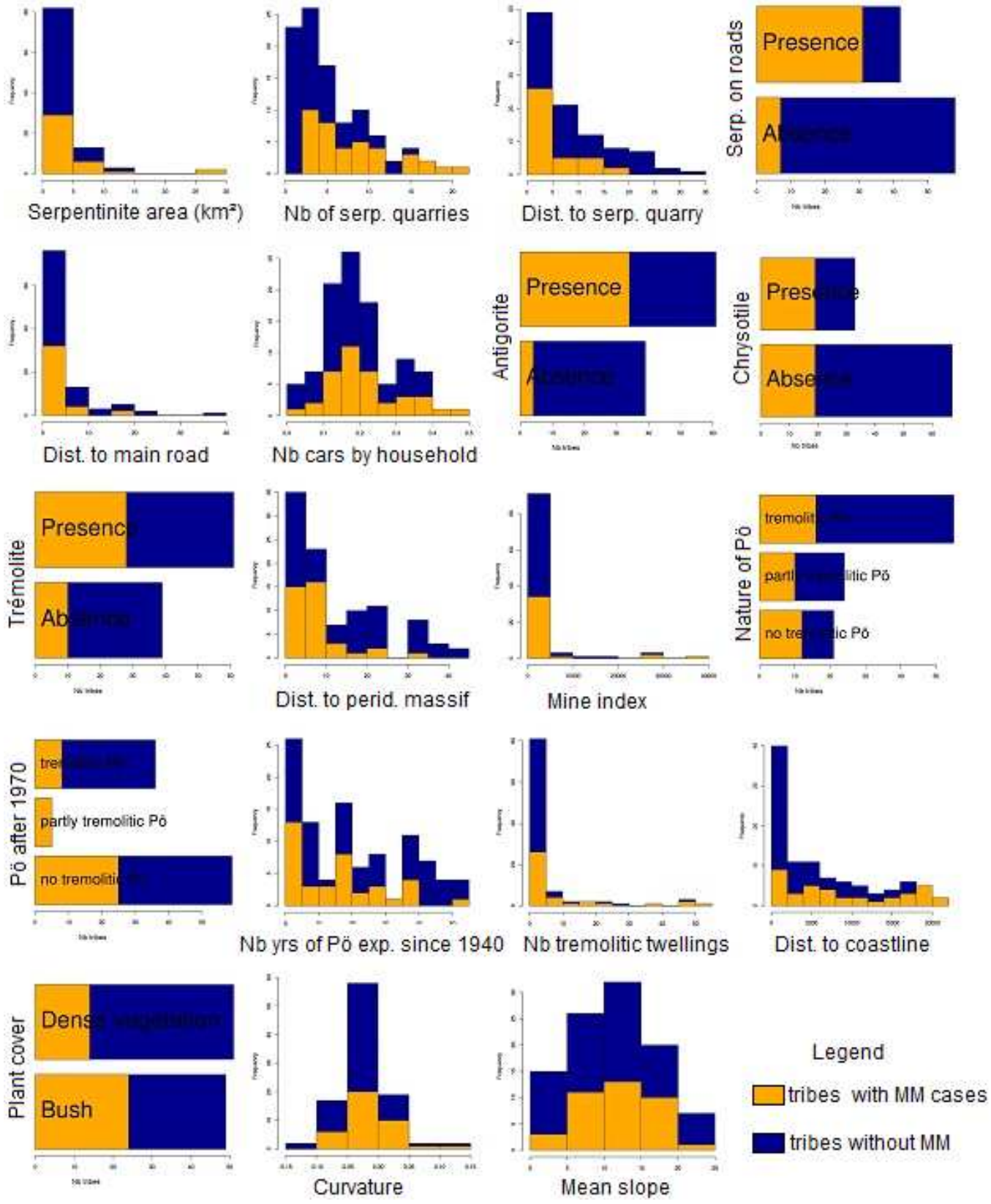
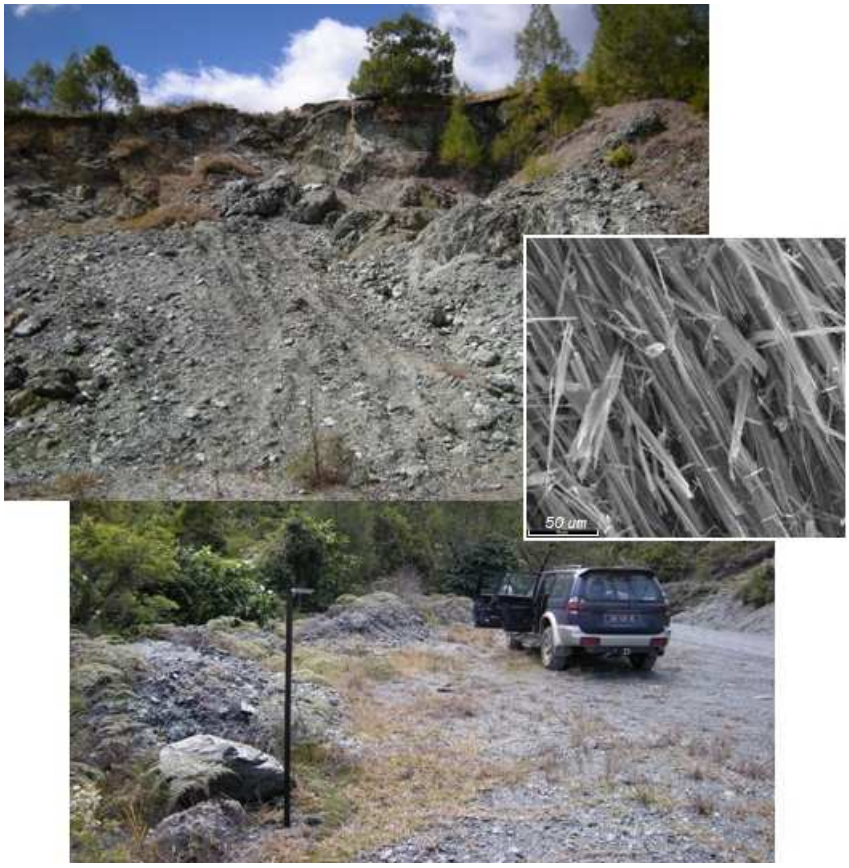


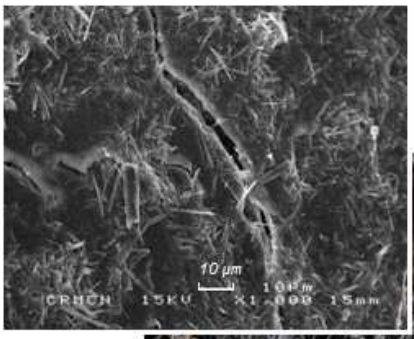
Figure 2 – Distributions of explicative variables values by tribes with and without MM cases

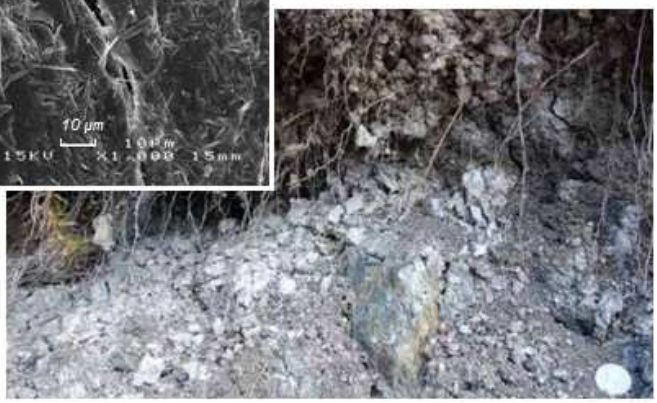


Supplemental Material, Figure 3 – Photographs of natural outcrops of tremolite, vein of chrysotile, antigorite in a serpentinite quarry and on a road, New Caledonia, and electron microphotographs

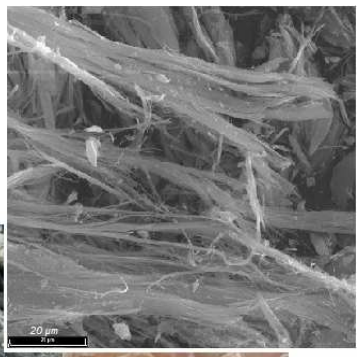


Antigorite





Tremolite



Chrysotile

Figure 4 – Maps of Houaïlou-Bourail-Poya and Kone-Poindimié-Touho-Hienghène areas, serpentinite outcrops, quarries of serpentinite and ASR of MM by tribe, 1984-2008

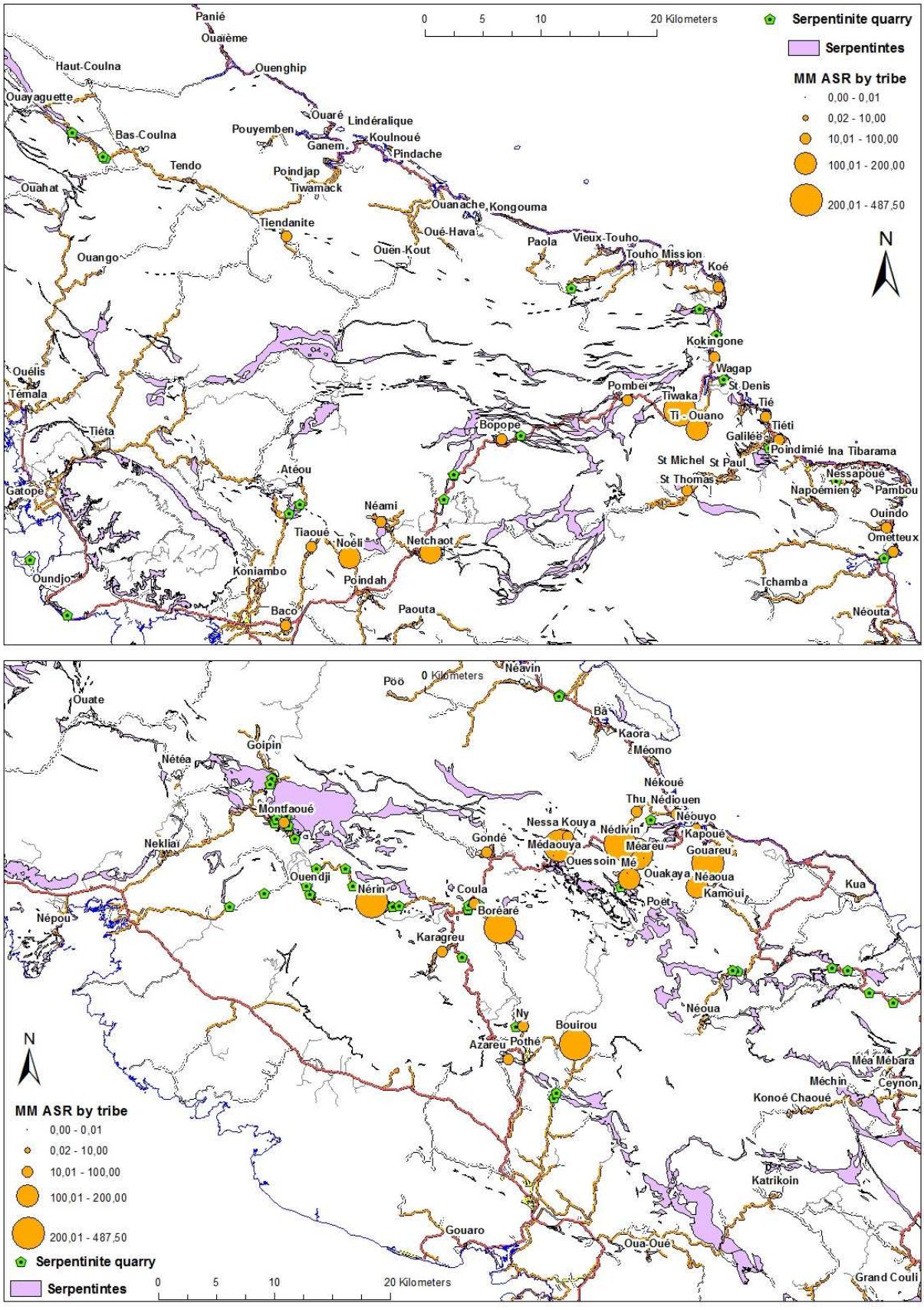


Figure 5 - Maps of Houaïlou-Bourail-Poya and Kone-Poindimié-Touho-Hienghène areas, use of tremolitic *Pö* and standardized incidence of MM by tribe, 1984-2008

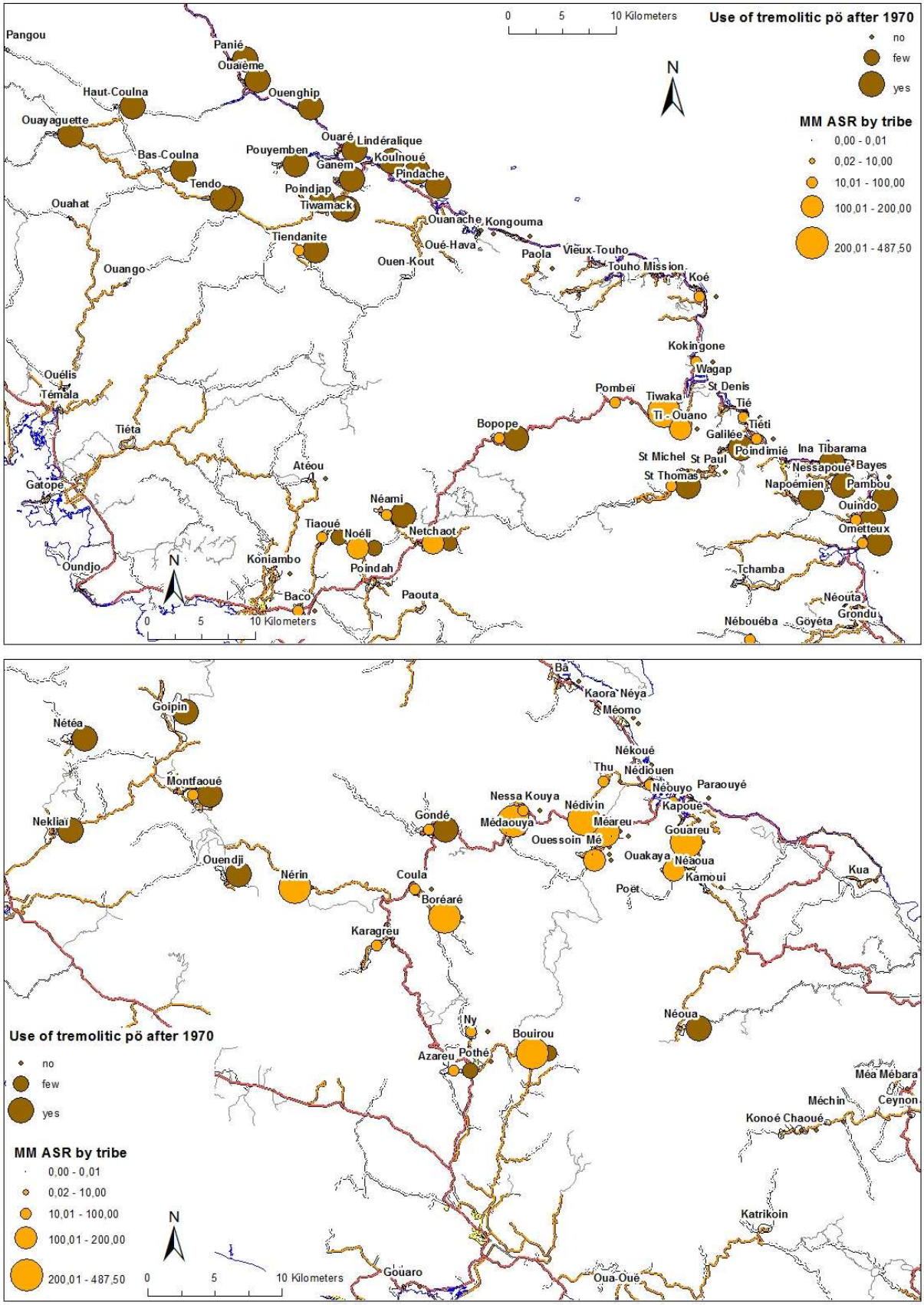


Figure 6 – Maps of Houaïlou-Bourail-Poya and Kone-Poindimié-Touho-Hienghène areas, number of dwellings covered with tremolitic *Pö* and standardized incidence of MM by tribe, 1984-2008

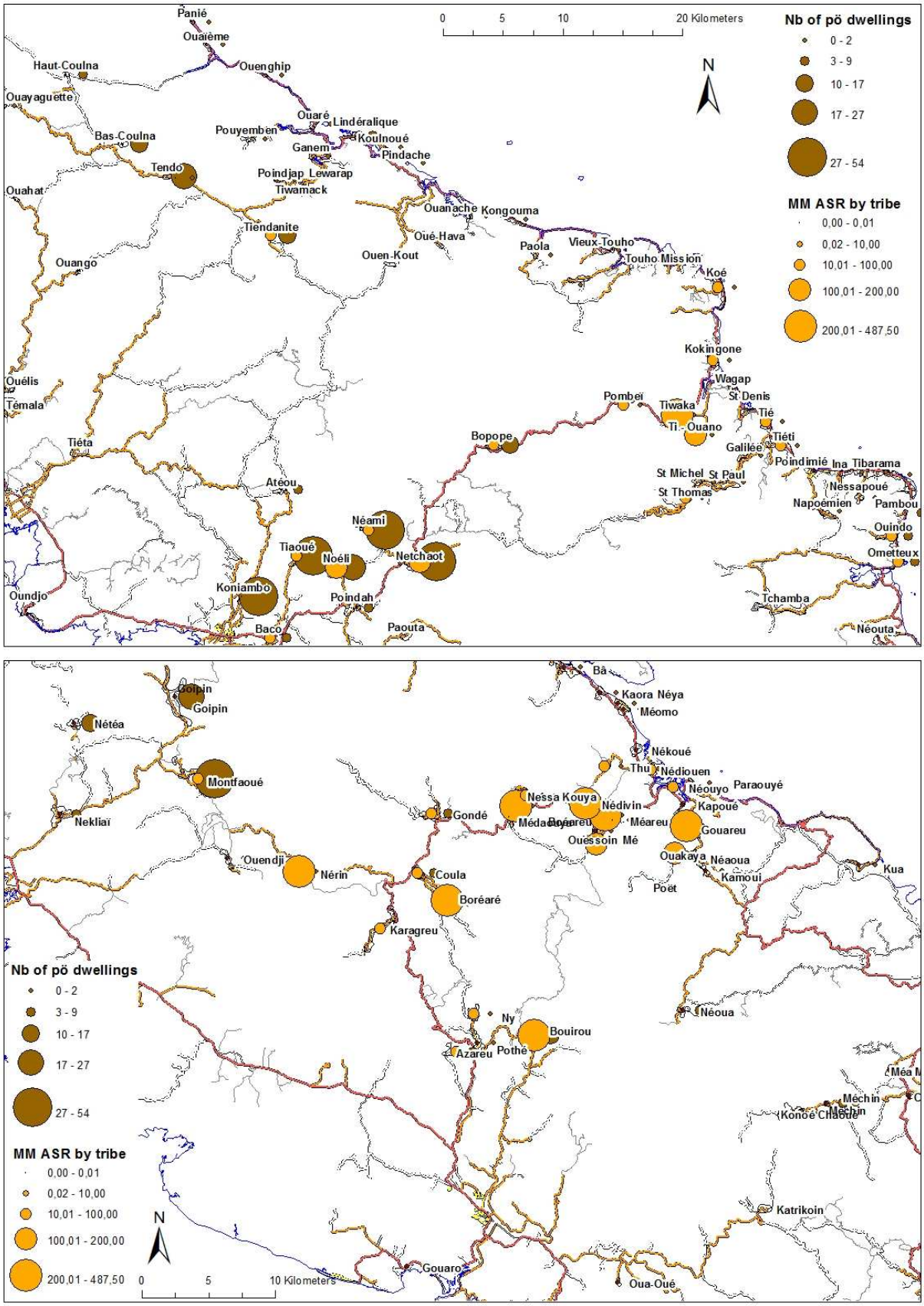
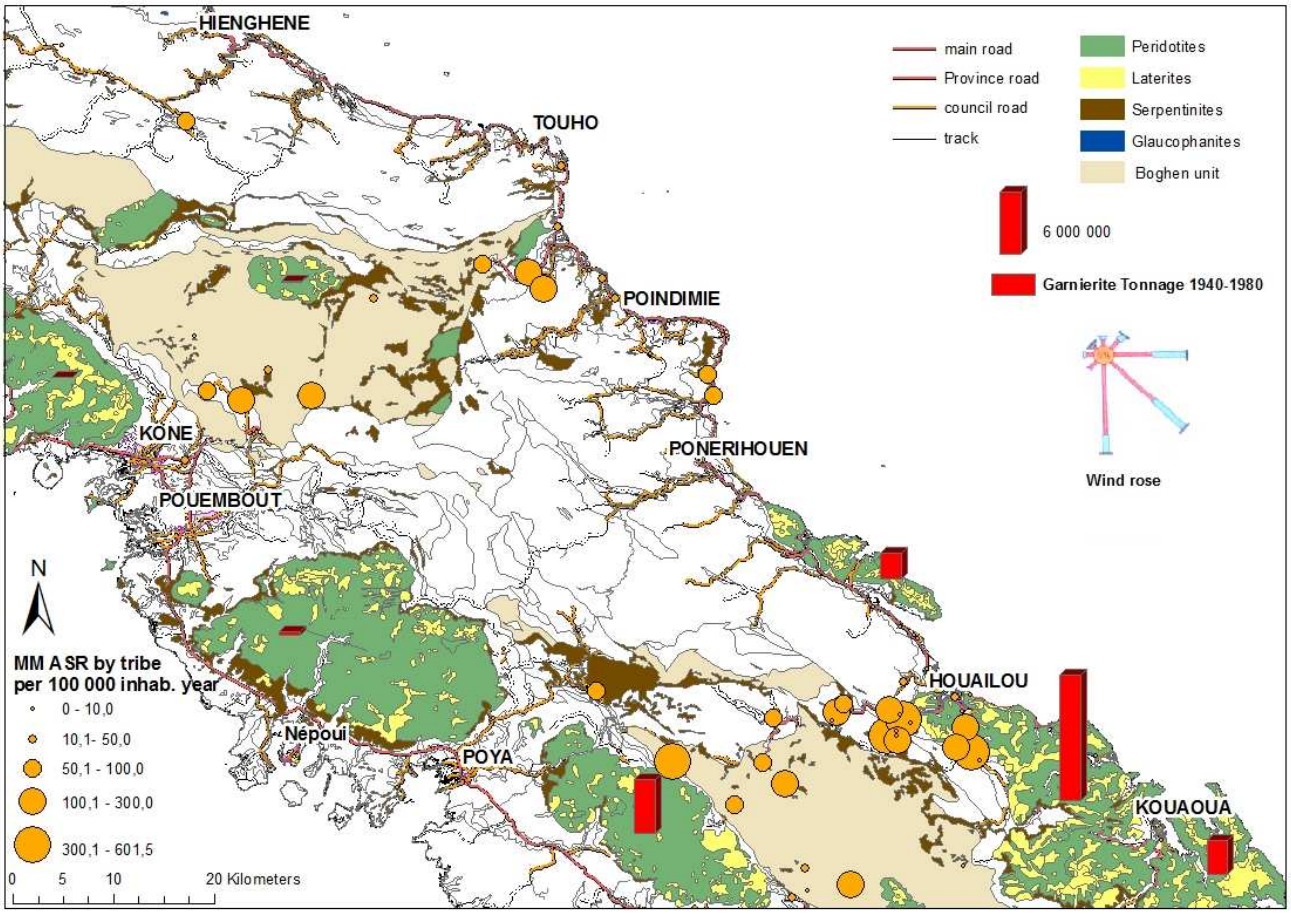


Figure 7 – Study area, geological map of asbestos bearing units, tonnage of garnierite extracted 1940-1980, main roads and MM ASR by tribe (residence 30 years before diagnosis), 1984-2008



Chapitre 7. Conclusions et perspectives

« Le chercheur doit être libre de tenter des expériences audacieuses, de soutenir des théories révolutionnaires, voire paradoxales. Il doit disposer du droit à l'erreur »

Pierre Joliot, La Recherche Passionnément

La place des cancers et l'importance du problème amiante environnemental en Nouvelle-Calédonie

Les cancers représentent la première cause de mortalité en Nouvelle-Calédonie, qui se situe aux 1ers rangs mondiaux pour l'incidence des cancers pulmonaires et du mésothéliome malin [*Ferlay et al 2003*]. Sur ces trois dernières décennies, l'incidence des cancers cutanés, cancers de la prostate, cancers de la thyroïde et cancers du sein en particulier a fortement augmenté, ce qui est révélateur à la fois de l'évolution vers un mode de vie de plus en plus occidentalisé et d'une bonne activité de dépistage des cancers.

Les cancers respiratoires et les mésothéliomes présentent des taux plus importants en Province Nord, surtout chez les femmes, très probablement en raison de l'exposition environnementale à l'amiante. Dès la fin des années 1970, le corps médical avait signalé le nombre de cas anormalement élevé pour ces cancers. A la suite d'un article révélant la présence de fibres d'amiante dans le minerai de nickel calédonien, la Société Le Nickel commandait à une équipe de l'INSERM deux études afin d'analyser l'incidence des cancers respiratoires en Nouvelle-Calédonie [*Goldberg et al 1994*] puis de rechercher les facteurs associés aux mésothéliomes malins [*Luce et al 2000*]. Ces études montraient que ces cancers n'étaient pas liés au travail à la SLN, et que les mésothéliomes trouvaient leur origine dans la pratique du *Pö*. Suivant les recommandations, les autorités sanitaires locales conduisirent à partir de 1997 une vaste campagne de recensement et de démolition des maisons « trémolite »,

accompagnée par l'organisation du suivi radiologique de la cohorte des personnes ayant vécu dans ces maisons.

Dans certaines régions (comme à Houaïlou), la vente du café puis l'activité minière avait provoqué un certain développement économique dès la fin des années 1950, entrainant celui du réseau routier. L'apport d'argent a permis aux familles de remplacer l'usage du torchis par celui de matériaux plus modernes (tôle, ciment). Dans d'autres régions plus éloignées de ces sources de revenus, telle la commune de Hienghène, le mode de vie était resté plus traditionnel et l'usage du torchis avait perduré jusqu'à la fin des années 1990, comme en témoigne le recensement des maisons « trémolite ». Nos premiers travaux sur le mésothéliome ont montré qu'une grande partie des cas se situait cependant dans les régions où l'usage du torchis avait été abandonné depuis longtemps (1/3 des cas à Houaïlou), alors que l'incidence était très faible dans certaines régions où l'usage du *Pö* trémolitique était répandu (un seul cas à Hienghène). Les analyses montraient un lien géographique significatif entre l'incidence de la maladie et la présence de serpentinite dans la commune de résidence.

Nos enquêtes ont permis de préciser l'histoire résidentielle des cas de mésothéliome diagnostiqués en Nouvelle-Calédonie de 1984 à 2008. Tenant compte du temps de latence de la maladie, l'analyse des clusters a démontré la présence d'un secteur à risque significatif de maladie (p=0,001), regroupant 18 tribus situées autour du village de Houaïlou. Deux autres clusters, non significatifs dans la zone d'étude qui s'étend de Koné-Hienghène au Nord jusqu'à Houaïlou-Bourail au Sud, se trouvaient à Koné et à Poindimié. Aucun cluster temporel n'a été mis en évidence sur les 25 années étudiées.

La présence de serpentinite sur route représente un risque majeur d'exposition environnementale à l'amiante en Nouvelle-Calédonie

Nos travaux ont démontré que le risque le plus élevé de mésotheliome était associé avec la présence de serpentinite sur route (OR = 495.0, 95%CI: 46.2–4679.7; IRR multivarié = 13.0, 95%CI: 10.2-16.6). Ces résultats ont été confirmés par d'autres indicateurs significatifs : le risque augmente avec le nombre et la proximité de carrières à serpentinite, et avec la surface de serpentinite dans le sol autour de la tribu.

En raison de ses propriétés mécaniques, de sa stabilité sous la pluie, de la facilité à extraire ce matériau et à l'écraser, la serpentinite a été largement utilisée pour encaillasser les routes. Le grand nombre de ces carrières, tout le long de la

transversale Koné-Tiwaka et dans le secteur de Houaïlou, souligne l'existence de cette pratique bien avant que les routes ne commencent à être goudronnées. Certaines de ces carrières étaient encore en activité lors de nos enquêtes, et la serpentinite était encore présente sur de nombreuses routes ou portions de routes menant aux tribus ou à des sites éloignés des villages. Cette source d'exposition à l'amiante demeure donc un risque environnemental significatif pour la santé en Nouvelle-Calédonie.

L'antigorite est une variété de serpentine, largement répandue, dont les fibres peuvent être dangereuses pour la santé

Un autre résultat intéressant de nos travaux est le risque plus important de mésothéliome associé à la présence de serpentine dans le sol, comparé au risque lié aux amphiboles. Ce résultat vient en contradiction d'une partie de la littérature, qui se situait dans le cadre de l'usage industriel de l'amiante. Dans notre étude, l'association de l'incidence du mésothéliome est beaucoup plus forte avec l'antigorite (OR=20.7, 95%CI: 4.0–106) qu'avec la trémolite-actinolite (OR=1.714, 95%CI: 0.664–4.423). Cette différence peut être expliquée par le contexte naturel dans lequel se trouvent ces minéraux, et/ou par leur usage. La trémolite se présente sous la forme d'agrégats humides de terre blanche argileuse, généralement située sous la couche de végétation, alors que la forme fibreuse d'antigorite provient de l'érosion des roches, qui se délitent en lattes de plus en plus petites, jusqu'à former une poussière très fine. Cette transformation est accélérée par l'écrasement.

Les nombreuses carrières de serpentinite que nous avons relevées au cours de nos enquêtes sont souvent non officielles, et contiennent principalement de l'antigorite. Ce matériau, utilisé pour recouvrir les routes, se retrouve écrasé en morceaux de plus en plus fins, dont la poussière est dispersée dans l'environnement par la circulation des véhicules. La population vivant autour de ces routes est contaminée de façon totalement passive ; la poussière entrant dans les maisons s'y retrouve piégée, dans un milieu confiné propice à entretenir l'exposition.

Nous avons rencontré de grandes difficultés à convaincre les autorités publiques locales que l'antigorite pouvait représenter un danger. En effet celle-ci ne figure pas parmi la liste officielle des « amiantes » cités dans la norme NFX-43050, qui définit les six silicates fibreux considérés comme dangereux et devant être recherchés par les

laboratoires. Des travaux récents ont cependant démontré la cyto-toxicité des fibres d'antigorite in vivo [*Pugnaloni et al. 2010*].

Dans le cadre du diagnostic des fibres provenant de matériaux naturels, il faudrait donc mettre en place de nouvelles normes afin d'inciter les laboratoires d'analyse à élargir leurs recherches à toutes les fibres d'origine minérale, aussi bien pour l'analyse d'échantillons de sols que pour l'analyse de l'air.

La trémolite est largement présente à l'état naturel en NC mais représente étonnamment un danger moins important que les serpentines, probablement dû au contexte environnemental

Nos enquêtes ont confirmé la vaste présence de trémolite-actinolite dans le sol de Nouvelle-Calédonie, principalement dans l'unité de la Boghen et dans l'unité métamorphique du Nord. On retrouve aussi parfois la trémolite associée à l'antigorite dans certaines terres blanches au contact entre serpentinite et schistes, et même au cœur des massifs miniers.

Dans la région centrale de la Grande Terre, à partir des années 1930, la trémolite a été largement utilisée comme enduit pour blanchir les murs des habitations, en diluant les agrégats de terre blanche avec de l'eau. Cet usage a été maintenu jusque dans les années 1990 dans certains secteurs, comme en témoignent les résultats du recensement des maisons à *Pö* trémolitique. On ne constate cependant pas de lien géographique avec la maladie : 95 maisons ont été enregistrées à Poya (avec seulement trois cas de mésothéliome, dont l'un ne vivait pas en tribu) et 65 maisons à Hienghène (un seul cas de mésothéliome), alors que seulement 26 maisons trémolitiques ont été recensées à Houaïlou et 17 à Poindimié, où les incidences du mésothéliome sont les plus élevées.

A l'issue des analyses statistiques, l'utilisation du *Pö* trémolitique ne ressort pas comme facteur de risque associé à l'incidence du mésothéliome. Différents indicateurs (nombre de maisons trémolitiques recensées, usage du *Pö* trémolitique après 1970) confirment ce résultat, qui contredit ceux de l'étude INSERM [*Luce et al 2000*]. Deux faits importants peuvent expliquer cette divergence: l'étude INSERM n'avait pas pris en compte l'exposition à la serpentinite, ce qui a probablement biaisé les résultats, et la nature fibreuse du *Pö* n'a pas été vérifiée, ni pour les cas ni pour les témoins inclus dans cette étude. La plupart des régions où le *Pö* trémolitique a été utilisé tardivement

montre des taux d'incidence du mésothéliome peu élevés, probablement parce que l'activité économique, et donc le trafic routier, étaient moins importants dans ces régions, d'où une exposition aux serpentinites probablement moins élevée.

Par ailleurs, deux hypothèses peuvent expliquer la faiblesse du lien entre trémolite et maladie : soit les fibres de trémolite sont moins dangereuses à l'état naturel (dimensions ?), soit les agrégats de terre blanche utilisés pour le *Pö* se trouvent dans un contexte argileux qui retient les fibres et évite ainsi leur dispersion. Ces hypothèses pourraient faire l'objet de travaux de recherche minéralogiques et métrologiques, dont les résultats permettraient de mieux comprendre le risque associé aux matériaux naturels fibreux.

La proximité minière représente elle aussi un facteur de risque

Les analyses univariées et multivariées ont montré que la proximité avec les massifs de péridotites était significativement associée au mésothéliome. On peut imaginer que l'activité minière sur les massifs serpentinisés produise de la poussière contenant des fibres d'amiante. Cette poussière contaminerait les tribus situées sous le vent du massif exploité, comme celles se trouvant à l'ouest du massif de Poro (Néaoua, Ouessoin, où les plus fortes incidences de mésothéliome ont été relevées). Cependant, le facteur « activité minière », calculé à partir de la production minière des années 1940-1980, de la distance à la mine, de l'orientation de la tribu par rapport à la mine et de la rose des vents, n'est pas ressorti comme facteur de risque significatif. De plus, des taux d'incidence élevés ont été relevés dans certaines régions éloignées des massifs miniers (Poindimié par exemple), et des taux relativement faibles dans des villages miniers historiques (comme Thio).

Le risque lié à la proximité minière pourrait s'expliquer par l'augmentation de l'activité routière qu'elle entraine, à la fois pour le transport des travailleurs venant des tribus environnantes, et pour les engins et camions transportant le minerai. De nombreuses inclusions de serpentinite ont été relevées dans les massifs miniers, principalement à leur base, et étaient utilisées jusque récemment pour encaillasser les pistes. Alertés par nos premiers résultats, les mineurs ont adopté des mesures de sécurité pour leurs travailleurs et abandonné l'usage de la serpentinite. Le Centre National de Recherche et de Technologie (CNRT) sur le Nickel et son environnement, mis en place en 2007, finance une étude sur la typologie et les occurrences de matériaux amiantifères sur les

massifs de péridotite afin de mieux gérer le problème de l'exposition à l'amiante sur mine.

Confinement des vallées et couverture végétale sont des facteurs protecteurs

Les facteurs : végétation dense, pente > 10° et con vexité du relief sont apparus comme des facteurs protecteurs de la maladie. Ils interviennent probablement en prévenant la propagation des fibres dans l'air.

Tous les cas possibles de mésothéliome ont été investigués

En raison de la rareté de la maladie, il était important de rechercher si des cas avaient pu échapper au registre du cancer. Nous avons vérifié les cas enregistrés sur les certificats de décès, interrogé les pneumologues du CHT ainsi que ceux du secteur libéral, visité les médecins des dispensaires. Aucun nouveau cas n'a été retrouvé.

Il était cependant troublant de constater qu'un seul cas avait été enregistré à Hienghène et deux dans les tribus de Poya, où la trémolite est massivement présente dans le sol et avait été largement utilisée pour enduire les murs des maisons. On pouvait penser que cela indiquait un défaut d'enregistrement des cancers dans ces communes. L'examen de la distribution géographique de l'ensemble des cancers pour la période 1990-2005 a montré que les taux d'incidence standardisée selon l'âge à Poya et à Hienghène étaient comparables aux taux enregistrés dans les autres communes. Hienghène présentait les plus forts taux de cancers chez les femmes, dus en particulier à l'incidence élevée des cancers de la thyroïde et des cancers du sein, ce qui montre une bonne qualité du dépistage médical et de l'enregistrement des cas dans cette région. La distribution géographique des cancers du poumon était similaire à celle des mésothéliomes, avec des taux particulièrement élevés à Houaïlou et à Poindimié, probablement liés à l'exposition environnementale à l'amiante (*cf cartes en Annexe 9*).

L'ensemble du corps médical rencontré, ainsi que les auxiliaires de santé mélanésiens et les autorités tribales nous ont confirmé que la médecine kanake ne s'opposait pas à la médecine occidentale, mais que les deux pratiques coexistaient. Il n'y a donc aucun argument valable pour affirmer que la distribution spatiale observée du mésothéliome serait due à un effet de sélection.

Le shéma d'étude le plus approprié à ce problème environnemental était celui de l'étude écologique, avec la tribu comme unité géographique

Les expositions environnementales sont généralement associées à de très faibles niveaux de risque, avec des mélanges complexes de plusieurs exposants intercorrélés [*Pekkanen et Pearce 2001*]. En raison de la longue période de latence de la maladie et de la nature involontaire de l'exposition environnementale, il est très difficile de reconstruire de façon précise et complète l'histoire personnelle des différentes expositions. De plus, la plupart des variables environnementales comme la présence de serpentinite sur route, l'activité minière ou la couverture végétale sont mesurées au niveau d'une population plutôt qu'au niveau individuel. Ces facteurs ne peuvent être analysés qu'en comparant des populations plutôt que les individus. Afin de vérifier les liens entre les divers facteurs d'exposition environnementale à l'amiante et l'incidence du mésothéliome, nous avons donc choisi pour modèle l'étude écologique, dont l'unité est géographique, et non individuelle.

Pour minimiser les biais classiques associés aux études écologiques (l'« ecological fallacy » décrite par Piantadosi et al [*1988*]), l'unité d'étude choisie est la tribu. En effet nos données étaient mesurées de façon précise à l'échelle de la tribu. Elles n'auraient pas été homogènes à des échelles plus larges (districts ou communes), qui regroupent des populations vivant dans des vallées différentes, avec des contextes géologiques parfois différents (donc des *Pö* différents), et des données environnementales qui auraient été imprécises et inexactes pour la population concernée (par exemple la distance à la carrière la plus proche, ou la courbure). Pour les mêmes raisons, nous n'avons regroupé les tribus de moins de 50 habitants avec leurs voisines que lorsqu'elles étaient situées dans la même vallée ou à moins de 5 km sur la même ligne côtière.

L'exposition professionnelle possible n'a pas été prise en compte dans l'analyse

Cela pourrait représenter une limite à notre étude. Sur l'ensemble du territoire, et particulièrement dans le Grand Nouméa, certains cas masculins et âgés pourraient avoir une origine professionnelle (travail à la SLN, chargement ou construction de bateaux, travaux publics, roulage sur mine). Or l'exposition professionnelle est une donnée individuelle qui ne peut se mesurer qu'au niveau de l'individu. L'histoire professionnelle ne pouvait être recueillie qu'en faisant appel à la mémoire des individus, le plus souvent des membres de la famille proche plutôt que les malades eux-mêmes. Elle concernait des souvenirs remontant à plusieurs décennies (au moins 30 ans). Ces

données n'étaient pas suffisamment fiables, ni détaillées, pour que l'exposition professionnelle puisse être confirmée.

Par ailleurs, le sexe ratio hommes/femmes < 1 des cas de mésothéliome et l'âge moyen, similaire dans les deux sexes et inférieur à 60 ans, indiquaient une exposition environnementale plutôt qu'une exposition professionnelle dans notre secteur d'étude. Il est très peu probable que les sources d'exposition professionnelle suivent la même distribution spatiale que les sources environnementales. En conséquence, il n'est pas plausible que le facteur de confusion représenté par l'exposition professionnelle puisse expliquer nos résultats.

Cette étude confirme que résider près d'une source naturelle d'amiante augmente le risque de mésothéliome

Ce risque environnemental avait déjà été évalué dans d'autres études: Newhouse and Thompson [*1965*] ont observé un risque relatif de 2,2 chez des sujets ayant vécu à moins de 800 m d'une usine d'amiante; Magnani et al. [*2001*] ont calculé un adds ratio (OR) de 20,6 pour les personnes vivant dans une ville où se trouvait une grande usine de fibro-ciment. Les études sur l'amiante naturel sont plus rares. Une étude conduite par Pan et al. [*2005*] a montré une décroissance du risque de mésothéliome de 6,30% pour chaque 10 km de distance supplémentaire entre le lieu de résidence et le plus proche affleurement d'amiante naturel en Californie.

L'une des forces de nos travaux est que nous avons pris en considération dans nos analyses les différentes sources possibles d'amiante naturel, leurs usages ainsi que les facteurs protecteurs environnementaux. Ainsi nous avons montré que l'utilisation de serpentinite sur les routes représentait le risque majeur de contamination à l'amiante environnemental en Nouvelle-Calédonie.

Perspectives

Les premières retombées de nos travaux ont des applications immédiates en Santé Publique. L'amiante naturel, recouvert de terre et de végétation, présentait probablement un danger bien moindre avant l'introduction de toute activité humaine. La serpentinite devient dangereuse lorsqu'elle est utilisée, et représente alors une source significative de contamination à l'amiante pour les personnes qui résident à proximité. Les premiers résultats de nos travaux ont été communiqués aux autorités locales,

contribuant à une nouvelle politique de recensement et de prévention du risque amiante environnemental en NC, et à l'élaboration de nouvelles lois pour protéger les travailleurs.

Des mesures similaires devraient être prises rapidement afin de protéger les populations. Il faudrait interdire l'usage de la serpentinite, fermer ces carrières et les recouvrir de matériau permettant à la végétation de s'y développer, recouvrir les portions de route concernées avec d'autres matériaux. Il faudrait également procéder à une information correcte des habitants et des autorités locales, prenant en compte les résultats présents sans se limiter à des shémas simplificateurs. Les médias, écoles, mairies, etc pourraient être mises à contribution, par exemple en exposant sous cloche des échantillons des roches et des sols à ne pas utiliser. La population pourrait apprendre ainsi à recouvrir de terre les matériaux amiantifères et à laisser la végétation jouer son rôle de protection naturelle.

D'autres perspectives se placent sur un plan plus scientifique. La plupart des fibres naturelles sont courtes et fines. A l'image des fibres d'antigorite, les fibres courtes (< 5 µm) ne sont pas prises en considération par les laboratoires d'analyse, alors que des études récentes ont montré qu'elles pouvaient être responsables de mésothéliome [*Suzuki 2005*]. Pour mieux comprendre le risque associé aux sources naturelles d'amiante, il faudrait étudier leur capacité à libérer des fibres dans l'air, ainsi que la nature et les dimensions des fibres associées à la maladie.

Mes travaux, dont les premiers résultats avaient rapidement remis en cause la thèse développée par l'INSERM qui désignait le *Pö* comme principale cause environnementale du mésothéliome en Nouvelle-Calédonie, ont trouvé des détracteurs très puissants dans cette équipe et dans certaines autorités locales, entrainant la remise en cause de la qualité de mon travail et la perte de mon emploi à l'Institut Pasteur NC. Je ne remercierai jamais assez mes codirecteurs et mes collaborateurs pour leur soutien durant cette épreuve, ainsi que l'équipe de l'IRD qui m'a accueillie pour me permettre de terminer ces travaux en toute sérénité. J'espère que les résultats contribueront à faire disparaitre rapidement les sources de contamination aux fibres en NC, et participeront à améliorer la connaissance sur les facteurs d'exposition à l'amiante naturel, évitant ainsi une mort prématurée à des populations non averties.

TRIATHLON
NOUMEA

REFERENCES

Aamodt G, Samuelsen SO, Skrondal A. A simulation study of three methods for detecting disease clusters. *International Journal of Health Geographics*, 2006, 5:15

Abratt R, Vorobiof D, White N. Asbestos and mesotheliioma in South Africa. *Lung cancer* 2006; 455: 53-56.

Ahmed-Michaux P, Roos W. Images de la population de la Nouvelle-Calédonie, Principaux résultats du recensement 1996. *Démographie Société*, 1997.

Aitchison JC, Clarke GL, Meffre S, Cluzel D. Eocene arc-continent collision in New Caledonia and implications for regional Southwest Pacific tectonic evolution, Geology , 1995; p 161-164.

Angleviel F. Histoire de la Nouvelle-Calédonie. Nouvelles approches, nouveaux enjeux. *L'Harmattan,* 2006.

ARAUCARIA. Inventaire des sites aménagés potentiellement amiantifères. Communes de Koné, Voh & Koumac, 2009.

Avias J. L'évolution de l'habitat indigène en Nouvelle-Calédonie de 1843 à nos jours. *Journal de la Société des océanistes,* 1953, 9 : 129-150.

Avias J. Overthrust structure of the main ultrabasic New Caledonian massives, Tectonophysics, 1967; p 531-541.

Baris YL, Artvinli M, Sahin LAA.. Environmental mesothelioma in Turkey. *Ann NY Acad Sci* 1979, 330: 423-32.

Baumann F, Rougier Y. Registre du cancer de Nouvelle-Calédonie, bilan de 15 années de surveillance. *Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire* 2005; 34 : 169-171.

Baumann F. Registre du Cancer de Nouvelle-Calédonie : Rapport de données 2005. *IPNC*, 2007.

Baumann F, Rougier Y, Ambrosi JP, Robineau B. Pleural mesothelioma in New Caledonia: An acute environmental concern. *Cancer Detection and Prevention*, 2007a, 31: 70-76.

Baumann F., Maurizot P., Ambrosi J.P., Robineau B., 2007b, Facteurs de risque du mésothéliome en Nouvelle-Calédonie : données épidémiologiques et géologiques. Confrontation des données épidémiologiques et des données géologiques pour étudier l'étiologie du mésothéliome environnemental en Nouvelle-Calédonie : application dans les deux zones test des communes de Houailou et de Bourail. *Rapport IPNC FB MOM,* 2007.

Baumann F., Maurizot P., Robineau B., Ambrosi JP., 2008, L'amiante environnemental en Nouvelle-Calédonie : Confrontation des données épidémiologiques et des données écologiques dans le secteur de Koné-Touho-Poindimié, et Identification des fibres aériennes d'amiante dans les zones à risques de Houailou-Bourail. *Rapport IPNC FB MOM,* 2008.

Baumann F, Magnat E, Dambreville R, Barny S. Registre du cancer de Nouvelle-Calédonie : bilan des données 2007. 30 années d'enregistrement des cancers en Nouvelle-Calédonie, 1977-2007. *IPNC*, 2009.

Bensa A, Leblic I. En Pays Kanak. Mission du Patrimoine ethnologique, *Collection Ethnologie de la France*, 2000.

Birrell K, Wright A. 1945. A serpentine soi1 in New Caledonia. New Zealand J Sci Techn 27:72-76.

Blanc M, Goldberg P. Cancer des voies respiratoires et travail dans l'extraction et le raffinage du nickel en Nouvelle-Calédonie. *Population*, 1985 ; 1 : 166-172.

Boulay R, Bensa A, Saussol A. La maison kanak. *Parenthèses. ORSTOM,* 1990.

Britton M. The epidemiology of mesothelioma. *Semin Oncol*. 2002; 29(1): 18-25.

Carbone M, Emri S, Dogan A, Steele I, Tuncer M, Pass H and Baris Y. 2007. A mesothelioma epidemic in Cappadocia: scientific developments and unexpected social outcomes. Nat Rev Ca 7:147-154.

Cheng T, Wen C. Quantifying the risks of mesothelioma and lung cancer from environmental crocidolite exposure in Da-yao, China. *Oral session: Epidemiology III.* 2006

Clayton DG, Bernadinelli L, Montomoli C. Spacial correlation in ecological analysis. *Int J Epidem*, 1993 ; 22(6): 1193-1202.

Cluzel D, Pelletier. Compte-rendu préliminaire de la visite géologique du secteur de Montfaoué (Poya). Rapport UNC-SLN, 1994.

Cluzel D. Affinites intra-océaniques des métavolcanites de l'unité de la Boghen (ex-ante-Permien de Nouvelle-Calédonie, Pacifique sud-ouest); conséquences paléogéographiques, C.R. Acad. Sci, Paris, 1996 ; p 657-664.

Constantopoulos SH, Malamou-Mitsi V, Goudevenos J, Papathanasiou MP, Pavlidis NA, Papadimitriou CS. High incidence of malignant pleural mesothelioma in neighbouring villages of North-Western Greece. *Respiration* 1987; 51: 266-71.

Cugell D., Kamp D. Asbestos and the pleura. *Chest*. 2004; 125 : 1103-1117

Das PB, Fletcher AG, Deodhare SG. Mesothelioma in an agricultural community in India: a clinicopathological study. *Aust NZ J Surg* 1976; 46: 218-26.

David G, Guillaud D, Pillon P. La Nouvelle-Calédonie à la croisée des chemins. *Société des Océanistes - ORSTOM* 1999.

Direction Territoriale des Affaires Sanitaires et Sociales. Etat de santé en Nouvelle-Calédonie du 1er janvier au 31 décembre 1992. *DTASS NC* 1993.

Direction des affaires sanitaires et sociales de la Nouvelle-Calédonie. Situation sanitaire en Nouvelle-Calédonie 2008. *DASS NC* 2010.

Dodson RF, O'Sullivan M, Brooks DR, Hammar SP. Quantitative analysis of asbestos burden in women with mesothelioma. *Am J Ind Med*. 2003; 43(2): 188-95.

DPASS-PS. Trémolite : récapitulatif des bâtiments et populations (risque Trémolite). *DPASS-PS, 2001*.

Dubois JP. Communications et transports, *Atlas de la Nouvelle-Calédonie et dépendances. ORSTOM* 1981

Duczmal L, Kulldorff M, Huang L. Evaluation of spatial scan statistics for irregular shaped clusters. *Journal of Computational and Graphical Statistics* 2006, 15:428-442.

Emri S, Demir A, Dogan M, et al. Lung diseases due to environmental exposures to erionite and asbestos in Turkey *Toxicology Letters* 2002, 127: 251–257

Ferlay J, Bra F, Pisani P and Parkin DM, GLOBOCAN 2002, Cancer Incidence, Mortality and Prevalence Worldwide, IARC, 2003.

Ferrante D, Bertolotti M, Todesco A, Mirabelli D, Terracini B, Magnani C. 2007. Cancer mortality and incidence of mesothelioma in a cohort of wives of asbestos workers in Casale Montferrato, Italy; Environ Health Perspect 115:1401–1405.

Fukuda Y, Umezaki M, Nakamura K, Takano T. Variations in societal characteristics of spatial disease clusters: examples of colon, lung and breast cancer in Japan. *International Journal of Health Geographics* 2005*,* 4:16.

Garnier J. Essai sur la Géologie et les ressources minérales de la Nouvelle Calédonie. *Ann. Mines* 1867 ; 6 Séries, 12, 1-92.

GéoImpact, Cartographie des formations géologiques de la région de Houaïlou. Identiffication des sites aménagés potentiellllement amiantifères, 2007.

GéoImpact, Etude de l'amiante environnemental des régions de Houaïlou et de Bourail. Inventaire des sites aménagés potentiellement amiantifères, 2008a.

GéoImpact, Etude de l'amiante environnemental, Commune de Hienghène. Inventaire des sites aménagés potentiellement amiantifères, 2008b.

Gilg Soit Ilg A, Launoy G, Galateau-Sallé F, Astoul P, Brochard P, Pairon JC, Imbernon E, Goldberg M. Estimation de l'incidence du mésothéliome en France à partir des données du Programme National de Surveillance du Mésothéliome. *Revue d'Epiodémiologie et de Santé Publique* 2002 ; 50 (4).

Gilg Soit Ilg A., Chamming's S., Rolland P., Ducamp S., Brochard P., Galateau-Sallé F., Pairon J.C., Astoul P., de Quillacq A., Frenay C., Goldberg M., Imbernon E. - Programme national de surveillance du mésothéliome (PNSM) - Principaux résultats1998-2006. Saint-Maurice (Fra) : *Institut de Veille Sanitaire*, 2009.
http://www.invs.sante.fr/publications/2009/pnsm/pnsm_resultats_1998_2006.pdf

Goldberg P, Goldberg M, Marne MJ, Hirsch A, Tredaniel J. Incidence of pleural mesothelioma in New Caledonia: a 10-year survey (1978-1987). *Arch Environ Health* 1991; 46 : 306-9.

Goldberg M, Goldberg P, Leclerc A, Chastang JF, Marne MJ, Dubourdieu D. A 10-year incidence survey of respiratory cancer and a case-control study within a cohort of nickel mining and refining workers in New Caledonia, *Cancer Causes Control* 1994; 5: 15-25.

Goldberd P, Luce D, Billon-Gailland MA, et al. Identification d'un excès de risque de cancer de la plèvre en Nouvelle-Calédonie lié à l'exposition environnementale et domestique à la trémolite. 1995. Rev Epidemiol Santé Publique 43:444-50.

Groppo C. Le risque asbeste dans les Alpes Occidentales. Cartographie, pétrographie, quantification des minéraux fibreux dans les serpentinites asbestipheres de la zone piémontaise. Application aux vallées de Susa et de Lanzo. *Thèse de Géologie, Université de Grenoble*, 2005.

Groppo C, Rinaudo C, Cairo S, gastaldi D, Compagnoni R. Micro-raman spectroscopy for a quick and reliable identification of serpentine minerals from ultramafics. *Eur. J. Mineral.* 2006, 18, 319-329.

Guillon JH. Les massifs péridotitiques de Nouvelle-Calédonie – Type d'appareil ultrabasique stratiforme de chaine récente. *Mémoires de l'ORSTOM*, 1973.

Gulmez I, Karl L, Buyukoglan H, Er O, Balkanli S, Ozesmi M. Evaluation of malignant mesothelioma in central Anatolia: a study of 67 cases. *Can Respir J*. 2004; 11(4): 287-290.

Hansen J, de Klerk NH, Musk AW, Hobbs MS. Environmental exposure to crocidolite and mesothelioma: exposure-response relationships. *Am J Respir Crit Care Med*. 1998; 157 (1): 69-75.

Hertzog P, Meininger J. Rapport « Mésothéliomes et Cancers du poumon en Nouvelle-Caldonie », *Société le Nickel Nouméa*, 1980.

Hillerdal G. 1999. Mesothelioma: cases associated with non-occupational and low dose exposures. Occup Environ Med 56:505–513.

Hodgson JT, Darnton A. The quantitative risks of mesothelioma and lung cancer in relation to asbestos exposure. *Ann Occup Hyg*. 2000; 44(8): 565-601.

Houchot MA. De l'évaluation en santé publique à une démarche de géographie de la santé : Le risque amiante environnemental en Nouvelle-Calédonie. *Thèse de géographie. Université de Nouvelle-Calédonie,* 2009.

IARC. IARC Monographs, Supplement 7: Asbestos. Lyon, *International Agency for research on Cancer*, 1987.

Ingémine, Inventaire des sites aménagés potentiellement amiantifères. Commune de Poindimié, 2008.

Ingémine, Inventaire des sites aménagés potentiellement amiantifères. Commune de Touho, 2009.

INSEE-ITSEE. Résultats des Recensements de la population de la Nouvelle-Calédonie, 1976, 1983, 1989, 1996, 2004.

Kasarherou C. Histoire démographique de la population Mélanésienne de la Nouvelle-Calédonie entre 1840 et 1950. *Thèse de Doctorat, Université Paris I*, 1992.

Koike S. Health effects of non-occupational exposure to asbestos. *Sangyo Igaku*. 1992; 34 (3): 205-15.

Kuhm R., Regard des gens de Maré sur le diabète de type II. *Thèse de médecine*, *Université de Grenoble*, 2009.

Kulldorff M. and Information Management Services, Inc. SaTScanTM v8.0: Software for the spatial and space-time scan statistics, 2009 http://www.satscan.org.

Kulldorff M, Song C, Gregorio D, Samociuk H, DeChello L. Cancer map patterns: Are they random or not? *American Journal of Preventive Medicine*, 30:S37-49, 2006.

Kulldorff M. Bernoulli, Discrete Poisson and Continuous Poisson Models*:* A spatial scan statistic. *Communications in Statistics: Theory and Methods*, 1997, 26:1481-1496.

Lahondère D, L'amiante environnemental en Nouvelle Calédonie : Expertise géologique des zones amiantifères. Evaluation des actions engagées. *BRGM/RP-55894-FR,* 2007.

Lahondère D, Maurizot P, Typologie et mise au point d'un protocole d'échantillonnage des occurrences d'amiante en Nouvelle-Calédonie. Atlas A3. *Rapport BRGM,* 2009.

Landrigan PJ, Nicholson WJ, Susuki Y, Ladou J. The hazards of chrysotile asbestos: a critical review. *Ind Health*. 1999; 37(3): 271-80.

Langer AM, Rohl AN, Slikoff IJ, Harlow GE, Prinz M. Asbestos as a Co-factor in Carcinogenesis Among Nickel Procesing Workers. *Science* 1980; 209: 420-422.

Latham M. Altération et pédogenèse sur roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie – genèse et évolution des accumulations de fer et de silice en relation avec la formation du modelé. *Mémoires de l'ORSTOM*, 1986.

Leenhardt M. Notes d'ethnologie néo-calédonienne. *Travaux et Mémoires d'Ethnologie. Université de Paris VIII,* 1930.

Leigh J, Davidson P, Hendrie L, Berry D. Malignant mesothelioma in Australia, 1945-2000. *Am J Ind Med*. 2002; 41(3): 188-201.

Lepoutre M. Pluralisme médical à Lifou. En Pays Kanak. *Ethnologie de la France Cahier n°14* , 2000.

Lessard R, Reed D, Maheux B, Lambert J. Lung Cancer in New Caledonia. A Nickel Smelting Island. *J Occup Med* 1978; 20: 815-817.

Luce D, Bugel I, Goldberg P, Goldberg M, Salomon C, Billon-Galland MA, et al. Environmental exposure to tremolite and respiratory cancer in New Caledonia: A case-control study. *Am J Epidemiol* 2000; 151 (3) : 259-265.

Luce D, Billon-Galland MA, Bugel I, Goldberg P, Salomon C, et al. Assessment of Environmental and Domestic Exposure to Tremolite in New Caledonia. *Arch Environ Health* 2004; 59 (2) : 91-100.

MacDonald AD, MacDonald JC. Epidemiology of malignant mesothelioma in *Asbestos related Malignancy*. 1986 ; 31-35.

Magee F, Wright JL, Chan N, Lawson L, Churg A. Malignant mesothelioma caused by childhood exposure to long-fiber low aspect ratio tremolite. *Am J Ind Med*.1986 ; 9: 529-33.

Magnani C, Dalmasso P, Biggeri A, Ivaldi C, Mirabelli D. Increased Risk of Malignant Mesothelioma of the Pleura after Residential or Domestic Exposure to Asbestos : A Case-Control Study in Casale Monferrato, Italy. *Environ Health Persp* 2001; 109 (9): 915-919.

Marchevsky AM, Wick MR. Current controversies regarding the role of asbestos exposure in the causation of malignant mesothelioma: the need for an evidence-based approach to develop medicolegal guidelines. *Ann Diagn Pathol*. 2003; 7(5): 321-32.

Maurizot P. Carte géologique à l'échelle du 1 / 50 000, Nouvelle-Calédonie, feuille Pam - Ouégoa, 1989.

Maurizot P. Amiante environnemental en Nouvelle-Calédonie. Compte-rendu de reconnaissance de la RP N 3. DIMENC, 2007.

Maurizot P, Baumann F, Robineau B, Baltassat JM, Amiante environnemental en Nouvelle-Calédonie : Identification des fibres aériennes d'amiante dans les zones à risques de mésothéliome révélées par l'enquête épidémiologique dans le secteur de Koné-Touho-Poindimié. *Rapport BRGM* RP- 56198 – FR, 2008.

Maurizot P, Baumann F, Buisson D, Chevrel S, Despinoy M, Amiante environnemental en Nouvelle-Calédonie : Poursuite de l'enquête épidémio-géologique et Méthodologie d'utilisation d'un capteur hyperspectral. *Rapport BRGM* RP- 57103 – FR, 2009a.

Maurizot P, Sevin B. Amiante environnemental en Nouvelle-Calédonie : Compte-rendu de reconnaissance de la RP 10. DIMENC, 2009b

Maurizot P, Vendé-Leclerc M, 2009c. Carte géologique de la Nouvelle-Calédonie au 1/500 000. Direction de l'Industrie, des Mines et de l'Energie. Service de la géologie de Nouvelle-Calédonie. Bureau de Recherches Géologiques et Minières. Notice explicative par Maurizot P et Collot J, 2009c.

McConnochie K, Simonato L, Mavrides P, Christofides P, Pooley FD, Wagner JC. Mesothelioma in Cyprus: the role of tremolite. *Thorax,* 1987; 42: 342-7.

Meininger J, raffinot P, Troly G. Cancer in Nickel processing Workers in New Caledonia. *Science*, 1982; 215, 424-425.

Merler E, Chellini E. Epidemiology of primary tumors of the pleura. *Ann Ist Super Sanita*. 1992; 28(1): 133-46.

Metintas M, Ozdemir N, Hillerdal G, et al. Environmental asbestos exposure and malignant pleural mesothelioma. *Resp Med*. 1999; 93 : 349-355.

Maule MM, Magnani C, Dalmasso P, Mirabelli D, Merletti F, Biggeri A. Modelling Mesothelioma Risk Associated with Environmental Asbestos Exposure. *Environ Health Persp* 2007; 115 (7) : 1066-1071.

Merler E, Chellini E. 1992. Epidemiology of primary tumors of the pleura. Ann Ist Super Sanita 28(1):133-46.

Montanaro F, Bray F, Gennaro V, Merler E, Tyczynski J, Parkin D. 2003. Pleural mesothelioma incidence in Europe: evidence of some deceleration in the increasing trends. Cancer Causes and Control 14:791-803.

Morinaga K, Kishimoto T, Sakatani M, Akira M, Yokoyama K, Sera Y. Asbestos-related lung cancer and mesothelioma in Japan. *Ind Health*. 2001; 39(2): 65-74.

Newhouse ML, Thompson H. 1965. Mesothelioma of pleura and peritoneum following exposure to asbestos in the London area. Br J Ind Med 22:261-269.

Nicholson WJ, Raffn E. Recent data on cancer due to asbestos in the U.S.A. and Denmark. *Med Lav* 1995; 86(5): 393-410.

Niklinsky J, Niklinska W, Chyczewska E, Laudanski J, Naumnik W, Chyczewski L, et al. The epidemiology of asbestos-related diseases. *Lung Cancer*. 2004; 45 (S1): S7-S15.

Ozonoff A, Webster T, Vieira V, Weinberg J, Ozonoff D, Aschengrau A. Cluster detection methods applied to the Upper Cape Cod cancer data. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 2005, 4:19.

Pan XI, Day H, Wang W, Beckett L, Schenker B. Residential Proximity to Naturally Occuring Asbestos and Mesothelioma Risk in California. *Am J Resp Crit Care Med* 2005; 172 (9): 1019-1025.

Paris JP, cartographer. Atlas de la Nouvelle-Calédonie, Géologie [map]. *Service cartographique de l'ORSTOM*, 1981.

Pekkanen J, Pearce N. 2001. Environmental Epidemiology: Challenges and Opportunities. Environ Health Perspect 109:1-5.

Piantadosi S, Byar D, Green S. The ecological fallacy. *American journal of Epidemiology,*1988, 127: 893-904.

Picard C. Caractéristiques minéralogiques de la pierre à savon (stéatite) utilisée par les sculpteurs de la région de Hienghène et Pouébo (Nouvelle Calédonie). Rapport d'expertise de l'Université de la Nouvelle Calédonie pour la Direction Provinciale de l'Action Sanitaire et Sociale de la Nouvelle Calédonie, 2005.

Picard C. L'aléa amiante environnemental dans le nord de la Nouvelle Calédonie. Géologie, distribution et caractéristiques des affleurements à minéraux fibriformes de talc-trémolite-antigorite et chrysotile de la région de Hienghène. Rapport final, *DASS-NC*, Nouméa, 2006.

Pollack LA, Gotway CA, Bates JH, Parikh-Patel A, Richards TB, Seeff LC, Hodges H, Kassim S. Use of the spatial scan statistic to identify geographic variations in late stage colorectal cancer in California (United States). *Cancer Causes and Control*, 2006, 17:449–457.

Pugnaloni A, Giantomassi F, Lucarini G, *et al*. Effects of asbestiform antigorite on human alveolar epithelial A549 cells: A morphological and immunohistochemical study. *Acta histochemica* 2010 ; (112) 133 :146

Putzu MG, Bruno C, Zona A, Massiccio M, Pasetto R, Piolatto PG and Comba P. 2006. Fluoro-edenitic fibres in the sputum of subjects from Biancavilla (Sicily): a pilot study. *Env Health* 5:20.

Qaeze P. La médecine Traditionnelle. *Bulletin Médical Calédonien,* 2005, 42 : 4.

Record F. Amiante environnemental en Nouvelle-Calédonie. Cartographie des serpentinites (Poya-Houaïlou) et étude des occurrences de fibres (Hienghène). Mémoire d'Ingénieur Géologue n°331, *Institut Polytechnique Lasalle Beauvais*, 2008.

Rees D, Goodman K, Fourie E, Chapman R, Blignaut C, Bachmann MO, et al. Asbestos exposure and mesothelioma in South Africa. *S Afr Med J* 1999; 89(6): 627-34.

Rees D, Myers JE, Goodman K, Fourie E, Blignaut C, Chapman R, et al. Case-control study of mesothelioma in South Africa. *Am J Ind Med* 1999; 35(3): 213-22.

Rey F, Viallat JR, Boutin C, Farisse P, Billon-Galland MA, Hereng P, et al. Les mésothéliomes environnementaux en Corse du nord-est. *Rev Mal Respir* 1993 ; 10: 339-345.

Robinson BWS, Musk AW, Lake RA. Malignant Mesothelioma. *Lancet* 2005; 397-408.

Rogers A, Nevill M. Occupational and environmental mesotheliomas due to crocidolite mining activities in Wittenoom, Western Australia. *Scand J Work Environ Health*. 1995; 21(4): 259-64.

Ross D, McDonald JC. Occupational and geographical factors in the epidemiology of malignant mesothelioma. *Monaldi Arch Chest Dis.* 1995; 50(6): 459-63.

Roos F. "Physiopathologie des maladies liées à l'amiante". *INRS*, 1999.

Rothschild H, Mulvey JJ. An increased risk for lung cancer mortality associated with sugar cane farming. *J Natl Cancer Inst* 1982 ; 68: 755-60.

Salomon C. Savoirs et pouvoirs thérapeutiques kanaks. *Ethnologies*. INSERM, Paris, 2000.

Sand C. « Le temps d'avant ». La préhistoire de la Nouvelle-Calédonie. Contribution à l'étude des modalités d'adaptation et d'évolution des sociétés océaniennes dans un archipel au Sud de la Mélanésie. *L'Harmattan,* 1995.

Schreier H. Asbestos in the natural environment. *Studies in Environmental Science (37*), 1989

Semah A.M. Recherche des traces de la première conquête des vallées dans le nord de la Grande-Terre (Nouvelle-Calédonie). Archéologie en grotte et étude du paléoenvironnement à Koumac. *Journal de la Société des océanistes* 1998 ; (107) 2 :169-178

Sevin B., Lesimple S., Maurizot P., Vendé-Leclerc M. Synthèse des observations du Service Géologique de la DIMENC au niveau du futur lotissement de Ouaré (Waré). Rapport DIMENC/SGNC, 2009.

Sheehan TJ, DeChello LM. A space-time analysis of the proportion of late stage breast cancer in Massachusetts, 1988 to 1997. *International Journal of Health Geographics*, 2005, 4:15.

Suzuki Y, Yuen SR. Asbestos fibers contributing to the induction of human malignant mesothelioma. *Ann N Y Acad Sci* USA 2002; 982: 160-76.

Suzuki Y, Yuen S, Ashle R. Short, thin asbestos fibers contribute to the development of human malignant mesothelioma: pathological evidence *Int. J. Hyg. Environ. Health* 208, 2005 ; 201–210.

Szeszenia-dabrowska N, Wilczynska U, Szymczak W, Laskowicz K. Environmental exposure to asbestos in cement workers: a case of additional exposure from indiscriminate use of industrial wastes. *Ind J Occup Med Environ Health* 1998; 11(2): 171-7.

Tango T, Takahashi K. A flexibly shaped spatial scan statistic for detecting clusters. *International Journal of Health Geographics*, 2005, 4:11.

Thouvenin MA. Mésothéliomes malins en Nouvelle-Calédonie. *Mémoire de Toxicologie clinique. Grenoble* (France), 1992.

Trescases JJ. L'évolution géochimique supergène des roches ultrabasiques en zone tropicale. Formation des gisements nickélifères de Nouvelle-Calédonie. *Mémoires de l'ORSTOM*, 1975.

Tweedale G, Hansen P. Protecting the workers: the medical board and the asbestos industry, 1930s-1960s , *Med Hist*, 1998; 42: 439-57

Viallat JR, Farisse P, Rey F, Boutin C. Epidemiologie et étiologie des mésothéliomes. *Rev Prat* 1990; 40: 1842-5.

WHO. Environmental Health Criteria 53: Asbestos and Other Natural Mineral Fibres. Geneva, *World Health Organization*, 1986.

Yazicioglu S, Ilcayto R, Balci K, Sayli BS, Yorulmaz B. Pleural calcification, pleural mesotheliomas, and bronchial cancers caused by tremolite dust. *Thorax* 1980; 35: 564-9.

Annexe 1 – Cas 1984-2002 inclus dans l'enquête sur Houaïlou-Bourail

Tableau 1 – Sexe, âge, année d'exposition au *P*ö (trémolitique ou non) et lieux de résidence des cas de mésothéliome enregistrés et ayant vécu à Bourail et Houailou, 1984-2002

No	Sx	Age	AnPö[1]	Habit1[2]	An1[3]	Habit2[2]	An2[3]	Habit3[2]	An3[3]	Ecole1	Ecole2
H1	H	78	63	NEOUYO	28	GOAREU	50			DONEVA	Païta
H2	H	69	50	NEAOUA	69					NINDIAH	
H3	H	63	20	KAMOUI	30	NEAOUA	33			NINDIAH	
H4	H	57	30	WARAI	20	NEAOUA	20	WARAI	17	NINDIAH	
H5	F	86	20	OUESSOIN	20	POINDIMIE		BOURAIL		DONEVA	
H6	F	60	40	OUESSOIN	20	WARAI	3	OUESSOIN	17	NEDIVIN	
H7	F	47	13	NEDIVIN	20	GOAREU	27			NEDIVIN	
H8	H	87	45	NEDIVIN	76					DONEVA	
H9	F	56	23	NEDIVIN	22	NESSAKOUYA	38			DONEVA	
H10	F	75	54	WARAI	20	NEOUYO	32	NEPOUI	3	DONEVA	
H11	H	58	28	WARAI	58					NEKOUE	
H12	H	75	35	GOAREU	25	Nouméa	11	WARAI	39	DONEVA	
H13	H	68	20	Hienghene		Ducos		NEAOUA	38	non	
H14	F	38	20	KARAGREU	20	Nouméa	18			AZAREU	
H15	F	68	40	NESSAKOUYA	20	OINGO	48			DONEVA	
H16	F	54	20	NINDIAH	54					NINDIAH	AZAREU
H17	H	45	21	GORAWI	21	NINDIAH	33			NINDIAH	
H18	F	64	19	NERIN	19	GONDE		Nouméa		COULA	
B1	H	51	20	BOUIROU	20	POTHE	30			BOUIROU	
B2	F	31	10	BOUIROU	20	BOURAIL	11			AZAREU	
B3	F	52	20	BOREARE	20	NOUMEA	24	POTHE	7	COULA	
B4	F	81	20	KARAGREU	1	GOAREU	23	BOUIROU	48	BOUIROU	

[1] *AnPö : nombres d'années de vie dans une habitation recouverte de Pö (trémolitique ou non)*

[2] *Habit1, Habit2, Habit3 : tribus d'habitations successives*

[3] *An1, An2, An3 : durée (années) de résidences successives*

Tableau 2 – Activités professionnelles des cas de mésothéliome enregistrés et ayant vécu à Bourail et Houailou, 1984-2002

N°	Activité1	Activité2	Activité3
1	maçonnerie	extracteur mine	dynamite Poro
2	déchargement bateaux	prospection mines	régie des eaux
3	prospection mines	stockman	
4	prospection mines	fabrication agglos	
5	femme de ménage		
6	mine de Bâ		
7	-		
8	usine Poro		
9	-		
10	-		
11	usine Poro	entretien village minier	
12	police	employé à Poro	
13	employé de mairie	Enercal	prospection mines
14	femme de ménage		
15	-		
16	chauffeur camion		
17	femme de rayon		
18	-		
B1	rouleur minier	gérant station essence	
B2	femme de service		
B3	femme de ménage		
B4	-		

Annexe 2 – Résultats de l'observation microscopique et de l'analyse minéralogique des échantillons sur le secteur Houaïlou-Bourail

Tableau 1 - Echantillonnage dans le secteur de Montfaoué

Echantillon	**Nature, observation macroscopique**	**Observation en microscopie optique**	**Minéralogie RX**	**Serpentine** (abondance relative)	**Amphibole** (abondance relative)
635 a	Gisement de *Pö* correspondant au point A du rapport Cluzel et Pelletier, 1994	100% petites fibres orientées < 2 µm, flexures dans paquets	Amphibole dominante (A), talc et Clinochlore,	0	3
635 b	Serpentinite (roche) correspondante	Lame mince en cours	Non traité		
636 a	Gisement de *Pö* correspondant au point B du rapport Cluzel et Pelletier, 1994	100% petites fibres < 2 µm reste quelques amas de pâte	Amphibole dominante (A) et clinochlore,	0	3
636 b	Différents faciès de serpentinite (roche) à filonnets ou à nodules fibro-radiés	Fragments anguleux marrons 10 µm à 0,4 µm, quelques petites aiguilles 1 µm	Non traité		
638 a	Terre blanche sur serpentine feuilletée altérée + filonnets blancs	Grains 5-6 µm marron/vert dans matrice granulaire, très petits grains < 0,4 µm, env. 10 % petites aiguilles < 0,8 µm	Amphibole dominante (A) et clinochlore, talc, lizardite	1	3
638 b	Serpentinite (roche) feuilletée altérée	Lame mince en cours	Non traité		
639	Amande roche noire dans serpentinite		Clinochlore exclusif	0	0
640 a	Terre blanche sur serpentinite vert-clair de type soapstone	100% petites aiguilles 0,4 à 2 µm	Amphibole abondante (A), clinochlore, lizardite	1	2
640 b	Serpentinite vert-clair	Lame mince en cours	Non traité		

Tableau 2 : Echantillonnage dans le secteur de Netea-Goapin

Echantillon	**Nature, observation macroscopique**	**Observation en microscopie optique**	**Minéralogie RX**	**Serpentine** (abondance relative)	**Amphibole** (abondance relative)
P01	*Pö* intérieur case Netea	très riche en fibres de 4 à 10µ - Ø 1,5 µ - grains en paquets	Quartz +++, Goethite, Calcite, Halloysite, Vermiculite, Amphibole(T)	0	1
N02a	roche schisteuse verte affleurement sous mine, bord creek	grains en gros morceaux > 100µ - pas de fibre	Non traité		
N02b	roche schisteuse jaune affleurement sous mine	éclats vitreux tranchants - morceaux de 40-50µ	Chrysotile dominante, Saponite, Maghemite	3	0
N01	*Pö* extérieur case Netea	100% fibres - petites aiguilles de 4 à 10µ - Ø 1,5 µ	Amphibole(A), Vermiculite	0	3
G01	*Pö* int case Gohapin	100% fibres très fines de 4 à 10µ - Ø <1 µ - qq grains anecdotiques	Quartz, Lizardite, Amphibole (T), Feldspath (Albite), Vermiculite, Talc, Magnétite	2	1
G02	terre blanche talus route Gohapin	100% fibres + longues et fines de 4 à 20µ - Ø <1 µ	Vermiculite, Talc, Feldspath(Albite), Amphibole (T), Quartz	0	2
G02a	*Pö* intérieur case bord route Gohapin	100% fibres de 4 à 25µ - Ø 1 à 1,5 µ	Quartz +++, Feldspath (Albite), Clinochlore, Muscovite, Chrysotile, Amphibole (T)	1	1
G02b	*Pö* extérieur case bord route Gohapin	100% fibres de 10 à 20µ - Ø 1,5 µ - qq gros grains	Non traité		
G03a	terre blanche sous affleurement serpentinite, vallée des roches	petits grains brillants vitreux de 5µ + gros grains isotropes de 10µ	Dolomite, Vermiculite, Quartz, Talc	0	0
G03b	affleurement serpentinite vallée des roches	éclats vitreux tranchants - fragments de 20-30µ	Non traité		

Tableau 3 - Echantillonnage dans le secteur de Nérin

Echantillon	Nature, observation macroscopique	Observation MOLP	Minéralogie RX	Serpentine (abondance relative)	Amphibole (abondance relative)
632	Produit d'altération blanc sur serpentinite	100 % petites fibres < 2 µm	Amphibole (T) vermiculite	0	3
633	Terre blanche sur serpentinite	100 % petites fibres 2 µm Extinction oblique	Amphibole dominante (actinolite) clinochlore	0	3
642	serpentinite dans "sericitoschistes" Boghen lamelles altérées blanches	Esquilles & fragments marron, polarisations vives, pas d'aiguilles	Lizardite exclusive	3	0
643	Terre blanche d'altération de part et d'autre d'une amande de serpentinite	90% de fibres en paquets (aiguilles env. 20 µm, rares petites aiguilles < 2 µm), qq gros grains	Amphibole (Actinolite), talc et clinochlore	0	3
644	Terre blanche contact serpentinite/micaschistes (grande carrière du col)	100% de fibres 2 types: paquets de grandes flexueuses > 100µm & petites 2µm interstitielles	Amphibole dominante (actinolite) clinochlore et chrysotile	1	3
20	Talus derrière captage d'eau : altération blanchâtre	Très nombreuses aiguilles	Amphibole dominante (actinolite)	0	3
21a	Carrière serpentinite bleue et blanche Serpentinite blanchâtre	nombreux minéraux grenus mais quelques aiguilles	Chrysotile dominante, smectite, traces d'hématite et spinelle (magnetite, chromite)	3	0
21b	Carrière serpentinite bleue et blanche Serpentinite sombre	très nombreuses fibres µm	Chrysotile dominante, traces magnetite et chromite, smectite	3	0
21c	Carrière serpentinite bleue et blanche Blocs de serpentinite silicifiée	Minéraux fibreux de grande taille donnant de nombreuses esquilles aciculaires	Amphibole exclusive (actinolite)	0	3
21d	Carrière serpentinite Veinules de pâte blanche (serpentinite altérée)	Nombreuses fibres	Amphibole dominante (A), traces de clinochlore	0	3
22a	Case en torchis	Très nombreuses fibres microscopiques	Talc, amphibole, Clinochlore, traces quartz	0	2
22b	Case en torchis	Nombreuses fibres microscopiques	Quartz, amphibole, talc, clinichlore, feldspath (albite), smectite	0	2

Tableau 4 - Echantillonnage dans le secteur de Méomo

Echantillon	**Nature, observation macroscopique**	**Observation en microscopie optique**	**Minéralogie RX**	**Serpentine** (abondance relative)	**Amphibole** (abondance relative)
3 gris	Bas-côté route de Bâ, sous la terre de surface : matériau argileux	Mineral fibreux de grande taille, longueur 120 -300 µm, largeur micrométrique se délitant facilement.	Quartz dominant, chrysotile, clinochlore	1	0
3 blanc	Bas-côté route de Bâ, sous la terre de surface : matériau argileux	Plasma très fin inférieur au micron contenant quelques fibres	Quartz dominant, chrysotile, clinochlore	1	0

Tableau 5 - Echantillonnage dans la carrière du col de Hô

Echantillon	**Nature, observation macroscopique**	**Observation en microscopie optique**	**Minéralogie RX**	**Serpentine** (abondance relative)	**Amphibole** (abondance relative)
654	Faciès massif de serpentinite noire amygdalaire, moirée, à filonnets fibreux de couleur bronze	100% de fibres grandes flexueuses > 100µm section 1µm, qui se fragmentent en éléments de 10 µm. Ext droite	Chrysotile dominant, traces de muscovite	3	0

Tableau 6 - Echantillonnage dans le secteur de Nédivin

Echantillon	**Nature, observation macroscopique**	**Observation en microscopie optique**	**Minéralogie RX**	**Serpentine** (abondance relative)	**Amphibole** (abondance relative)
07	terre blanche talus usine hydro	esquilles translucides de toutes tailles - 1 long filament fin de 25µ - Ø 2 à 5 µ	Chrysotile dominante, Magnetite	3	0
678 c	Serpentinite à filonnets de minéraux fibreux	Dans le filonnet 100% de grandes aiguilles de 100µm qui se fragmentent sur fond de petites aiguilles 2µm.	Chrysotile	3	0
678 d	Serpentinite à noyaux fibreux maillés	Gros amas de minéraux fibreux flexueux > 200µm difficile à fragmenter. Teintes de polarisation vives.	Non traité		

Tableau 7 – Echantillonnage dans le secteur de Nindiah

Echantillon	**Nature, observation macroscopique**	**Observation en microscopie optique**	**Minéralogie RX**	**Serpentine** (abondance relative)	**Amphibole** (abondance relative)
H10	mine bel air passée serpentineuse avec esquilles sur route d'accès	100% fibres longues et souples de 200µ - Ø 10µ, cassées en aiguilles de 100µ - Ø 5µ	Chrysotile exclusif	3	0

Tableau 8 - Echantillonnage dans le secteur de Ouingo

Echantillon	**Nature, observation macroscopique**	**Observation en microscopie optique**	**Minéralogie RX**	**Serpentine** (abondance relative)	**Amphibole** (abondance relative)
18a	Bas-côté de la route, près de la rivière, pâte blanche correspond au *Pö* de Nindiah	Grenue mais quelques fibres	Quartz +++, feldspath (albite), clinochlore, muscovite	0	0
18b		Fibres et grains	Quartz ++, feldspath (albite), sepiolite, pas de fibre	0	0

Tableau 9 - Echantillonnage dans le secteur de Warai

Echantillon	Nature, observation macroscopique	Observation en microscopie optique	Minéralogie RX	Serpentine (abondance relative)	Amphibole (abondance relative)
05a	serpentinite éboulis Warai	grains et esquilles	Non traité		
05b	serpentinite éboulis Warai	grains - qq fragments esquilleux - qq rares aiguilles de 10µ - Ø 1,5 µ	Non traité		
HMP04	poussière ext habitation Warai	Non traité	Quartz, felds(albite) Lizardite clinochlore	1	0
8	Case en torchis, recouverte de ciment à l'extérieur prélèvement face intérieure	quelques rares fibres à confirmer	Quartz +, feldspath (albite), clinochlore, muscovite, lizardite, talc, amphibole (actinolite)	1	1

Tableau 10 - Echantillonnage dans le secteur de Goareu

Echantillon	Nature, observation macroscopique	Observation en microscopie optique	Minéralogie RX	Serpentine (abondance relative)	Amphibole (abondance relative)
1	Gisement de *Pö* de Goareu silices blanches et plaques de giobertite - altéré en matériau friable vert	Pas de fibres	Magnésite exclusive (traces de silice amorphe et smectite)	0	0

Tableau 11 - Echantillonnage dans le secteur de Poro

Echantillon	Nature, observation macroscopique	Observation en microscopie optique	Minéralogie RX	Serpentine (abondance relative)	Amphibole (abondance relative)
677	Filonnets dans serpentinite de la piste de roulage	Fragments de toutes tailles, certains petits env. 2µ anguleux translucides, opaques-gris	Non traité		
19	Talus bord de la route de Poro ; Filon de serpentine avec matériau fibreux	Minéraux fibreux de grandes tailles + esquilles aciculaires	Chrysotile et lizardite exclusives	3	0

Tableau 12 - Echantillonnage dans le secteur de Mé Gorawi-Ouessoin

Echantillon	Nature, observation macroscopique	Observation en microscopie optique	Minéralogie RX	Serpentine (abondance relative)	Amphibole (abondance relative)
4a	Enduit de case, Face extérieure	Très nombreuses fibres micrométriques de longueur max. 6 µm, largeur infra-micrométrique	Amphibole dominante (T) puis quartz et clinochlore	0	3
4b	Enduit de case, Face intérieure	Très nombreuses fibres micrométriques de longueur max. 6 µm, largeur infra-micrométrique	Amphibole dominante (T) puis quartz et clinochlore	0	3
5	Carrière de serpentinite vert à vert foncé, avec passages blancs de minéraux fibreux	présence de fibres peu abondantes dans matériel grenu et plus grossier (15 µm)	Chrysotile et Lizardite exclusives	3	0

Tableau 13 - Echantillonnage dans le secteur de Tuù

Echantillon	Nature, observation macroscopique	Observation en microscopie optique	Minéralogie RX	Serpentine (abondance relative)	Amphibole (abondance relative)
676	Vallée de la Tùù Argile blanche"? Fond de vallée dans Trias/Juras altéré	100% petits grains <0,2µ argile ? Très rares fibres.	Quartz dominant, Halloysite, Feldspath (Albite)	0	0
6a	Talus route de Tuù schiste beige ocre	Grenu pas de fibre	Quartz +, feldspath (albite), clinochlore, muscovite, lizardite	1	0
6b	Talus route de Tuù Schiste blanc pâteux	Minéraux d'aspect fibreux de grande taille pas de fibres individualisées	Quartz ++, muscovite, chrysotile, nontronite	1	0
6c	Talus route de Tuù Petits passés gris blanchâtres		Quartz ++, felspath (albite), muscovite (trace lizardite, chrysotile)	1	0
7	Bord de route de Tuù Schiste altéré argileux blanc		Quartz ++, nontronite, asbolane	0	0

Tableau 14 - Echantillonnage dans le secteur de Néaoua

Echantillon	**Nature, observation macroscopique**	**Observation en microscopie optique**	**Minéralogie RX**	**Serpentine** (abondance relative)	**Amphibole** (abondance relative)
663	Serpentinite dans zone faillée, très altérée, transformée en une pâte blanche	100% de petites fibres (taille env. 2µm - très rare 4µm)	Amphibole dominante (A) et clinochlore	0	3
667 a	Produits blancs d'altération sur serpentinite	100% de petites (2µm) fibres parfois en agrégats.	Amphibole (A), talc et clinochlore	0	3
667 b	Roche fibreuse flexible	Non traité	Non traité		
669 a	Terre blanche pulvérulente sur serpentinite	100% de petites fibres (env. 2µm) en agrégats qui se délitent dans l'eau.	Amphibole exclusive (traces de smectite)	0	3
669 b	Serpentine massive	Non traité	Non traité		
HMP03	poussière intérieur maison ciment		Quartz +++, Feldspath (Albite), Calcite, Lizardite, Illite	1	0
HT04	*Pö* int case Kamoui	fragments esquilleux - grains arrondis "en fleurs" translucides brillants - pas de fibre	Quartz +++, Feldspath (Albite), Clinochlore, Lizardite, Muscovite	1	0
2	Bord de route : giobertite en boule	Pas de fibres	Magnésite pure	0	0

Tableau 15 - Echantillonnage dans le secteur de Boréaré

Echantillon	**Nature, observation macroscopique**	**Observation en microscopie optique**	**Minéralogie RX**	**Serpentine** (abondance relative)	**Amphibole** (abondance relative)
14	Bord de rivière, schiste en plaquettes	Pas de fibres	Quartz, clinochlore, albite, muscovite	0	0
15a	Bord de talus, pâte blanche dans talus	nombreuses fibres µm	Amphibole (A), vermiculite, quartz	0	3
15b	Pâte blanche dans caniveau		Quartz, Albite, clinochlore, lizardite, talc, sépiolite	1	0
15c	Morceau de serpentinite (sol)		Quartz, clinochlore, sépiolite, feldspath (albite)	0	0
16a	Boreare, Case en torchis (*Pö*)	Très nombreuses fibres µm	Quartz, Amphibole (T), feldspath (albite), clinochlore, muscovite, talc	0	2
16b			Quartz, amphibole (T), clinochlore, talc	0	2
17a	Coula, case en torchis	Très nombreuses fibres µm	Amphibole (A), quartz, talc, clinochlore, feldspath (albite)	0	3
17b	Affleurement sur le bord de la route : schiste beige avec baguettes de talc	Quelques fibres	Quartz ++, muscovite, clinochlore, lizardite, (interstratifié?)	1	0
HT03a	*Pö* ext case	100% fibres fines de 15 à 20 µ - Ø <1 µ			
HT03b	*Pö* int case	100% fibres fines de 15 à 20 µ - Ø <1 µm	Quartz +++, Feldspath (Albite), Vermiculite, Amphibole (A), Muscovite	0	1

Tableau 16 - Echantillonnage dans le secteur de Karagreu

Echantillon	**Nature, observation macroscopique**	**Observation en microscopie optique**	**Minéralogie RX**	**Serpentine** (abondance relative)	**Amphibole** (abondance relative)
688	Serpentinite altérée	100% de grandes aiguilles de 100µm qui se fragmentent dans un fond de petites aiguilles 2 à 4µm	Lizardite dominante, goethite, traces smectite	3	0
11	Tribu : talus bord de route	schiste blanc + schiste talqueux - pas de fibres	Quartz, Muscovite, Clinochlore, Asbolane, Albite	0	0
12a	Caféerie en torchis	Très nombreuses fibres µm	Clinochlore dominant, amphibole, talc et quartz	0	2
12b				0	2
13a	Talus bord de route ; Serpentinite gris clair répandue sur la route	Minéraux de grande taille et lacération en arrondie	Antigorite quasi exclusive, (stevensite ? en trace)	3	0
13b		Nombreuses fibres seules		3	0
9a	2 cases en torchis prélèvements intérieur et extérieur	Très nombreuses fibres de taille micro et infra micrométrique	Quartz, talc, amphibole (T), clinochlore, chrysotile	1	2
9b					
9c					
9d			idem + felspath (albite)	1	2
10	Bord de rivière : bloc de roche bleue Schiste serpentineux	Quelques minéraux se délittent en fibres d'une 10aine de µm	Clinochlore, quartz, muscovite, albite	0	0

Tableau 17 – Echantillonnage dans le secteur de Ni

Echantillon	**Nature, observation macroscopique**	**Observation en microscopie optique**	**Minéralogie RX**	**Serpentine** (abondance relative)	**Amphibole** (abondance relative)
1198a 1198b	Carrière sud col des Roussettes a) Schiste vert talqueux b) Serpentinite	a)Fragments translucides brillants vert ttes tailles b)idem + qq baguettes et rares aiguilles 100 µm	Non traité		
1199	Filon de serpentinite dans micaschistes de l'unité de la Boghen (fibres blanches au contact avec l'encaissant)	Tissage fin de très petites aiguilles	Amphibole exclusive	0	3
1201	Ancien site *Pö* Serpentinite	Fragments ttes tailles Rares baguettes			
1202	blanc d'altération sur roche phylliteuse	Petits fragments vitreux verdatres brillants	Feldspath (albite), rectorite et Quartz	0	0

Tableau 18 – Echantillonnage dans le secteur de Bouirou

Echantillon	Nature, observation macroscopique	Observation en microscopie optique	Minéralogie RX	Serpentine (abondance relative)	Amphibole (abondance relative)
28B1	talus route transversale près du col : roche grise blanchâtre, friable	Fragments 5-10 µm esquilleux translucides verts, rares baguettes	Non traité		
30B3	carrière route transversale vers POTHE : roche shisteuse, reflets argentés, friable	Gros fragments 40µm esquilleux translucides verts	Non traité		
31B4-1	talus droit route BOUIROU vers BOURAIL : serpentinite vert foncé	Gros fragments esquilleux translucides verts à bruns	Non traité		
31B4-2	talus droit route BOUIROU vers BOURAIL : matériau friable blanchâtre	Idem mais fragments plus petits écrasés	Non traité		
1205	Filons de serpentinite d'origine indéterminée	Grands fibres grises debit en plus petites 40-60 µm	Chrysotile exclusif (spinelle, smectite)	3	0

Tableau 19– Echantillonnage dans le secteur de Pothé

Echantillon	Nature, observation macroscopique	Observation en microscopie optique	Minéralogie RX	Serpentine (abondance relative)	Amphibole (abondance relative)
29	talus route transversale de POTHE vers BOUIROU : roche schisteuse grise, friable	Fragments esquilleux translucides verts 4-20 µm	Non traité		
1203	Talus de piste au centre tribu a) terre blanche b) Substrat de schiste vert talqueux	Gros fragments couleurs de polarisation vives. Qq baguettes	Non traité		

Annexe 3 – Cas 1984-2006 inclus dans l'enquête sur le secteur Koné-Touho-Poindimié

Tableau 2 - Sexe, âge, années d'exposition au *Pö* (trémolitique ou non) et lieux de résidence des cas de mésothéliome enregistrés à Koné-Touho-Poindimié, 1984-2006

N°	Sexe	Age	Pö[1] (années)	Habit 1[2]	Années1[3]	Habit2[2]	Années2[3]	Habit3[2]	Années3[3]	Ecole
1	H	48		Noéli						
2	F	74	1	Lifou	28	Nindiah	1	Tiawe	4	Wiwatul
3	F	62	0	Tye	28	Kodjeue	34			Tye
4	H	79	14	Koniambo	14	Koné Village	65	St-Louis	3	Kone
5	H	53	0	Noéli	53					Noéli
6	H	58	24	Tiaoue	57					Tiaoue
7	F	62	22	Tiaoue	62					Tiaoue
8	F	51	25	Netchaot	51					Netchaot
9	F	72	30	Netchaot	72					Non
10	H	69	15	Bopope	15	Nindiah	36	Bopope	9	Doneva
11	H	36	0	Bopope	36					Kone
12	F	52	19	Ometteux,	19	Paama	33			Teouti
13	H	60	0	St-Thomas Amoa	60					Tye
14	H	80	60	Pombei	80					Pombei
15	F	59	0	Tiwaka	20	Tiunao	39			Tye
16	F	64	34	Tiunao	20	Tiwaka	44			Tye
17	F	44	20	Tiwaka	20	Kokengone	23			Tye
18	F	58	20	Tiunao	20	Kokengone	38			Tye
19	F	68	0	Kokengone	68					Non
20	F	70	0	Koe	70					Koe
21	H	48	0	Tahiti	20	Tieti	28			Tahiti
22	H	55	0	Tiwaka	55					Tye
23	H	70	25	Oindo	70					Bayes
24	F	48	0	Neami	20	Tiaoue	28			Neami
25	F	59	16	Bouirou	16	Noéli	20	Bouirou	25	Non
26	H	57	30	Ometteux	52	Tontouta	5			Teouti
27	F	45	25	Netchaot	25	Plum	20			Netchaot
28	F	32	0	Noéli						
29	F	57	36	Neami	16	Montfaoue	41			Neami

[1]*Pö (années) : nombres d'années de vie dans une habitation recouverte de pö (trémolitique ou non)*

[2]*Habit1, Habit2, Habit3 : lieux d'habitations successives*

[3]*Années1, Années2, Années3 : durée (années) de résidences successives*

Tableau 3 - Activités professionnelles des cas de mésothéliome enregistrés à Koné-Touho-Poindimié, 1984-2006

N°	Sexe	Activité1	Activité2	Activité3
1	H			
2	F			
3	F			
4	H	Homme à tout faire	Sentinelle à l'armée	Ouvrier agricole
5	H	Stockman	Chargement bateaux	Cultivateur
6	H	Cultivateur	Chargement bateaux	
7	F	Aide maternelle		
8	F			
9	F	Culture du café		
10	H	Eleveur		
11	H	Scierie		
12	F			
13	H	Cultivateur	Homme à tout faire	Chargement bateaux
14	H	Cultivateur		
15	F			
16	F			
17	F			
18	F	Culture du café	Ménage	Jardin
19	F			
20	F			
21	H	Travaux publics	Maçon	Boulanger
22	H	Cultivateur	Ouvrier du bâtiment	
23	H	Mineur à Poro	Maçon	Culture du café
24	F			
25	F			
26	H	Maçon	Mineur à Tontouta	
27	F			
28	F			
29	F			

Annexe 4 – Résultats de l'observation microscopique et de l'analyse minéralogique des échantillons sur le secteur Koné-Touho-Poindimié

Tableau 1 - Données d'échantillonnage dans le secteur ouest

Observation	Type d'échantillon	Description frottis	Méthode analyse	Nature des fibres	Description analyse	Type d'affleurement	Tribu
BR-8001	Po de la tribu de Tiakana	100% de petites fibres homogènes L=20µm, l=1µm.	MOLP	Tremolite (?)		Case	Tiaakana
BR-8002	Argile grise et giobertite	100% de tous petits grains, d<5µm	MOLP			Gisement de Po	Tiaakana

Tableau 2 - Données d'échantillonnage dans le secteur de la Chaîne centrale

Observation	Type d'échantillon	Description frottis	Méthode analyse	Nature des fibres	Description analyse	Type d'occurrence	Tribu Commune
NC12DL	Fibres	Blocs presque entièrement composés de fibres blanc laiteux. Trémolite abondante		Trémolite		Affleurement	Ateu
AT100	Schiste vert clair altéré en terre blanche	97% de fibres très fines, L=30-50µm, l=2µm, parfois enchevêtrées. 3% de grains. Paquets de grosses fibres trapues, L=200µ, l=20µm, se débitent en fibres plus fines	MOLP MEBA	Trémolite	Débris de roche blanc laiteux orientée, très friable avec des fibres visibles dans la masse des grains. Trémolite en fibres courtes abondantes	Gisement de Po	Ateu
AT101	Terre blanche	100% de fibres. 20% de petites fibres trapues L=20µ, l=5µm, 80% de fibres longues et fines, L=100-200µ, l=2-5µm	MOLP MEBA	Trémolite	Débris de roche blanche claire, très altérée et finement fibreuse dans la masse. Fibres libres en fines gerbes dans l'échantillon. Trémolite fibreuse très abondante	Gisement de Po	Ateu
AT102	Serpentinite feuilletée	20% de fibres (50% de fibres esquilleuses et trapues L=20-30, l=5µm, 50 % de fibres fines et droites L=40-50, l=2µm. 80% de grains, d=30-50µm	MOLP MEBA	Serpentine Chrysotile Antigorite	Débris de roche lamellaire serpentinisée verdâtre et altérée avec texture localement fibreuse. Serpentine fibreuse abondante type antigorite. Chrysotile en trace.	Carrière	Ateu
AT103	Lizardite et antigorite	90% de fibres trapues de toutes tailles, L=80-100µm, l=5-10µm. 10% de grains, d=30µm. Une grande fibre très flexueuse qui se divise en nombreuses petites fibres	MOLP EDS	Chrysotile	Débris de roche verte altérée et fibreuse dans la masse. Serpentine très abondante mais lamellaire, chrysotile en trace	Affleurement	Ateu
AT104	Terre blanche	100%de fibres relativement homogène, L 50µm, l 2-5µm. Quelques grandes fibres (différentes?) L 100µm, l 10-15µm	MOLP MEBA	Trémolite	Débris blanc laiteux d'aspect talqueux au toucher avec phyllites microfibres visibles en surface. Trémolite en fibres courtes abondantes. Talc ou serpentine.	Affleurement	Ateu
AT105	Terre blanche	100% de fibres homogènes, L 30-50µm, l 2µm	MOLP MEBA	Trémolite Serpentine	Débris pluricentimétriques blanc crème altérés, riches en fibres minérales visibles dans la masse des grains. Serpentine fibreuse présente, trémolite-actinolite fibreuse abondante	Affleurement	Ateu
AT106	Terre blanche					Affleurement	Ateu

Observation	Type d'échantillon	Description frottis	Méthode analyse	Nature des fibres	Description analyse	Type d'occurrence	Tribu Commune
TI101-1	*Pö*	99% de grains isométriques 5µm. Rares fibres L 40-50µm, l 5µm				case	Tiawe
TI101-2	*Pö*	80% de grains assez homogènes 5-7µm (torchis de la case?). 20% de fibres de petite taille L 15-20µm, l 3µm				case	Tiawe
TI101-3	*Pö*	90% de fibres, L20-50µm, l 2µm. 10% de petits grains, d 10-115µm. qq grandes fibres très fines, L 250µm, l5 µm	MOLP EDS	Trémolite Antigorite	Ensemble de débris blanc laiteux et brun clair, trémolite présente, serpentine fibreuse présente de type antigorite probable	case	Tiawe
TI101-4	*Pö*	100% de grains, d 2µm, homogène, 1 fibre L 20µm, l 2µm	MOLP EDS	Trémolite Antigorite	Ensemble de débris blanc laiteux et brun clair, trémolite présente, serpentine fibreuse présente de type antigorite probable	case	Tiawe
TI102	Matériaux de la piste	100% de grains, 50% de d=2µm, 50% de d=50µm				Piste	Tiawe
TI103	*Pö*	99% de grains sombres, d 2-30µm. 1% de fibres esquilleuses, fines, droites, L 50µm, l 2µm				Case	Tiawe
TI104	Mottes de Terres blanches	100% de fibres longues et fines, bien droites, L 50µm, l 2-5µm	MOLP EDS	Trémolite Antigorite	Débris blanc laiteux et friables avec présence dans la masse de fibres soyeuses, phillites en surface. Fibres courtes de trémolites présentes. Serpentine fibreuse présente	Affleurement	Tiawe
TI105-a	Terre blanche	100% de fibres très droites, fines, pas flexueuses, L 20-80µm (moy 50µm), l 2µm				Gisement de Po	Tiawe
TI105-b	Terre végétale					Gisement de *Pö*	Tiawe
BR-8003	talc-schistes blanchâtre dans la Boghen	100% de fibres assez hétérogènes L=20-100µm (Lmoy=60µm), l=5-15µm. Plutôt antigorite		Antigorite		Affleurement	Neami

Observation	Type d'échantillon	Description frottis	Méthode analyse	Nature des fibres	Description analyse	Type d'occurrence	Tribu Commune
NE101	Terre blanche	100% de fibres hétérogènes, Lmoy 40µm, l 2-5µm	MOLP	Trémolite	Débris blanc laiteux à traces brunes et microfibres visibles dans une texture phylliteuse. Trémolite en fibres courtes abondantes.	Carrière	Nechaot
NE102	Schiste vert altéré en blanc	100% de petites fibres fines et droites, L 20-50µm, l 2µm. Qq grandes fibres plus longues L 100µm, l 5-10µm (2-3%)	MOLP	Trémolite	Débris de roche lamellaire grise au touché savonneux sans fibres apparentes. Trémolites en très fines fibres	Affleurement	Nechaot
NE102	Schiste vert altéré en blanc		MEBA	Trémolite	Débris de roche lamellaire grise au touché savonneux sans fibres apparentes. Trémolites en très fines fibres	Affleurement	Netchaot
NE11	Terre blanche		EDS	Trémolite	Spectre EDS d'analyse ponctuelle d'une fibre de trémolite	Carrière	Netchaot
KT-00		Fibres en baguette de grande taille				Carrière	Netchaot
BO101-a	Serpentinite altérée en lamelles blanches	95% de grains, soit de petite taille 5-10µm, soit plus gros, gris brun 100-150µm. 5% de fibres esquilleuses L 50µm, l 10µm, et quelques fibres très fines	MOLP MEBA	Serpentine Chrysotile Antigorite	Débris de roche lamellaire blanc laiteux, texture fibreuse dans la masse. Chrysotile présent. Serpentine fibreuse abondante (antigorite)	Affleurement	Bopope
BO101-b	Serpentinite fraîche à lizardite et antigorite	50% de fibres en agrégat, L 20-60µm, l 10-25µm. Une fibre de chrysotile (extinction droite). 50% de grains				Affleurement	Bopope
BR-8005	Echantillon provenant d'une piste en serpentinite	Que des petits grains de couleur verdâtre, assez homogènes (serpentine), quelques très rares fibres, 2-3% de petites tailles, plutôt de type antigorite		Antigorite		Piste	Bopope
KT-01	Terre blanche			Tremolite		Affleurement	Tango
KT-01-bis	Terre blanche	Fibres en baguettes de grande taille		Tremolite		Affleurement	Tango
KT-02	Serpentinite	Fibres en baguette				Affleurement	Kone-Tiwaka
KT-03		Fibres en aiguille et en baguette				Affleurement	Kone-Tiwaka

Observation	Type d'échantillon	Description frottis	Méthode analyse	Nature des fibres	Description analyse	Type d'occurrence	Tribu Commune
KT-04		Petites fibres en forme d'aiguille. Les fibres en forme de baguette sont de grande taille.				Carrière	Kone-Tiwaka
KT-05		Fibres en forme d'aiguille et de baguette de petite taille				Carrière	Kone-Tiwaka
KT-06		Fibres en baguette et en aiguille de même taille et relativement grande				Affleurement	Kone-Tiwaka
KT-08		Fibres en petite aiguille et en grandes baguette				Affleurement	Kone-Tiwaka
KT-10	Terre blanche	Fibres en petite aiguille et en grande baguette				Affleurement	Pombeï
KT-11		Grandes baguettes et petites aiguilles				Affleurement	Kone-Tiwaka
KT-12						Affleurement	Kone-Tiwaka
KT105	Lamelles talceuses, sériciteuse?					Affleurement	Kone-Tiwaka
KT113	Faciès charbonneux					Affleurement	Kone-Tiwaka
KT101-a	Terre blanche	50% de fibres homogènes, bien droites, L 40µm, l 4-5µm, qq grandes fibres très fines L 150µm, l 2-5µm. 50% de grains, d 30-60µm	MOLP MEBA	Trémolite Antigorite	Débris de roche altérée blanc laiteux à traces brunes et grains olivâtres serpentinisés, fibres minérales visibles. Trémolite présente. Serpentine fibreuse type antigorite présente	Affleurement	Kone-Tiwaka
KT101-b	Serpentinite	100% de fibres très homogènes, L 30-120µm (moy 60µm), l 2µm	MOLP MEBA	Antigorite Trémolite	Débris de roche altérée blanc laiteux à traces brunes et grains olivâtres serpentinisés, fibres minérales visibles. Trémolite présente. Serpentine fibreuse type antigorite présente	Affleurement	Kone-Tiwaka
KT102	Terres blanches et schistes verts	100% de fibres homogènes, L 30-60µm, l 2-3µm	MOLP MEBA	Trémolite	Débris de roche lamellaire altérée blanc laiteux à tache rouille et fibres visibles. Trémolite en microfibres abondante.	Affleurement	Kone-Tiwaka

Observation	Type d'échantillon	Description frottis	Méthode analyse	Nature des fibres	Description analyse	Type d'occurrence	Tribu Commune
KT103	Terre blanche	100% de petites fibres, L 30µm, l 1-2µm, très homogène	MOLP MEBA	Trémolite	Lamelles et roche altérée blanc laiteux avec enduit brun foncé en surface, fibres visibles dans la masse des grains. Micro fibres courtes de trémolite abondantes	Affleurement	Kone-Tiwaka
KT104	Terre blanche	100% de fibres très droites et homogènes, L 25-100µm, l 5µm	MOLP EDS	Trémolite	Bloc de roche altérée blanc laiteux fibres minérales non visibles macroscopiquement. Trémolite en microfibres abondante.	Carrière	Kone-Tiwaka
KT106	Terre blanche	100% de fibres de taille hétérogène, L 10-100µm, l 2-5µm	MOLP MEBA	Trémolite	Blocs de roche altérée blanc laiteux à ponctuations noires en surface, petites fibres minérales visibles dans la masse des grains. Trémolites en petites fibres abondantes.	Carrière	Kone-Tiwaka
KT107	Serpentinite altérée blanche	99% de grains, deux types de taille : 15-20% mesurant 100-250µm, 80% mesurant 15µm. 1% de petites fibres L 25µm, l 2µm	MOLP EDS	Serpentine Chrysotile	Débris de roche en lamelles blanc verdâtre à ponctuations noires. Serpentine probable, texture localement fibreuse dans les grains lamellaires. Serpentine lamellaire et parfois fibreuse, chrysotile	Carrière	Kone-Tiwaka
KT108	Terre blanche	100% de fibres, 2 types. Petites et fines 5 à 20 µm (moy 15 µm), d 1µm. Grandes et assez épaisses 50-60 µm, d 4-10µm	MOLP MEBA	Trémolite	Débris de roche altérée lamellaire blanc laiteux, microfibres localement visibles. Trémolite en microfibres abondantes	Affleurement	Kone-Tiwaka
KT109	Roche blanche verdâtre en lamelles, tendre	99% de grains isométriques 10-20µm. 1% de petites fibres L 20µm, l 2µm. Quelques grandes fibres de 100µm	MOLP	Pas de fibre	Débris de roche blanc laiteux. Pas de fibres minérales visibles dans cette échantillon. Chlorite.	Carrière	Kone-Tiwaka
KT110	Antigorite altéré formant des aiguilles	100 % de minéraux aciculaires en plaquette de toute taille, en moyenne 50µm, d 4µm				Affleurement	Kone-Tiwaka
KT111	Antigorite en grandes baguettes	Soit des paillettes (50%) soit des esquilles qui peuvent former des fibres				Affleurement	Kone-Tiwaka

Observation	Type d'échantillon	Description frottis	Méthode analyse	Nature des fibres	Description analyse	Type d'occurrence	Tribu Commune
KT112	Serpentinite à filonnets blanchâtres, soyeux	Grains et débris entre 40 et 60µm, esquilles en latte. Quelques rares aiguilles longues et fines, 50µm, d 1µm	MOLP	Pas de fibre	Débris de roche gris sans fibres apparentes. Pas de fibres minérales visibles	Affleurement	Kone-Tiwaka
KT114	Roche verte claire blanchâtre	100 % de petits grains, 2-4µm				Affleurement	Kone-Tiwaka
KT115-a	Terre blanche	100% de fibres de taille hétérogène, droites translucides, de 5µm, d 0,5µm à 80µm, d 4µm	MEBA	Trémolite	Image meb et spectre eds de trémolite	Affleurement	Kone-Tiwaka
KT115-b	Antigorite, parfois kinkée	Soit des fibres en lattes entre 10 et 30µm, ou des plaques dorées. Deux types de fibres, antigorite et autre chose				Affleurement	Kone-Tiwaka
KT116	Terre blanche	100% de fibres, 20µm	MOLP MEBA	Trémolite	Débris de roche lamellaire altérée blanc laiteux. Microfibres de trémolites présentes	Affleurement	Kone-Tiwaka
KT118-a	Serpentinite de couleur blanche	10 à 20% de fibres très fines et droites, 20-30µm, d 1µm. 80% de grains entre 10 et 20µm et quelques lattes.	MOLP MEBA	Chrysotile Antigorite Serpentine	Débris de roche serpentinisée, localement fibreuse. Serpentine fibreuse abondante dont chrysoltile présent	Affleurement	Kone-Tiwaka
KT121	Terre blanche sur serpentinite	100% de fibres très fines presque translucides, 4-10µm, d 0,2µm	MOLP MEBA	Trémolite	Débris de roche altérée, friable, blanc laiteux, pas de fibres apparentes. Talc présent souvent lamellaire. Microfibres fines de trémolite présentes	Gisement de Po	Kone-Tiwaka

Tableau 3 - Données d'échantillonnage dans le secteur est

Observation	Type d'échantillon	Description frottis	Méthode analyse	Nature des fibres	Description analyse	Type d'affleurement	Tribu commune
BR-8009	Schiste blanc pélitique	100% de petits grains verts translucides, homogènes (talc), d=5-10µm				Affleurement	Tiouano
KT120	Terre blanche		MOLP MEBA	Trémolite	Débris de roche altérée blanc laiteux, d'aspect talcqueux, soyeux. Microfibres de trémolite présentes	Affleurement	Tiwaka
WI104	Antigorite	Lattes à extinction droite, quelques rares fibres très droites et très fines(80µm, d<4µm)	MOLP MEBA	Antigorite Chrysotile Serpentine	Débris de roche lamellaire fibreuse olivâtre. Serpentine fibreuse abondante dont chrysotile en traces.	Carrière	Poindimié
WI103	Esquilles de serpentinite	Gros grains (40-80 µm), translucides ou orangés, qq minéraux aciculaires assez larges (100 µm, d 25µm)				Carrière	Poindimié
AM101-b	Schistes blancs	60% de fibres 25-40µm, d 0,5µm, 40% de grains de 2 µm	MOLP EDS	Trémolite Actinolite	Débris de roche grise lamellaire. Talc lamellaire présent. Trémolite et actinolite présentes en fibres très courtes	Affleurement	Saint Paul
AM102	Schistes	100% de grains, 5-20µm et quelques gros fragments. 1 grande fibres (L=400µm, d=20µm) minérale, extinction droite				Affleurement	Saint Thomas
AM104	Schistes blanchâtres	99% de grains 4µm, 1% de fibres de 20µm	MOLP MEBA	Chrysotile Antigorite Trémolite	Débris de roche grise friable, à passée fibreuse visible. Chrysotile présent, serpentine fibreuse lamellaire, Trémolite présente	Affleurement	Amoa
AM105	Schistes blanchâtres	Grains entre 1 et 4µm				Affleurement	Amoa
AM106	Terre et cailloux sur piste	Pas de fibres. 2 types de grains, soit translucides, soit sombres, brun. 4-10µm.				Affleurement	Amoa
PLW-8140	Serpentine blanche altérée	100% de toutes petites fibres minuscules. L=5-10µm, l<1µm		Trémolite		Carrière	Ometteux

Observation	Type d'échantillon	Description frottis	Méthode analyse	Nature des fibres	Description analyse	Type d'affleurement	Tribu commune
PLW-8140	Pierre savon verte/rouge	Uniquement des petits grains (talc serpentine), d=5-10µm, pas de fibre				Carrière	Ometteux
PLW-8140	Serpentinite saine	95% de fibres de toute petite taille, L=15-20µm, l=2-3µm, homogènes. Trémolite? (antigorite)		Tremolite		Carrière	Ometteux
PLW-8140	Serpentinite altérée, limite pierre savon	95% de toutes petites fibres L=15-20µm, l=1-2µm, très homogènes, trémolite?		Tremolite		Carrière	Ometteux
PLW-8141	Serpentinite saine	Essentiellement de la serpentinite en petit grains, Moins de 5% de fibres, assez hétérogène, de petite taille				Affleurement	Ometteux
PLW-8141	Serpentinite avec filon de chrysotile	Des paquets de fibres allant jusqu'à 700µm, assez flexueux		Chrysotile		Affleurement	Ometteux
PLW-8142		Observation macroscopique de filon de chrysotile CARACTERISTIQUE. Pas d'échantillon et pas de frottis		Chrysotile		Carrière	Ometteux
PLW-8143	Serpentinite saine	Fraction grossière (90%) gros grains parfois allongés, Fraction fine (10%), 90% de fibres de petite taille L=10µm, l<1µm				Affleurement	
PLW-8143	Morceaux et poussière de serpentinite	99% de grains de serpentinite, quelques très rares fibres				Affleurement	
PLW-8144		Piste encaillassée en serpentinite, présence de serpentinite mais pas d'échantillon. Caractéristique		Chrysotile		Piste	
PLW-8145	Sable fin de rivière, aval de serpentinite à chrysotile	100% de petits grains verts de serpentinite, d=10µm				Affleurement	

Observation	Type d'échantillon	Description frottis	Méthode analyse	Nature des fibres	Description analyse	Type d'affleurement	Tribu commune
PLW-8145	Serpentinite avec fentes de tension de chrysotile	Un gros paquet de fibres mais difficilement observable et déterminable, 100µm de long, Extinction droite polarise dans les jaune du deuxième ordre		Chrysotile		Affleurement	
WI101	Schiste jaune	Pas de fibre, grains translucide, 5 à 10 µm				Affleurement	Wiido
WI102	Serpentinite verte et jaune	qq fibres <1%, plutôt en lattes 50µm, d 5-10µm ou beaucoup plus petites. Grains translucides 10-30µm	MOLP EDS	Antigorite Chrysotile	Débris de roche gris olivâtre, tacheté et altérée, serpentinisée avec quelques passées fibreuses. Serpentine fibreuse dont chrysotile présent.	Affleurement	Wiido
NC15DL	Serpentinite					Carrière	Touho
NC17DL		Mélange de graviers et de sable (type sol) avec morceaux de roche grenue verdâtre non fibreuse. Présence de grains fibreux. Quelques fibres isolées. Trémolite et serpentine fibreuse (antigorite) présentes		Trémolite Antigorite		Piste	Touho
NC17DL		Serpentine fibreuse		Serpentine		Piste	Touho
NC17DL		Trémolite		Trémolite		Piste	Touho
NC17DL		Gerbe de trémolite		Trémolite		Piste	Touho
NC18DL	Serpentinite	Bloc de roche à fibres longues et soyeuses très abondantes. Trémolite très abondante.				Carrière	Touho
NC 18 DL(2)	Veines de chrysotile	Grandes lattes fibreuses 1/2 cm qui se débitent en lattes fines mm puis en petites aiguilles ~ 20 µm épaisseur 1 µm				Carrière	Touho
NC 18 DL(2)	Veine de chrysotile	Blocs de roche verte compacte traversée par des veinules ouvertes à remplissage fibreux. Trémolite présente, serpentine à confirmer META		Trémolite		Carrière	Touho
NC 18 DL(2)	Veine de chrysotile	Trace de serpentine. Actinolite confirmée				Carrière	Touho

Observation	Type d'échantillon	Description frottis	Méthode analyse	Nature des fibres	Description analyse	Type d'affleurement	Tribu commune
NC 18 DL(2)		Amphibole calcique fibreuse actinolite		Actinolite		Carrière	Touho
NC 18 DL(2)		Analyse ponctuelle d'une gerbe de fibre : actinolite		Actinolite		Carrière	Touho
NC 18 DL(2)		Actinolite		Actinolite		Carrière	Touho
NC 19 DL	Antigorite (?) fibreuse	Grandes lattes fibreuses 1/2 cm qui se délitent en fibres ou esquilles asbestiformes mm, les plus petites 200 µm				Affleurement	Touho
NC20DL	Terre blanche	Bloc blanc laiteux à particules grises noires en surface et texture fibreuse dans la masse. Trémolite présente. Serpentine (antigorite-lizardite), talc		Trémolite Antigorite		Affleurement	Touho
NC20DL	Terre blanche	Trémolite		Trémolite		Affleurement	Touho
NC20DL	Terre blanche	Spectre d'analyse globale d'une gerbe de trémolite		Trémolite		Affleurement	Touho
NC21DL	Terre blanche	Spectre d'analyse globale d'une gerbe de trémolite		Trémolite		Affleurement	Touho
NC21DL	Terre blanche	Trémolite		Trémolite		Affleurement	Touho
NC21DL	Terre blanche	Blocs de roche orientée verdâtre à nivaux fibreux abondants en gerbes compactes. Trémolite abondante. Serpentinite fibreuse en trace		Trémolite		Affleurement	Touho
NC21DL(2)	Terre blanche					Affleurement	Touho

Annexe 5 - Emplacements et résultats d'analyse des plaquettes de dépôt

Numéro	Commune	Tribu	Durée (mois)	X	Y	Macro	Masse (mg)	Nb fibr. >5µm	Nb fibr. <5µm	Fibres /mm^2	Variétés amiante
BoghenH	Bourail	Boghen	3	565279	7609054	0					
BoghenB	Bourail	Boghen	3	565279	7609054	0					
F5	Bourail	Bouirou	7	555014	7628157	filtre7					
F1B	Bourail	Bouirou	7	555014	7628157	filtre8					
F5-07	Bourail	Bouirou	11	555229	7628527	0	0,9	1	1	<4,4	Chrysotile NaSiAl++
F1B-07	Bourail	Bouirou	11	555229	7628427	-					
D08-0001	Bourail	Bouirou	5	555900	7628119	+++					
F6	Houailou	Boréare	7	548105	7638671	filtre9					
D5	Houailou	Boréare	7	548105	7638671	filtre10					
D08-0003	Houailou	Boréare	6	548238	7638487	0					
D08-0005	Houailou	Goarawi	5	558710	7641724	0					
D08-0006	Houailou	Goarawi	5	558594	7641671	0					
K132-08	Houailou	Goareu	5	567004	7642966	0					
D08-0002	Houailou	Karagreu	5	543346	7636494	0					
F2-13	Houailou	Néaoua	7	566582	7641292	filtre13					
F2-14	Houailou	Néaoua	7	566582	7641292	filtre14					
F2-08	Houailou	Néaoua	11	567025	7641037	0					
F2-08	Houailou	Néaoua	11	567025	7641037	0					
F3	Houailou	Nédivin	7	559700	7645600	filtre17					
E1	Houailou	Nédivin	7	559700	7645600	filtre18					
F1	Houailou	Nérin	7	537118	7640881	filtre3					
F2	Houailou	Nérin	7	537118	7640881	filtre4					
F1-08	Houailou	Nérin	5	537076	7640704	0	0,9	0	1	<6,8	Chrysotile
F2-08	Houailou	Nérin	5	537076	7640704	0					
K133-08A	Houailou	Nérin	5	538001	7640763	+++					
K133-08B	Houailou	Nérin	5	538001	7640713	+					
K133-08C	Houailou	Nérin	5	538001	7640663	0					
K133-08D	Houailou	Nérin	5	538001	7640613	+					
F8	Houailou	Newa	7	565894	7629879	filtre15					
H06	Houailou	Newa	7	565894	7629879	filtre16					
F8-07	Houailou	Newa	11	566164	7629983	0					
E06-07	Houailou	Newa	11	566164	7629983	0					
F8-08	Houailou	Newa	5	566164	7629983	+					
E06-08	Houailou	Newa	5	566164	7629983	+					
K130-08	Houailou	Newa	5	570379	7635706	0					
D5-07	Houailou	Nindiah	11	560229	7644705	-					
F6-07	Houailou	Nindiah	11	560229	7644705	-					
F16	Houailou	Ouessoin	11	558225	7642830	-					
F1P	Houailou	Ouessoin	11	558225	7642830	0	0,9	0	1	<7,6	Chrysotile NaSiAl+
D08-0004	Houailou	Ouessoin	5	558127	7642847	0					
F4-12	Houailou	Warai	7	563749	7647443	filtre12					
F7	Houailou	Warai	7	563749	7647443	filtre11					

Numéro	Commune	Tribu	Durée (mois)	X	Y	Macro	Masse (mg)	Nb fibr. >5µm	Nb fibr. <5µm	Fibres /mm^2	Variétés amiante
F4-08	Houailou	Warai	5	563750	7647440	0					
F7	Houailou	Warai	5	563750	7647440	0					
K07	Koné	Néami	11	497157	7679930	0					
K08	Koné	Néami	11	497157	7679930	0					
BR8-0003	Koné	Néami	6	497113	7679611	0					
K03	Koné	Noéli	11	494318	7676746	0					
K04	Koné	Noéli	11	494318	7676746	0					
K03-08	Koné	Noéli	6	494336	7676728	0					
K05	Koné	Poindah	11	496076	7673543	0					
K06	Koné	Poindah	11	496076	7673543	0					
BR8-0001	Koné	Tiaakana	6	486334	7677488	0					
K11	Poindimié	Bopope	11	507887	7686318	0	0,9	0	0	<2,7	NaSiAl+
K12	Poindimié	Bopope	11	507887	7686318	0	<0,1	1	0	<0,9	Trémolite
K122-08	Poindimié	Bopope	6	503453	7683660	0					
BR8-0005	Poindimié	Bopope	6	507897	7686510	0					
K09	Poindimié	Netchaot	11	502348	7677537	0	0,7	0	1	<3,4	Actinolite NaSiAl+
K10	Poindimié	Netchaot	11	502348	7677537	0	0,6	11,5	39	101	Ch.88% Tr.12% NaSiAl+
BR8-0004	Poindimié	Netchaot	6	501929	7676928	0					
K124-08	Poindimié	Ometteux	6	540678	7676225	0					
K125H-08	Poindimié	Paama	6	539470	7683980	0					
K125B-08	Poindimié	Paama	6	539470	7683980	0					
K17	Poindimié	Tiéti	11	530989	7686536	0					
K18	Poindimié	Tiéti	11	530989	7686536	0					
K126-08	Poindimié	Tiéti	11	530942	7686515	0					
K127H-08	Poindimié	Tiéti	11	530911	7687241	0					
K127B-08	Poindimié	Tiéti	11	530911	7687241	0					
K15	Poindimié	Tiunao	11	524723	7687494	0					
K16	Poindimié	Tiunao	11	524723	7687494	0					
BR8-0009	Poindimié	Tiunao	11	525055	7687709	0					
K13	Poindimié	Tiwaka	11	519888	7690344	0	1,3	3	30	67,6	Chrysotile NaSiAl++
K14	Poindimié	Tiwaka	11	519888	7690344	0	0,5	15	13,5	56,8	Ch.40% Tr.56% Ac.4% NaSiAl+
BR8-0006	Poindimié	Tiwaka	6	517396	7690484	0					
K134-08	Poya	Gohapin	3	528580	7651313	+					
K135-08	Poya	Gohapin	3	528689	7651250	0					
K136H-08	Poya	Gohapin	3	528677	7651185	+++	147,8	2	3	85,7	Chrysotile
K136B-08	Poya	Gohapin	3	528677	7651185	+++	311,6	8	43	874	Chrysotile
FBAdioH-08	Poya	Gohapin	3	526026	7648473	0					
FBAdioB-08	Poya	Gohapin	3	526026	7648473	0					
F4	Poya	Montfaoué	7	529983	7646793	+					
F6	Poya	Montfaoué	7	529983	7646793	+	1,2	6	3	8	Trémolite
F4-08	Poya	Montfaoué	11	530141	7646693	-					
F6-08	Poya	Montfaoué	11	530141	7646693	-					
D08-0009	Poya	Montfaoué	6	529801	7647416	0					
D08-0007	Poya	Montfaoué	6	529776	7647704	0					
D08-0008	Poya	Montfaoué	6	529968	7647984	0					

Numéro	Commune	Tribu	Durée (mois)	X	Y	Macro	Masse (mg)	Nb fibr. >5µm	Nb fibr. <5µm	Fibres /mm^2	Variétés amiante
FB-M01	Poya	Montfaoué	5	528958	7647767	feuille					
FB-M02	Poya	Montfaoué	5	528958	7647767	feuille					
FB-M03	Poya	Montfaoué	5	530007	7648047	+++					
FB-M04	Poya	Montfaoué	5	530007	7648047	+++					
K137H-08	Poya	Nétéa	3	519255	7651523	0					
K137B-08	Poya	Nétéa	3	519255	7651523	0					
K138-08	Poya	Nétéa	3	520654	7648998	+++	89,6	62	43	900	Trémolite
BR8-0010	Touho	Kokengone	11	526236	7693373	0					
K19	Touho	Poyes	11	510013	7701349	0	1,1	0	1	<4,2	Chrysotile NaSiAl+
K20	Touho	Poyes	11	510013	7701349	0	0,2	0	0	<4,8	NaSiAl+
BR8-0012	Touho	Poyes	11	509993	7701331	0					
K01	Touho	Tiawe	11	491832	7678104	0					
K02	Touho	Tiawe	11	491832	7678104	0					

- : plaquette ayant disparu au moment du retrait

0 : pas de poussière à l'œil nu

+ : très peu de poussière à l'observation macroscopique

+++ : poussière très abondante

NaSiAl+ : quelques fibres non identifiées

NaSiAl++ : fibres très abondantes

Annexe 6 – Résultats de l'observation microscopique et de l'analyse minéralogique des échantillons complémentaires

Id_Observation	Commune	Tribu	Nature Echantillon	Type Analyse	Description Résultat	Nature Fibre
PM-901	Canala	Versant N col de Petchecara	piste	MOLP	100% grains < 10µm – qq minéraux trapus	
PM-902	Canala	Versant N col de Petchecara	Roche noire avec filons chrysotile	MOLP	90% fibres en cheveux, verdâtres (10-200 µm/1-2 µm) – 10% grains fins	Chrysotile
PM-908a	Canala	Versant N col de Petchecara	Piste serpentinite	MOLP	100% petits grains < 10µm	
PM-908b	Canala	Versant N col de Petchecara	Serpentinite, fibres blanches	MOLP	95% fibres en tas (200-300 µm/2-3 µm) + 10% petits grains	Chrysotile
NC43DL	Canala	Nakéty		MOLP	Blocs de roche compacte verte orientée à alternace de lits vert sombre et blanc laiteux dans la masse de la roche. Filonets ouvert chargés de fibres. Remplissage de chrysotile dans les veinules	Chrysotile
NC23DL	Hienghène	Bas Coulna	Serpentinite	MOLP	Granulat de roches vertes à fibres libres collées en surface.Certains grains blanc laiteux à fibres massive disséminées. Trémolite présente, Serpentine fibreuse plus rare	Trémolite
NC22DL	Hienghène	Tendo	Serpentinites et fibres	MOLP	Débris rocheux blanc laiteux à gris verdâtre, à base de gerbes de fibres très abondantes, rigides. Trémolite très abondante	Trémolite
FR-8-01	Hienghène	Vallée de la Hienghène	schiste	MOLP	100% de grains en lattes de couleurs marron (< 10 µm)	Pas de fibre
FR-8-08	Hienghène	Vallée de la Hienghène	schiste	MOLP	100% depetits grains verts homogènes (< 10 µm)	Pas de fibre
FR-8-11a	Hienghène	Vallée de la Hienghène	talc-schiste	MOLP	98% de fibres droites (5-20 µm/1 µm) et 2% de petits grains marrons	Trémolite
FR-8-11b	Hienghène	Vallée de la Hienghène	serpentinite	MOLP	70% de fibres homogènes, droites (5-50 µm/1-3 µm), de grosses plaques marron, en latte, à extinction droite, clivé et 30% de petits grains verts homogènes	Trémolite
FR-8-11c	Hienghène	Vallée de la Hienghène	schiste	MOLP	100% de grains de petite taille < 10µm, homogènes	Pas de fibre
FR-8-11d	Hienghène	Vallée de la Hienghène	terre blanche	MOLP	100% de fibres. 2 populations : petites droites (5-100 µm) et agrégat fibreux en cheveux (> 200 µm)	Chrysotile /Trémolite
FR-8-13a	Hienghène	Vallée de la Hienghène	terre blanche	MOLP	100% defibres fines, droites, homogènes (<10 µm)	Trémolite
FR-8-13b	Hienghène	Vallée de la Hienghène	talc-schiste	MOLP	40% de petites fibres droites (10-15 µm/1 µm) et 60% de grains verdâtre, homogène (10-15 µm)	
FR-8-14	Hienghène	Vallée de la Hienghène	talc-schiste	MOLP	100% de petits grains homogènes (10 µm)	Pas de fibre

Id_Observation	Commune	Tribu	Nature Echantillon	Type Analyse	Description Résultat	Nature Fibre
FR-8-15a	Hienghène	Vallée de la Hienghène	talc-schiste	MOLP	95% de fibres droites (5-15 µm/1 µm) et 5% de grains marrons verdâtres (10 µm) et quelques lattes allongées	
FR-8-15b	Hienghène	Vallée de la Hienghène	talc-schiste	MOLP	100% de petits grains homogènes (<10 µm)	Pas de fibre
FR-8-19	Hienghène	Vallée de la Hienghène	pierre à savon	MOLP	60% de petis grains homogènes (<10 µm) et 40% de fibres droites homogènes (10 µm/1µm)	Trémolite
FR-8-21	Hienghène	Vallée de la Hienghène	talc-schiste	MOLP	100% de petites fibres droites (<10 µm/1-2 µm)	Trémolite
FR-8-25	Hienghène	Vallée de la Hienghène	talc-schiste	MOLP	100% de petits grains homogènes (1-3 µm)	Pas de fibre
FR-8-31a	Hienghène	Vallée de la Hienghène	poussière sur piste	MOLP	100% de petits grains homogènes (< 10 µm)	Pas de fibre
FR-8-31b	Hienghène	Vallée de la Hienghène	fibres altérées	MOLP	70% de fibres fines, droites (20-40 µm/1-2 µm) et 30% de petits grains verts homogènes (1-5 µm)	Trémolite
FR-8-31c	Hienghène	Vallée de la Hienghène	fibres saines	MOLP	70% de grains grossiers allongé et 30% de fibres, trapue, irrégulières (20-40 µm/10 µm)	
FR-8-32a	Hienghène	Vallée de la Hienghène	talc-schiste	MOLP	100% de fibres <10 µm homogènes, quelques peitts grains	
FR-8-32b	Hienghène	Vallée de la Hienghène	terre blanche	MOLP	100% de fibres fines droites, (5-100 µm/1-2 µm)	Trémolite
FR-8-32c	Hienghène	Vallée de la Hienghène	serpentinite	MOLP	100% de petits grains verts homogènes	Pas de fibre
FR-8-32d	Hienghène	Vallée de la Hienghène	amas de fibres dans talc-schiste	MOLP	95% de fibres droites homogènes (10-40 µm/1-2 µm) et 5% de petits grains verts homogènes.	
FR-8-34	Hienghène	Vallée de la Hienghène	fibres sur piste	MOLP	98% de fibres (5 µm/1 µm) et 2% de grains fins	
FR-8-35	Hienghène	Vallée de la Hienghène	talc-schiste	MOLP	80% de fibres (< 10µm/< 1µm) et 20% de grains parfois en latte, verdâtres	
FR-8-36	Hienghène	Vallée de la Hienghène	terre blanche	MOLP	100% de fibres <10 µm/1-2 µm, homogènes	Trémolite
FR-8-40	Hienghène	Vallée de la Hienghène	talc-schiste	MOLP	100% de petits grains verts homogènes (1-5 µm)	Pas de fibre
FR-8-54a	Hienghène	Vallée de la Hienghène	talc-schiste	MOLP	100% de grains fins homogènes,blanc, anguleux, 5-20 µm	Pas de fibre
FR-8-54b	Hienghène	Vallée de la Hienghène	pâte d'altération de talc-schiste	MOLP	100% de grains fins homogènes	Pas de fibre
FR-8-55	Hienghène	Vallée de la Hienghène	terre blanche	MOLP	100% de fibres homogènes petites, droites (10-15 µm/1-2 µm)	Trémolite
FR-8-56	Hienghène	Vallée de la Hienghène	schiste	MOLP	100% de petits grains verts homogènes	Pas de fibre
FR-8-58	Hienghène	Vallée de la Hienghène	pierre à savon	MOLP	90% de fibres droites, homogènes (<20 µm/1-2 µm) et 10% de grains (< 10 µm)	
FR-8-59	Hienghène	Vallée de la Hienghène	talc-schiste	MOLP	95% de petites fibres (<10 µm/<1 µm) et 5% de petits grains hétérogènes, ± allongés	

Id_Observation	Commune	Tribu	Nature Echantillon	Type Analyse	Description Résultat	Nature Fibre
PLW-415	Houaïlou		Péridotite à chrysotile pour frotis	MOLP	100% de petits grains, un fibre ondulée. LM peu représentative	Pas de fibre
TD-263	Houaïlou		Antigorite altérée	MOLP	Minéraux en lattes>100µm qui se délittent en petites lattes 30*5µm, translucides vertes, et grains 30-40µm. Fond de virgules 5-10µm	Antigorite
F-1	Houaïlou	Bêêarée				
F-2	Houaïlou	Bêêarée				Pas de fibre
F-3	Houaïlou	Bêêarée				
F-4	Houaïlou	Bêêarée				
F-6	Houaïlou	Bêêarée				
F-7	Houaïlou	Bêêarée				Pas de fibre
PLW-104	Houaïlou	Bêêarée	Terre blanche	MOLP	20% de fibres, L=50µm, l=2µm. 80% de grains, d=2-10µm, à fort relief	
PLW-108	Houaïlou	Bêêarée	Terre blanche	MOLP	100% de fibres, taille homogène, L=20-40µm, l=2µm, qq aggrégat, trémolite probable	
PLW-99	Houaïlou	Bêêarée	Roche blanche	MOLP	95% de grains parfois allongés, esquilleux, d=30µm. 5% de fibres fines, L=30µm, l=2µm	
TD 33-5	Houaïlou	Bêêarée		MOLP	100% de grains, d=2-10µm, quelques esquilles (<1%) L=4µm, l=1µm	Pas de fibre
TD 42a	Houaïlou	Bêêarée		MOLP	Débris de roche orientée, serpentinisée, blanc olivâtre à texture localement fibreuse.Serpentine fibreuse présente. Chrysotile probable en trace	Antigorite chrysotile
TD 42b	Houaïlou	Bêêarée		MOLP	95% de petits grains, d=2-10µm. 5% de fibres de petite taille, homogènes, L=10-15µm, l<1µm	
TD-12-1a	Houaïlou	Bêêarée	Terre blanche	MOLP	Débris bruns a blanc laiteux avec agrégats de minéraux type "mortier" ou brèche a grains fins, présence de fibres minérales. Fibre : Trémolite fibreuse présente	Trémolite
TD-12-1b	Houaïlou	Bêêarée	Terre blanche	MOLP	100% de toutes petites fibres, L=5-10µm, l<0,5µm. Quelques grains, d=20µm	
TD-13a	Houaïlou	Bêêarée	Sol rouge	MOLP	100% de grains fins et petits, d=5µm, de couleur verdâtres, parfois en aggrégat.	Pas de fibre
TD-13b	Houaïlou	Bêêarée	Sol rouge	MOLP	Particules brun rouille à nombreux débris et fibes végétales disséminées. Pas de fibres minérales visibles	Pas de fibre
FB 14	Houaïlou	Boreare	Schiste en plaquettes	MOLP	Pas de fibres	Pas de fibre
FB 14	Houaïlou	Boreare	Schiste en plaquettes	RX	Quartz, clinochlore, albite, muscovite	Pas de fibre
FB 14	Houaïlou	Boreare	Schiste en plaquettes	MEB	Pas de fibres	Pas de fibre
PLW-289	Houaïlou	Boreare	Terre blanche	MOLP	100% de fibres assez homogène L=15-30µm, l=3µm, quelques baguettes	
PLW-372	Houaïlou	Boreare	Terre blanche	MOLP	100% de petites fibres, 10-20µm, très homogènes, aciculaires	
TD-263a	Houaïlou	Boreare	Terre blanche	MOLP	Débris de roche orientée blanc olivâtre avec passées fibreuses blanc laiteux. Fibres : Trémolite présente	Trémolite
TD-263b	Houaïlou	Boreare	Antigorite altérée	MOLP	Débris de roche olivâtre à tache sombres en surface. Fibres : Serpentine lamellaire présente, pas d'amiante visible	
TD-263c	Houaïlou	Boreare	Terre blanche	MOLP	Foisonnement de petites aiguilles droites (idem TD 241) à partir d'enchevêtrements bruns, 5-30*1µm	
TD-264a	Houaïlou	Boreare	Po	MOLP	Nombreux débris blanc laiteux et particules rouille. Fibre : Trémolite très fine présente	Trémolite
TD-264b	Houaïlou	Boreare	Po	MOLP	Foisonnement de petites aiguilles, 5-20*1µm, à partir de paquet enchevêtrés bruns	

Id_Observation	Commune	Tribu	Nature Echantillon	Type Analyse	Description Résultat	Nature Fibre
TD-265a	Houaïlou	Boreare	Po	MOLP	Nombreuse particule lamellaire blanc laiteux, pas de fibres minérales visibles. Fibres : Trémolite très fine abondante	Trémolite
TD-265b	Houaïlou	Boreare	Po	MOLP	Foisonnement de petites aiguilles, 5-20*1µm, à partir de paquet enchevêtrés bruns	
TD-267a	Houaïlou	Boreare	Po	MOLP	Débris lamellaires blanc laiteux, minéraux. Fibres : Trémolite lamellaire et fibreuse abondante	Trémolite
TD-267b	Houaïlou	Boreare	Po	MOLP	Foisonnement de petites aiguilles, courtes, droites, translucides vertes, enchevêtrées. L=10-30µm, l<2µm	
TD-268a	Houaïlou	Boreare	Po	MOLP	70 % de grains 5-15µm et 30 % de petites aiguilles courtes 10*2µm	
TD-268b	Houaïlou	Boreare	Po	MOLP	Débris minéraux lamellaires blanc laiteux et brun clair. Fibres : Trémolite abondante, plutôt lamellaire que fibreuse.	Trémolite
TD-269a	Houaïlou	Boreare	Po	MOLP	Foisonnement de petites aiguilles droites (idem TD 241) à partir d'enchevêtrements bruns, 5-30*1µm	
TD-269b	Houaïlou	Boreare	Po	MOLP	Dépris lamellaire blanc laiteux abondants et plus rarement débris brun clair. Fibres : Trémolite fine abondante	Trémolite
TD-175a	Houaïlou	Collège Nédiouen	Serpentinite altérée	MOLP	Particules brunes à beiges clair fortement fibreuses à fibres rigides très abondantes. Fibres : Serpentinite fibreuse très abondante (antigorite?)	Antigorite
TD-175b	Houaïlou	Collège Nédiouen	Serpentinite altérée	MOLP	100% de fibres en lattes, de toutes tailles, 200µm, forme assez irrégulière, antigorite probable	antigorite
TD-181-1a	Houaïlou	Collège Nédiouen	Terre blanche fibreuse	MOLP	90% de lattes allongé, mais pas fibreux (antigorite), 10% de fibre en lattes, de toutes tailles<100µm	antigorite
TD-181-1b	Houaïlou	Collège Nédiouen	Terre blanche fibreuse	MOLP	Débris de roche orientée grise à tecture globalement fibreuse. Serpentinite fibreuse abondante	Antigorite
TD-181-3	Houaïlou	Collège Nédiouen	Terre blanche	MOLP	100% de petits grains verts homogènes, qq rares fibres toutes petites	
TD-181-4a	Houaïlou	Collège Nédiouen	Serpentinite altérée	MOLP	75% de fibres très hétérogènes, esquilleuse, L=10-200µm, Lm=50µm. 25% de grains de toutes tailles	
TD-181-4b	Houaïlou	Collège Nédiouen	Serpentine altérée	MOLP	Débris de roche blanc verdâtre serpentinisée avec de nombreux morceaux de fibres apparentes. Fibres : Serpentine fibreuse abondante (antigorite?)	Antigorite
FB 16A	Houaïlou	Coula	case	RX	Quartz, Amphibole (T), feldspath (albite), clinochlore, muscovite, talc	Trémolite
FB 16A	Houaïlou	Coula	case	MOLP	Très nombreuses fibres ?m	
FB 16A	Houaïlou	Coula	case	MEB	Fibres de trémolite très abondantes	Trémolite
FB 17A	Houaïlou	Coula	case	MOLP	très nombreuses fibres µm	
FB 17A	Houaïlou	Coula	case	MEB	Fibres d?actinolite très abondantes	Actinote
FB 17A	Houaïlou	Coula	case	RX	Amphibole (A), quartz, talc, clinochlore, feldspath (albite)	Actinote
FB 17B	Houaïlou	Coula	Schiste beige avec baguettes de talc	MOLP	Quelques fibres	
FB 17B	Houaïlou	Coula	Schiste beige avec baguettes de talc	MEB	Rares minéraux serpentineux	Pas de fibre
FB 17B	Houaïlou	Coula	Schiste beige avec baguettes de talc	RX	Quartz ++, Muscovite, Clinochlore, Lizardite, (Interstratifié?)	Pas de fibre
PLW-134	Houaïlou	Coula	Terre blanche	MOLP	99% de fibres, L=30-50µm, l=2-4µm, homogènes, bleutées. 1% de grains marrons, d=50µm	
PLW-135	Houaïlou	Coula	Terre blanche	MOLP	100% de fibres bien droites, L=15-30µm, l=2µm, se présente en aggrégat	

Id_Observation	Commune	Tribu	Nature Echantillon	Type Analyse	Description Résultat	Nature Fibre
PLW-261a	Houaïlou	Coula	Terre blanche	MOLP	100% de fibres homogènes, de taille variable, L=15-200µm, l=2µm, assez flexueuse	
PLW-261b	Houaïlou	Coula	Blocs de roche altére	MOLP	Blocs de roche altérée à fibres blanchâtre très abondante en surface. Trémolite fibreuse très abondante	Trémolite
PLW-261c	Houaïlou	Coula	Terre blanche	MOLP	Trémolite massive abondante. Serpentine non fibreuse rare	Trémolite
TD-258a	Houaïlou	Coula	Antigorite blanche altérée	MOLP	100% de petites aiguilles droites, translucides, vertes. L=15-30µm, l=1-3µm. En paquet à partir de minéraux qui se délitent	Trémolite
TD-258b	Houaïlou	Coula	Antigorite blanche altérée	MOLP	Débris gris blanc friables et mous, blocs blanc soyeux à fibres fines apparentes. Fibres : Trémolite en microfibres abondante	Trémolite
TD-259a	Houaïlou	Coula	Terre blanche	MOLP	Débris de roche altérée blanc laiteux avec particules brunes agrégées en surface et localement faciès fibreux visible.Trémolite fibreuse et lamellaire abondante. Serpentine (antigorite) en trace	Trémolite
TD-259b	Houaïlou	Coula	Terre blanche	MOLP	100% de fragments esquilleux allongés verts translucides. L=30-50µm, l=5-10µm. Certains sont plus allongés	
TD-259c	Houaïlou	Coula	Débris de roche blanc laiteux	MOLP	très nombreuses microfibres apparentes en surface. Aspect friable de l'ensemble des grains. Fibres : trémolite abondante	Trémolite
TD-259d	Houaïlou	Coula	Trémolite?	MOLP	100% d'aiguilles vertes translucides droites, à extinction droites certaines cassures pointues, légèrement esquilleuses, 30-60*1-6µm. Beaucoup de petits fragments 5-10µm	
TD-259e	Houaïlou	Coula	Terre blanche	MOLP	Fragments de minéraux en baguettes, translucides verts, L=50µm, l=20µm. Grains allongés L=10-20µm, l=5µm	
TD-259f	Houaïlou	Coula	Trémolite?	MOLP	Petits fragments esquilleux verts, 10-50µm, rares aiguilles 50*5µm. Beaucoup de fragments esquilleux allongés 30*10µm	
TD-259g	Houaïlou	Coula	Trémolite?	MOLP	Débris de roche altérée blanc olivâtre plutôt phylliteuse humide, sans fibres apparentes.Trémolite en fines lamelles abondante	Trémolite
TD-259h	Houaïlou	Coula	Trémolite?	MOLP	Débris de roche orientée verdâtre ou blanc laiteux avec partie fibreuse visible.Silicates lamellaire indifférenciés. Pas d'amiante visible	
TD-260a	Houaïlou	Coula	Po	MOLP	Agrégats bruns à débris végétaux abondant et particules blanc laiteux minérales. Fibre : Trémolite en trace	Trémolite
TD-260b	Houaïlou	Coula	Po	MOLP	Petits grains, lattes et esquilles allongées, jaunes bruns, 30*5µm, des aiguilles petites et droites 10*1-2µm (5%)	Pas de fibre
PLW-298	Houaïlou	Gouarawi	Serpentinite altérée blanche	MOLP	95% de grains parfois esquilleux, d=4-15µm. 5% de petites fibres L=10-15µm, l=1µm. une grande fibre >200µm flexueuse.	
TD-14a	Houaïlou	Gouarawi	Roche altérée jaunâtre	MOLP	Débris blanc laiteux friables avec particules ocre rouille également abondante, pas de fibres minérales abondantes	Pas de fibre
TD-14b	Houaïlou	Gouarawi	Roche altérée jaunâtre	MOLP	95% de petits grains verts, d=5-30µm. 5% de petites fibres, en éclat, esquilleuses, L=10µm, 2µm	
TD-211a	Houaïlou	Gouarawi	Serpentinite	MOLP	Squelettes de minéraux translucides verts qui se débitent en fragments de toutes tailles, parfois allongés. Fond de petites virgules 5-10µm. Aucune aiguille	Pas de fibre
TD-211b	Houaïlou	Gouarawi	Serpentinite	MOLP	Débris de roche verte serpentinisée, localement fibreuse dans la masse, et débris blanc laiteux à phyllites probables. Serpentine plus ou moins fibreuse présente. Chrysotile possible en trace	Antigorite
TD-231	Houaïlou	Gouareu-Neaoua	Magnésite	MOLP	99% de fragments esquilleux, allongés, verts translucides. Beaucoup de petits grains en virgules 10µm	Pas de fibre
B-3	Houaïlou	Houaïlou-village/Parouyé				

Id_Observation	Commune	Tribu	Nature Echantillon	Type Analyse	Description Résultat	Nature Fibre
B-4	Houaïlou	Houaïlou-village/Parouyé				
TD-196-1a	Houaïlou	Houaïlou-village/Parouyé	Terre blanche	MOLP	Débris blanc laiteux à très nombreuses gerbes de fibres fines. Fibres : Serpentine fibreuse abondante (antigorite?)	Antigorite
TD-196-1b	Houaïlou	Houaïlou-village/Parouyé	Terre blanche	MOLP	70% de fibres irrégulières en lattes, 30% de petits grains légèrement allongés	
TD-196-2a	Houaïlou	Houaïlou-village/Parouyé	terre blanche	MOLP	80% de fibres, deux population. 50% petites fibres très fines L=10-20µm, 50% de fibres en lattes L=50-100µm.20% de grains parfois allongés d=10-20µm	
TD-196-2b	Houaïlou	Houaïlou-village/Parouyé	Terre blanche	MOLP	Débris blanc laiteux et rouille à nombreuse gerbes de fibres incluses. Fibres : Serpentine fibreuse présente à abondante (antigorite?)	Antigorite
TD-196-3	Houaïlou	Houaïlou-village/Parouyé	Roche blanche altérée	MOLP	90% de fibres en lattes L=20-30µm, esquilleuses, peu homogènes	
TD-197-1a	Houaïlou	Houaïlou-village/Parouyé	Antigorite blanche fibreuse	MOLP	80% de fibres assez allongées, assez épaisses. 20% de fragments d'antigorite allongés, jaunâtres	
TD-197-1b	Houaïlou	Houaïlou-village/Parouyé	Antigorite blanche fibreuse	MOLP	Débris de roche allongée gris verdâtre d'aspect fibreux, quelques microparticules rouilles associées. Fibres : Serpentine plutôt lamellaire très abondante	Antigorite
TD-197-2	Houaïlou	Houaïlou-village/Parouyé	Terre blanche (serpentinite altérée)	MOLP	100% de petits grains verts légèrement allongé en lattes, pas de fibres	Pas de fibre
FB 2	Houaïlou	Kamoui	giobertite en boule	MEB	Pas de fibres	Pas de fibre
FB 2	Houaïlou	Kamoui	giobertite en boule	MOLP	Pas de fibres	Pas de fibre
FB 2	Houaïlou	Kamoui	giobertite en boule	RX	Magnésite pure	Pas de fibre
E-2	Houaïlou	Méareu				Pas de fibre
E-3	Houaïlou	Méareu				Pas de fibre
NI-23-1a	Houaïlou	Méareu	Serpentinite altérée	MOLP	100% de petits grains verts homogènes, qq rares fibres, petites et homogènes, L=10µm, l=1µm	Pas de fibre
NI-23-1b	Houaïlou	Méareu	Serpentinite altérée	MOLP	Débris de roche gris vert à brun rouille avec des parties fibreuses visibles et serpentinite non fibreuse dominante. Fibres : serpentinite localement fibreuse, antigorite probable présente	Antigorite
NI-23-2	Houaïlou	Méareu	Serpentinite altérée ocre	MOLP	100% de grains verdâtres parfois trappus ou esquilleux. d=5-10µm	Pas de fibre
TD 10-2a	Houaïlou	Méareu		MOLP	Nombreus débris ocre clair avec des grains de serpentinite blanc verdâtre sans fibres apparentes	Pas de fibre
TD 10-2b	Houaïlou	Méareu		MOLP	100% de grains hétérogènes, d moy=15-20µm (1-50µm)	Pas de fibre
TD-10-1	Houaïlou	Méareu	Terre blanche	MOLP	100% de grains, d=2-10µm, verdâtre, pas de fibres	Pas de fibre
TD-235a	Houaïlou	Médaouya		MOLP	Débris de roche olivâtre totalement fibreuse avec des taches colorées (brun noir).Silicates lamellaires dont serpentine probable	Antigorite
TD-235b	Houaïlou	Médaouya		MOLP	Débris bruns à blanc laiteux dont certains totalement fibreux.Trémolite fibreuse présente. Serpentine fibreuse présente (Antigorite)	Trémolite Antigorite
TD-235c	Houaïlou	Médaouya		MOLP	Débris de roche blanc laiteux en feuillets soyeux et traces de fibres, texture localement fibreuse. Serpentine fibreuse présente (antigorite probable)	Antigorite
TD-235d	Houaïlou	Médaouya	Fibres	MOLP	Minéraux en paquets fibreux, flexueux qui foisonnent>150µm, grains et aiguilles fines 5-50*1-2µm	
TD-235e	Houaïlou	Médaouya		MOLP	Débris de roche allongée, fibreuse avec enveloppe rouille sur les grains et gerbes de fibres abondantes. Trémolite fibreuse présente, Serpentine fibreuse présente (antigorite)	Trémolite Antigorite
TD-235f	Houaïlou	Médaouya	Fibres	MOLP	80% de petits grains verts translucides, d=5-20µm. 20% de fines aiguilles L=10-20µm, l<1µm	

Id_Observation	Commune	Tribu	Nature Echantillon	Type Analyse	Description Résultat	Nature Fibre
TD-235g	Houaïlou	Médaouya	Fibres	MOLP	Très grandes lattes > 500µm, qui se débitent esquilles +/- allongées et en petits grains<5µm. Rares lattes 30*5µm	
TD-235h	Houaïlou	Médaouya	Serpentinite altérée	MOLP	Minéraux en lattes>100µm qui se délittent en petites lattes 30*5µm, translucides vertes, et grains 30-40µm. Fond de virgules 5-10µm	
TD-237a	Houaïlou	Médaouya	Trémolite?	MOLP	Uniquement des petits fragments (grains) translucides verts, 10-20µm, quelques plus gros fragments, esquilleux allongés 50-100*5-10µm. 1ou 2 aiguilles sur tout le champs	
TD-237b	Houaïlou	Médaouya	Trémolite?	MOLP	Blocs centimétriques de roche compacte verdâtre non fibreuse à enduit externe ferrugineux. Fibres : Serpentine lamellaire présente avec talc probable, pas d'amiante visible	
TD-239a	Houaïlou	Médaouya	Antigorite altérée	MOLP	Minéraux allongés verts translucides L=100µm, l=50µm qui se délitent en esquilles. Quelques aiguilles L=50-100µm, l=5µm	
TD-239b	Houaïlou	Médaouya	Serpentinite	MOLP	Débris de roche blanc olivâtre à texture fibreuse Serpentinite fibreuse abondante, type antigorite. Chrysotile possible en trace, à vérifier en META	Antigorite
TD-241a	Houaïlou	Médaouya	Terre blanche	MOLP	Foisonement de fibres très petites 10-20*1µm à partir de paquets bruns (enchevêtrement)	
TD-241b	Houaïlou	Médaouya	Terre blanche	MOLP	Débris de roche blanc laiteux plutôt phylliteuses mais fibres fines apparentes sur quelques grains. Fibres : trémolite abondante	Trémolite
TD-242	Houaïlou	Médaouya	Serpentinite altérée	MOLP	Squelettes de minéraux translucides verts qui se débitent en fragments de toutes tailles, parfois allongés. Fond de petites virgules 5-10µm. Aucune aiguille	Pas de fibre
TD-245a	Houaïlou	Médaouya	Serpentinite altérée	MOLP	Minéraux > 150µ bruns verts qui se fragmentent , grains et esquilles de toutes tailles 5-20µm, qq allongés, très rares aiguilles	
TD-245b	Houaïlou	Médaouya	Serpentinite altérée	MOLP	Débris de roche orientée, serpentinisée blanc laiteux avec enduits colorés (rouille). Quelques gerbes de fibres minérales apparentes Serpentinite fibreuse type antigorite abondante	Antigorite
TD-246a	Houaïlou	Médaouya	Serpentinite altérée	MOLP	Débris de roche orientée, blanc olivâtre, serpentinisée avec très rarement un faciès fibreux visible.Serpentinite fibreuse type antigorite présente	Antigorite
TD-246b	Houaïlou	Médaouya	Serpentinite altérée	MOLP	99% de fragments de toutes tailles, translucides, verts, 5-50µm, bcp de petits grains, qq esquilles allongées, 10-20µm*2-5µm. Très rares aiguilles 10-20µm*1µm	
TD-247a	Houaïlou	Médaouya	Serpentinite altérée	MOLP	Débris de roche crème savonneuse, serpentinisée à faciès fibreux nettement visible, trace de MnO et d'hydroxyde de fer en surface. Serpentinite fibreuse type antigorite abondante	Antigorite
TD-247b	Houaïlou	Médaouya	Serpentinite altérée	MOLP	Gros minéraux en lattes>150µm qui se fragmentent en grains et esquilles 10-30µm, qq esquilles allongées	Pas de fibre
TD-248a	Houaïlou	Médaouya	Terre blanche	MOLP	100% de petites aiguilles vertes bruns en paquets fibreux, qui se délitent à partir de minéraux jaunes. Aiguilles de toutes tailles, 10-20*1µm et 50*2µm	
TD-248b	Houaïlou	Médaouya	Trémolite?	MOLP	Débris de roche olivâtre nettement fibreuse. Serpentinite fibreuse abondante (type antigorite)	Antigorite
TD-248c	Houaïlou	Médaouya	Trémolite?	MOLP	Fragments et esquilles translucides vertes à brunes, de toutes tailles, 5-100µm, 10-20% d'esquilles en aiguilles 50-100µm*2-10µ	
TD-248d	Houaïlou	Médaouya	Terre blanche	MOLP	Débris de roche avec grains blanc, grains olivâtres, quelques fibres apparentes dans certains grains. Fibres : trémolite fibreuse abondante, serpentine lamellaire à fibreuse présente (antigorite?)	Trémolite Antigorite
TD-248e	Houaïlou	Médaouya	Argile blanche	MOLP	Petits grains <5µm et "fleurs" 50-20µm translucide vert	Pas de fibre
TD-248a	Houaïlou	Médaouya	Terre blanche	MOLP	Fragments et esquilles de toutes tailles à partir de minéraux bruns, certains en latte >100µm	Pas de fibre
TD-248b	Houaïlou	Médaouya	Tremolite ? Altérée	MOLP	98% de fragments esquilleux verts à bruns 50-60µm (grains) quelques aiguilles 100*5µm, avec des minéraux plus petits 20*5µm	

Id_Observation	Commune	Tribu	Nature Echantillon	Type Analyse	Description Résultat	Nature Fibre
YG-01a	Houaïlou	Médaouya	Antigorite altérée	MOLP	Débris blanc laiteux et olivâtres de roche orientée, localement fibreuse. Fibres : Serpentine plutôt lamellaire que fibreuse abondante (antigorite)	Antigorite
YG-01b	Houaïlou	Médaouya	Antigorite altérée	MOLP	Superbes aiguilles droites 250-500*10µm, plus gros minéraux allongés, 200µ, qui se fragmentent en esquilles allongées 50*5µm ou plus petits 15*2µm	
YG-02	Houaïlou	Médaouya	Antigorite altérée	MOLP	100% de gros minéraux jaune vert translucide, 300-400µm, qui se fragmentent en esquilles 10µm, quelques esquilles allongées 10*2µm	Pas de fibre
YG-03a	Houaïlou	Médaouya	Antigorite altérée	MOLP	Débris de roche orientée blanc laiteux à olivâtre, tache d'oxydes de Mn en surface et rares fibres apparentes. Nature des fibres : Serpentine fibreuse présente, Chrysotile possible à confirmer	
YG-03b	Houaïlou	Médaouya	Antigorite altérée	MOLP	100% de fragments de toutes tailles verts translucides, d=10-100µm, rares esquilles allongées L=20, l=5µm	
YG-05a	Houaïlou	Médaouya	Fibres	MOLP	Poudre blanc laiteux composée de particules vitreuses, phylliteuses avec grains plus ambrés sans fibres apparentes. Pas de fibres visibles, pas d'amiante visible	Pas de fibre
YG-05b	Houaïlou	Médaouya	Fibres	MOLP	100% de fragments à partir de minéraux vert translucides 50-100*20-30µm. Ecrasement en petites virgules, 5-10µm	
YG-07a	Houaïlou	Médaouya	Antigorite fibreuse altérée	MOLP	98% de fragments et grains translucides vert, 5-50µm.Quelques esquilles allongées30-50*5µm. Très rares aiguilles	Antigorite
YG-07b	Houaïlou	Médaouya	Argile altérée	MOLP	Grains humides friables, blanc crème, sans fibres apparentes et quelques taches rouilles. Nature des fibres : Pas de fibres visibles, Pas d'amiante visibles	Pas de fibre
YG-07c	Houaïlou	Médaouya	Argile altérée	MOLP	Fond de très petits grains verts <5µm, plus fragments et lattes 50*10µm	
YG-07d	Houaïlou	Médaouya	Antigorite fibreuse altérée	MOLP	Débris de roche fibreuse orientée, plate, verdâtre à fibres domiantes et traces de Mn et Fe en surface. Nature des fibres : Serpentine lamellaire et fibreuse abondante (antigorite?)	Antigorite
HO 663a	Houaïlou	Mee	Produits blancs d'altération sur serpentinite	RX	Amphibole (A), talc et clinochlore	Actinote
HO 663b	Houaïlou	Mee	Produits blancs d'altération sur serpentinite	MOLP	100% de petites (2?m) fibres parfois en agrégats.	
HO 663c	Houaïlou	Mee	Produits blancs d'altération sur serpentinite	MEB	Fibres abondantes d?actinolite	Actinote
HO 667 a	Houaïlou	Mee	Terre blanche pulvérulente sur serpentinite	MOLP	100% de petites fibres (env. 2?m) en agrégats qui se délitent dansl'eau	
HO 667 a	Houaïlou	Mee	Terre blanche pulvérulente sur serpentinite	RX	Amphibole exclusive (traces de smectite)	Pas de fibre
HO 667 a	Houaïlou	Mee	Terre blanche pulvérulente sur serpentinite	MEB	Fibres abondantes d?actinolite	Actinote
HO 667 b	Houaïlou	Mee	Roche fibreuse		Fibres flexible	
HO 669 a	Houaïlou	Mee	Serpentinite à filonnets de minéraux fibreux		Amphibole exclusive (trace smectite)	
PLW-262	Houaïlou	Mee	Terre blanche	MOLP	80% de fibres, L=4-35µm, l<1µm. Parfois plus longues, jusqu'à 50µm. 20% de grains de 5à 15µm	
PLW-266	Houaïlou	Mee	Terre blanche	MOLP	100% de fibres assez homogène L=25µm, l=1µm. quelques fibres plus longues : L=50-70µm	
PLW-267	Houaïlou	Mee	Terre blanche	MOLP	100% de petites fibres homogène, L=10-15µm, l<1µm	

Id_Observation	Commune	Tribu	Nature Echantillon	Type Analyse	Description Résultat	Nature Fibre
PLW-379a	Houaïlou	Mee	Terre blanche	MOLP	100% de petites fibres légèrement trappues ou esquilleuses, L=10-20µm, quelques rares grains	
PLW-379b	Houaïlou	Mee	Terre blanche	MOLP	100 de fibres petites et homogènes, 10-20µm	
TD-261a	Houaïlou	Mee	*Pö*	MOLP	Minéraux en paquets fibreux, flexueux qui foisonnent>150µm, grains et aiguilles fines 5-50*1-2µm	
TD-261b	Houaïlou	Mee	*Pö*	MOLP	Débris de roche friable blanc laiteux à microfibres apparentes localement. Trémolite présente	Trémolite
TD-270a	Houaïlou	Mee	antigorite altérée	MOLP	Débris de roche altérée blanc orientée et localement fibreuse dans la masse. Antigorite ou serpentine fibreuse présente. Trémolite présente	Antigorite Trémolite
TD-270b	Houaïlou	Mee	Antigorite altérée	MOLP	Fragments de gros minéraux en baguettes translucides verts, 100-150*20-50µm. Petits grains allongés ou virgules 10µm. A moins que ces virgules soient une cristallisation spécifique.	Pas de fibre
TD-270c	Houaïlou	Mee	Antigorite altérée	MOLP	Minéraux en baguettes verts translucides, L=50-100µm, l=10-20µm. Beaucoup de grains en virgules, 10µm	
TD-270d	Houaïlou	Mee	Antigorite altérée	MOLP	Débris de roche verte à blanc laiteux sans fibres apparentes, aspect "savonneux" des particules présentes. Nature des fibres : Serpentine lamellaire et fibreuse (antigorite) présente	Antigorite
PLW-130	Houaïlou	Méé	Roche blanche	MOLP	95% de fibres hétérogènes en longueur, mais une seule population, L=50µm, l=2µm. 5% de grains, d=50µm	
PLW-124	Houaïlou	Megorawi	Terre blanche	MOLP	100% de petites fibres fines, L=15-30µm, l=2-5µm	
PLW-74	Houaïlou	Megorawi	Serpentinite altérée	MOLP	99% de grains, soit morron clair, d=70µm, soit sombre, d=100-150µm. 1% de fibres esquilleuses, L=120, l=5µm. 1 fibre minérale très flexueuse, L=700µm, l=30µ	
PLW-75	Houaïlou	Megorawi	Serpentinite altérée	MOLP	99% de fibres très fines, L=50-60, l=3µm. 1% de grains, d=5-10µm	
PLW-84	Houaïlou	Megorawi	Terre blanche	MOLP	100% de fibres de taille variable, L=20-100µm, Lmoy=60µm, l=5µm	
TD 50-2a	Houaïlou	Megorawi		MOLP	Débris de roche gris verdâtre, serpentine et débris végétaux dominants. Serpentine fibreuse présente, plus souvent lamellaire	Antigorite
TD 54a	Houaïlou	Megorawi		MOLP	95% de grains parfois esquilleux et allongés. 5% de petites fibres, parfois flexueuses, L<20µm, l=2µm	
TD 54b	Houaïlou	Megorawi		MOLP	Débris de roche serpentinisée blanc olivâtre dont certains grains ont une texture fibreuse visible. Chrysotile présent, serpentine fibreuse présente	Chrysotile antigorite
TD-18a	Houaïlou	Megorawi	Serpentinite altérée	MOLP	Débris de roche olivâtre serpentinisée avec fibres localement apparentes. Fibres : Serpentine fibreuse abondante	
TD-18b	Houaïlou	Megorawi	Serpentinite altérée	MOLP	75% de grains d=5µm. 25% de fibres assez petites, L=10-20µm, l=1-2µm, parfois esquilleux	
TD-19-1a	Houaïlou	Megorawi	Terre blanche	MOLP	100% de fibres très homogènes, translucides. L=20-30µm, l=1µm	
TD-19-1b	Houaïlou	Megorawi	Terre blanche	MOLP	Blocs et débris blanc laiteux à nombreuses microfibres.Fibres : trémolite abondante,serpentine fibreuse en traces	Trémolite
TD-19-2a	Houaïlou	Megorawi	Serpentinite	MOLP	90% de gros grains (jusqu'à 200µm) texture feuilletée, avec des copaux qui se détachent, de teinte verdâtre, d moy=50µm. 10% de fibres isolées, L max=80µm,	
TD-19-2b	Houaïlou	Megorawi	Serpentinite	MOLP	Débris de roche orientée blanc crème avec nombreuse fibres et débris végétaux. Serpentine fibreuse présente (antigorite probable)	Antigorite
TD19-3	Houaïlou	Megorawi		MOLP	Granulat de roches vertes, poudre gris vert riche en morceaux serpentinisée à faciès fibreux nettement visible. fibres courtes dans les grains. Serpentine rarement fibreuses	Antigorite
TD-55-1a	Houaïlou	Megorawi	Serpentinite altérée	MOLP	Débris de roche serpentinisée blanc olivâtre à tache sombres en surface et texture localement fibreuse. Fibres : serpentine fibreuse abondante (antigorite?)	Antigorite
TD-55-1b	Houaïlou	Megorawi	Serpentinite altérée	MOLP	50% de fibres très hétérogènes, L=10-50µm, deux populations de fibres : fines, l=1-2µm ; trappues, l=5-10µm. 50% de grains d=5-100µm, d moy=20µm	

Id_Observation	Commune	Tribu	Nature Echantillon	Type Analyse	Description Résultat	Nature Fibre
PLW-303	Houaïlou	mine derrière Nédiouen	Terre blanche	MOLP	75% de petites fibres : L=10-20µm, l<1µm. 5% de grains, d=10-20µm	
PLW-305	Houaïlou	mine derrière Nédiouen	Terre blanche	MOLP	80% de fibres très finesL=15-20µm, l=1µm, homogènes. 20% de grains, d=20µm	
C-1	Houaïlou	Nédiouen				
C-2	Houaïlou	Nédiouen				Pas de fibre
PLW-391	Houaïlou	Nédiouen	chrysotile?	MOLP	100% de fibres tortueuses, extinction droite, en forme de fil	
TD-151-3	Houaïlou	Nédiouen	Serpentinite altérée	MOLP	100% de petits grains verts homogènes	Pas de fibre
TD-152-1	Houaïlou	Nédiouen	Filon de chrysotile dans la semelle	MOLP	100% de fibres tortueuses, très longues en fils.	
TD-152-2a	Houaïlou	Nédiouen		MOLP	100% de petits grains verts homogènes	Pas de fibre
TD-152-2b	Houaïlou	Nédiouen		MOLP	Poudre blanc crème dans laquelle on observe des morceaux rouille et particules jaune, sans fibre minérale apparente	Pas de fibre
TD-181-2a	Houaïlou	Nédiouen	Terre blanche	MOLP	100% de grandes fibres homogène, esquilleuse, 50-100µm	
TD-181-2b	Houaïlou	Nédiouen	Terre blanche	MOLP	Ensemble de particules blanc laiteux brun rouille à noir (Mn, Fe), avec de nombreuse gerbes de fibres visibles. Fibres : Serpentine fibreuse abondante (antigorite?) Chrysotile à confirmer	Antigorite
PLW-353	Houaïlou	Nédiouen Réservoir	Terre blanche	MOLP	100% de fibres homogènes de taille variable, très grandes et légèrment flexueuses (1mm), ou entre 200et 500µm	
TD-163-1a	Houaïlou	Nédiouen Réservoir		MOLP	Très longues gerbes de fibres blanches en blocs pluricentimétriques à encroutement olivâtre. Fibres : Trémolite fibreuse abondante	Trémolite
TD-163-1b	Houaïlou	Nédiouen Réservoir		MOLP	95% de fibres, assez grandes et trappues L=100µm, l=5µm, ou très fines L=20-100µm, l<1µm	
TD-163-2a	Houaïlou	Nédiouen Réservoir	Roche fibreuse blanche	MOLP	Grands blocs laiteux de fibres souples et longues, très abondantes. Fibres : Trémolite très abondante	Trémolite
TD-163-2b	Houaïlou	Nédiouen Réservoir	Roche fibreuse blanche	MOLP	90% de fibres très longues L=200-500µm, homogènes, très fines, 10% de grains ronds verdâtres	
C-3	Houaïlou	Nédiouen-Tuu				
PLW-241-a	Houaïlou	Nédiouen-Tuu	Terre blanche	MOLP	5% de fibres bien aciculaire, très fine : L=10-40µm, l<1µm. 95% de grains transparents, dmoy=10µm	
PLW-241-b	Houaïlou	Nédiouen-Tuu	Terre blanche	MOLP	70% de fibres assez homogènes le plus souvent fines, parfois trappues, L=10µm, l=1µm. 30% de grains, d=4-20µm	
PLW-241-d	Houaïlou	Nédiouen-Tuu	Terre blanche	MOLP	99% de petits grains, d=2-4µm. 1% de fibres L=10-20µm, l<1µm	
PLW-244	Houaïlou	Nédiouen-Tuu	Serpentinite altérée	MOLP	100% de fibres trappues, diamètres proportionnel à l'allongement, L=10-60, l=1-5µm	
G-3	Houaïlou	Nédivin				
G-4	Houaïlou	Nédivin				
G-5	Houaïlou	Nédivin				
G-6	Houaïlou	Nédivin				
G-7	Houaïlou	Nédivin				Pas de fibre
TD-100-2a	Houaïlou	Nédivin	Serpentinite altérée	MOLP	Débris de roche serpentinisée gris verdâtre avec zoens fibreuses localement développées dans certains grains. Chrysotile présent, autre serpentine fibreuse présente.	Chrysotile antigorite
TD-100-2b	Houaïlou	Nédivin	Serpentinite altérée	MOLP	90% de grains, d=15-20µm. 10% de fibres trappues et esquilleuses, L=20-50µm, l=5-10µm	

Id_Observation	Commune	Tribu	Nature Echantillon	Type Analyse	Description Résultat	Nature Fibre
TD-106a	Houaïlou	Nédivin	Serpentinite altérée	MOLP	95% de grains verdâtres, parfois en aggrégats, d=15-25µm. 5% de fibres esquilleuses L=50µm, l=2-5µm. Une grande fibre : L=125µm, l=5µm	
TD-106b	Houaïlou	Nédivin	Serpentinite altérée	MOLP	Débris de roche blanc laiteux à olivâtre, serpentinisée avec localement faciès fibreux. Serpentine fibreuse présente (lizardite d'après DRX)	lizardite
TD-182	Houaïlou	Nédivin		MOLP	100% de petits grains homogènes noirs à ocres	Pas de fibre
TD-79-1a	Houaïlou	Nédivin	Terre Blanche	MOLP	Débris blanc crème sans fibres minérales apparentes, trace de serpentine fibreuse	Pas de fibre
TD-79-1b	Houaïlou	Nédivin	Terre blanche	MOLP	100% de petits grains homogènes, verdâtres, d=5-10µm	Pas de fibre
TD-79-2	Houaïlou	Nédivin	Terre blanche	MOLP	100% de petits grains homogènes, verdâtres, d=5-10µm	Pas de fibre
TD-79-3a	Houaïlou	Nédivin	Terre blanche	MOLP	100% de petits grains homogènes, verdâtres, d=5-10µm	Pas de fibre
TD-79-3b	Houaïlou	Nédivin	Terre Blanche	MOLP	Débris de roche crème, serpentine présente mais sans fibres minérales apparentes	Pas de fibre
TD-94-1a	Houaïlou	Nédivin	Serpentinite altérée	MOLP	Débris de roche orientée altérée blanc laiteux à tache d'oxyde de Mn en surface. Nature des fibres : Serpentine fibreuse présente et lamellaire abondante (antigorite probable)	Antigorite
TD-94-1b	Houaïlou	Nédivin	Serpentinite altérée	MOLP	95% de grains d moy=25µm. 5% de fibres épaisses, en baguettes, L=25µm, l=5µm	
TD-94-2a	Houaïlou	Nédivin	Serpentinite altérée	MOLP	Débris de roche orientée olivâtre à blanc laiteux avec lamelles apparentes plutôt que fibres. Nature des fibres : Trémolite présente, serpentine lamellaire présente	Trémolite Antigorite
TD-94-2b	Houaïlou	Nédivin	Serpentinite altérée	MOLP	80% de petits grains verdâtres, d=5-10µm. 20% de fibres trappues, L=20-50µm, l=5µm	
TD95	Houaïlou	Nédivin	Serpentinite altérée	MOLP	95% de grains très hétérogènes, d=40µm. 5% de fibres esquilleuses, assez trappues, L=20-100µm, l=5µm (antigorite probable)	
TD-250a	Houaïlou	Neouyo-Nindiah	Antigorite altérée	MOLP	Fragments verts translucides, grains et beaucoup d'esquilles allongées à partir de minéraux de 100µm, petits grains de 10µm et esquilles20-30*2-5µm	
TD-250b	Houaïlou	Neouyo-Nindiah	Antigorite altérée	MOLP	Débris de roche sepentinisée blanc laiteux à olivâtre avec poudre brun rouille assez abondante, faciès fibreux visible dans les grains. Serpentine fibreuse type antigorite présente	Antigorite
TD-250c	Houaïlou	Neouyo-Nindiah	Antigorite fibreuse altérée	MOLP	Débris de roche blanc laiteux et brun rouille abondants. Nombreus grains à texture fibreuse et nombreuses gerbes de fibres disséminées. Serpentine fibreuse très abondante, antigorite probable	Antigorite
TD-250d	Houaïlou	Neouyo-Nindiah	Antigorite fibreuse altérée	MOLP	100% de fragments et grains de toutes tailles d=10-100µm. Quelques baguettes L=100-150µm, l=5-10µm. Rares esquilles fibreuses L=30-50µm, l=2-4µm	
NC04DL	Houaïlou	Nérin	Terre blanche	MOLP	Blocs pluricentimétriques blanc laiteux à gerbes de fibres abondantes et visibles dans la masse des grains. Présence Possible d'une phase phylliteuse ou talc. Trémolite abondante	Trémolite
NC04DL(2)	Houaïlou	Nérin	Terre blanche	MOLP	Débris de roche verte sombre et fibreuse localement recouverte de fibres blanches soyeuses.Trémolite fibreuse très abondante, serpentine fibreuse (antigorite) présente	Trémolite
NC05DL	Houaïlou	Nérin	Terre blanche		Bloc de roche à patine Fe-Mn en surface avec petits lits blancs laiteux orientés dans une matrice olivâtre grenue. Quelques lamelles. Serpentinite parfois fibreuse et talc présent. Trémolite en trace	
NC07DL	Houaïlou	Nérin	Terre blanche			
TD-257a	Houaïlou	Nérin	Serpentinite altérée	MOLP	99% de fragments de toutes tailles, translucides, verts 10-30µm, quelques esquilles allongées, 10-20*5µm. Très rares aiguilles	
TD-257b	Houaïlou	Nérin	Serpentinite altérée	MOLP	Débris de roche verte serpentinisée avec rares zones fibreuses visibles en surface des grains. Quelques éclats rouille et blanc laiteux dans l'échantillon. Serpentine fibreuse (type antigorite)	Antigorite
NC08DL	Houaïlou	Nérin-Montfaou	Terre blanche			
PLW-367-a	Houaïlou	NessaKouya	Terre blanche	MOLP	100% de fibres homogènes fines très droites et longues. L=100µm	

Id_Observation	Commune	Tribu	Nature Echantillon	Type Analyse	Description Résultat	Nature Fibre
E-1	Houaïlou	Nindiah				
E-4	Houaïlou	Nindiah				
E-5	Houaïlou	Nindiah				Pas de fibre
E-7	Houaïlou	Nindiah				Pas de fibre
NI-08a	Houaïlou	Nindiah	Minéraux blanc talqueux	MOLP	Débris de roche crème grenue à ponctuation rouille avec des traces de fibres dans la masse des grains. Serpentinite lamellaire en trace, pas d'amiante visible	Antigorite
NI-08b	Houaïlou	Nindiah	minéraux blancs talceux	MOLP	Aggrégat de grains de 5 à 10µm, bien arrondis, pas d'allongement. 2 fibres : 1 flexueuses L 30 µm, l 5µm, 1bien droite L 20µm, l 2-5µm	
NI-09a	Houaïlou	Nindiah	Antigorite altérée	MOLP	30-40% de fibres de toutes tailles, L 30-40µm, en générale trapues, esquilleuse, flexueuses.Petits grains 10-20µm, la majorité 50-100µm	
NI-09b	Houaïlou	Nindiah	Serpentinite altérée	MOLP	Grains serpentinisés blanc verdâtre à ponctuations noires sans texture fibreuse apparente. Serpentine fibreuse présente (antigorite?) Chrysotile en trace	Antigorite Chrysotile
NI-12a	Houaïlou	Nindiah	Poudre blanche	MOLP	Poudre blanchâtre avec de longues fibres très fines incolores disséminées dans l'échantillon. Pas d'amiante visible	
NI-12b	Houaïlou	Nindiah	Poudre blanche	MOLP	100% de petits grains verdâtres homogènes, d=5µm	Pas de fibre
NI-13-a	Houaïlou	Nindiah	Bloc alternant roche sombre et lit siliceux	MOLP	Débris de roche blanc laiteux au toucher savonneuux, serpentine et talc possible plaques oxydées rouille et noir (Fe,Mn). Nature des fibres : Trémolite lamellaire et fibreuse	Trémolite
NI-13-b	Houaïlou	Nindiah	Bloc alternant roche sombre et lit siliceux	MOLP	80% de fibres fines, droites L=10-20µm, l=1µm. 20% de petits grains, parfois en aggrégat, d=5µm	
NI-14a	Houaïlou	Nindiah	Antigorite altérée	MOLP	Débris de serpentine blanc crème. Quelques grains d'aspects fibreux dans les grains serpentinisés. Serpentine lamellaire ou fibreuse, antigorite problable	Antigorite
NI-14b	Houaïlou	Nindiah	Antigorite altérée	MOLP	90% de grains 5-15µm. 10 % de fibres. 2 types de fibres : assez petites et trapue L 25µm, l 5µm; et longues et fines L 30-40µm, l 2-5µm.	
NI-15a	Houaïlou	Nindiah	Poussière de route	MOLP	Débris de roche serpentinisée avec grains rouille, traces de phyllites et nombreux grains a texture fibreuses. Serpentine fibreuse présente, antigorite probable	Antigorite
NI-15b	Houaïlou	Nindiah	Poussière de route	MOLP	Grains hétérogènes, jusqu'à 100µm, moy 20µm. 2-3% de fibres esquilleuses de différentes tailles, moy : L 50µm, l 10µm	
NI16-2	Houaïlou	Nindiah	Terre blanche	MOLP	100% de fibres très fines, L=10-20µm, l=0,5-1µm	
NI-18	Houaïlou	Nindiah	Boghen	MOLP	100% de petits grains, d=2-10µm, homogènes	Pas de fibre
NI-19a	Houaïlou	Nindiah	Serpentinite	MOLP	Grains blanc laiteux à enduit Mn-Fe en surface avec des zones à fibres visibles dans la masse des grains. Fibre de serpentinite lamellaire ou fibreuse	Antigorite
NI-19b	Houaïlou	Nindiah	Serpentinite	MOLP	100% de petits grains verdâtres, d=1-2µm, 10-20µm pour les plus gros	Pas de fibre
NI-19c	Houaïlou	Nindiah	Antigorite, serpentinite altérée	MOLP	90% de grains 15-30µm, 10% de fibres esquilleuses et flexueuses L 25µm, l 5µm	
NI-20-1	Houaïlou	Nindiah	Roche noire	MOLP	100% de grains parfois allongés, mais pas de fibre, légèrement esquilleux. d=1-100µm	Pas de fibre
NI-20-2a	Houaïlou	Nindiah	Roche blanche altérée	MOLP	100% de petits grains verdâtres, d=1-2µm, pas de fibres	Pas de fibre
NI-20-2b	Houaïlou	Nindiah	Roche blanche altérée	MOLP	Poudre crème à points rouille avec grains phylliteux et texture localement fibreuse. Fibres : serpentinite localement fibreuse type antigorite	Antigorite
NI-21	Houaïlou	Nindiah	Serpentinite	MOLP	100% de petits grains verdâtres homogènes, d=5-25µm	Pas de fibre
NI-22	Houaïlou	Nindiah	Argile	MOLP	100% de petits grains très homogènes, d=1-5µm	Pas de fibre

Id_Observation	Commune	Tribu	Nature Echantillon	Type Analyse	Description Résultat	Nature Fibre
NI-25-1a	Houaïlou	Nindiah	Serpentinite altérée	MOLP	Débris de roche en lamelles olivâtre ou brun clair, fibres parfois visibles. Serpentine localement fibreuse	
NI-25-1b	Houaïlou	Nindiah	Serpentinite altérée	MOLP	98% de petits grains verts homogènes, d=5-25µm. 2% de fibres esquilleuses verdâtres, trappues, L=10µm, l=1µm	
PLW-337	Houaïlou	Nindiah	Terre blanche	MOLP	100 de petits grains verts homogènes	Pas de fibre
PLW-87	Houaïlou	Nindiah	Serpentinite altérée	MOLP	98% de grains jaunatres, d=30µm. 2-3% de fibres esquilleuses, L=20-30µm, l=5-10µm	
SA-01-03a	Houaïlou	Nindiah	Roche blanche altérée	MOLP	50% de petits grains verts homogènes, d=5µm. 50% de grains plus grossiers, d=15-50µm.	Pas de fibre
SA-01-03b	Houaïlou	Nindiah	Roche blanche altérée	MOLP	Blocs blanc verdâtre non fibreux, orientés à taches rouille sans fibres apparentes.	Pas de fibre
SA-1-1	Houaïlou	Nindiah	Serpentinite altérée	MOLP	100% de petits grains verdâtres homogènes, d=5µm	Pas de fibre
SA1-2a	Houaïlou	Nindiah	Antigorite altérée	MOLP	80% de grains de taille hétérogène, compris entre 5 et 200µm. 20% de fibres, 2 populations : de grande taille L150µm, l 3µm, plus petite L 30µm, l 2µm (a pr	
SA1-2b	Houaïlou	Nindiah	Antigorite altérée	MOLP	Débris de roche orientée gris olivâtre à blanc, texture fibreuse interne nettement visible. Fibre : Trémolite lamellaire et fibreuse présente	Trémolite
TD-63a	Houaïlou	Nindiah		MOLP	Débris de roche vert sombre avec quelques éclats olivâtres, sans fibres apparentes. Nature des fibres Serpentinte présente, localement lamellaire	
TD-63b	Houaïlou	Nindiah		MOLP	Minéraux squellettiques>100µm qui se fragmentent en petites lattes. Qq esquilles allongées 30*5µm. Quelques aiguilles droites 50*5µm	
YG-06a	Houaïlou	Nindiah	Antigorite altérée	MOLP	Fragments de minéraux en baguettes, verts translucides (L=50-150µm, l=10-30µm), esquilles allongées (L=10-20µm, l=2-10µm). Présence de grains en virgules (<10µm)	
YG-06b	Houaïlou	Nindiah	Antigorite altérée	MOLP	Débris de roche orientée serpentinisée, gris olivâtre avec gerbes de fibres minérales visible dans certains grains. Nature des fibres Serpentine fibreuse présente, chrysotile probable en trace	Antigorite
TD-201a	Houaïlou	Ouakaya	Serpentinite altérée	MOLP	Débris de roche orientée serpentinisée blanc laiteux à nombreuses taches brun noir. Quelques fibres minérales disséminées dans les débris. Serpentine fibreuse de type antigorite présente	Antigorite
TD-201b	Houaïlou	Ouakaya	Serpentinite altérée	MOLP	Minéraux en lattes>100µm qui se délittent en petites lattes 30*5µm, translucides vertes, et grains 30-40µm.	
TD-201a	Houaïlou	Ouakaya	Serpentinite et fibres	MOLP	Fragments allongés de toutes tailles, translucides vert, 5-50µm, esquilles allongées, 10-30*2-6µm, droites, quelques aiguilles fines, 50*2-3µm	
TD-201b	Houaïlou	Ouakaya	Serpentinite et fibres	MOLP	Débris de roche serpentinisée à nivaux fibreux visible dans la masse. Fibres : Serpentine fibreuse abondante	
TD-203a	Houaïlou	Ouakaya	Serpentinite	MOLP	Débris de roche verte serpentinisée à texture fibreuse localement visible. Serpentine fibreuse ou lamellaire type antigorite présente	Antigorite
TD-203b	Houaïlou	Ouakaya	Serpentinite	MOLP	100% de fragements de toutes tailles, verts translucides, 10-50µm. Quelques esquilles allongées	Pas de fibre
TD-220a	Houaïlou	Ouakaya-Neaoua	Serpentinite	MOLP	Fragments de minéraux bruns à verts >10µm, qui se délitent en grains 1-20µm, aucune aiguille	Pas de fibre
TD-220b	Houaïlou	Ouakaya-Neaoua	Serpentinite	MOLP	Débris de roche grenue plus ou moins altérée, serpentinisée, traces de phyllites mais pas de fibres apparentes	Pas de fibre
PLW-53-1	Houaïlou	Ouessouin	Roche blanche	MOLP	100% de grains, d=5-15µm, translucide à fort relief	Pas de fibre
PLW-53-2	Houaïlou	Ouessouin	Talc schiste	MOLP	100% de grains, d=5-30µm	Pas de fibre
TD-36-1a	Houaïlou	Ouessouin	Roche blanche altérée	MOLP	Poudre et débris de roche blanc laiteux à passées rouilles sans fibres apparentes. Nature des fibres :Trémolite fibreuse très fine abondante	Trémolite
TD-36-1b	Houaïlou	Ouessouin	Roche blanche altérée	MOLP	95% de petits grains verdâtre, d=5-10µm. 5% de fibres, L=20µm, l=1-2µm	

Id_Observation	Commune	Tribu	Nature Echantillon	Type Analyse	Description Résultat	Nature Fibre
PORO1	Houaïlou	Poro		MOLP	Blocs de roche altérée nivaux fibreux nettement visibles et abondants : longues fibres souples et soyeuse. Chrysotile abondant.	Chrysotile
PLW-276-b	Houaïlou	route barrage néaoua	Terre blanche	MOLP	100% de fibres trappues, peu allongées (lattes?), Lmoy=50µm, l=5µm, extinction droite	antigorite
PLW-276-c	Houaïlou	route barrage néaoua	Terre blanche	MOLP	100% de fibres assez homogènes, L=10-70µm, Lmoy=20µm, l=2-4µm	
PLW-278	Houaïlou	route barrage néaoua	Terre blanche	MOLP	95% de fibres fine de taille variable : L<50µm, l=2µm. 5% de grains arrondis, d=4%m	
PLW-280	Houaïlou	route barrage néaoua	Roche blanche	MOLP	95% de fibres en petites aiguilles légèrement esquilleuses, L=15-20µm (5-50µm), l=1-2µm. 5% de grains légèrement allongés L=15-50µm, l=4-10µm	
PLW-281	Houaïlou	route barrage néaoua	Roche blanche altérée (terre blanche)	MOLP	100% de fibres homogène, de taille variée, L=40-60µm, l=2µm	
PLW-284	Houaïlou	route barrage néaoua	Terre blanche	MOLP	100% de fibres assez homogènes L30-50µm, l=3µm, quelques baguettes	
PLW-286-a	Houaïlou	route barrage néaoua	Terre blanche	MOLP	100% de fibres de taille variable, L=3-50µm, Lm=10µm, l=1µm. Quelques latte en fibres trapues, L=20-40µm, l=3-5µm. Un grand minéral à extinction oblique,	
PLW-286-b	Houaïlou	route barrage néaoua	Roche indurée blanche	MOLP	100% de fibres, L=20µm (4-50µm), l=1-2µm. Quelques fibre trapues (<5%)	
PLW-293	Houaïlou	route barrage néaoua	Serpentinite blanche altérée	MOLP	95% de grains de morphologie variée, d=4-20µm. 5% de fibres esquilleuses de toutes tailles L=5-40µm, l=2-6µm	
LK-10	Kouaoua	Koh		MOLP	Grandes baguettes et petites aiguilles	
LK-11	Kouaoua	Koh		MOLP	Grandes baguettes et petites aiguilles	
LK-12	Kouaoua	Koh		MOLP	Petites aiguilles et grandes baguettes	
D	ouegoa	col amoss		MOLP	Très gros grains (200 à 400µ) brillants, fort relief vert brun qui se débitent en plus petits fragments jusqu'à 10 µ, plutôt plaquettes et rares esquilles,	
NC27DL	ouegoa	col amoss		MOLP	Blocs pluricentimétriques hétérogènes à veines centimétriques chargées de "lattes" ou fibres. Pas franchement de fibres mais des lattes clivées de serpentine (antigorite probable)	Antigorite
NC30DL	ouegoa	col amoss		MOLP	Blocs verdâtres orientés à amphibole fortement clivée très abondante associée à clhorite. Trémolite localement clivée et fibreuse très abondante	Trémolite
NC31DL-a	ouegoa	col amoss	Roche schistosée	MOLP	Lamelles fines incolores visibles en surface. Fibres : Glaucophanite abondante, horneblende verte présente	Glaucophanite
NC31DL-b	ouegoa	col amoss	Roche schistosée	MEB	Amphibole et glaucophane en lamelle	
NC32DL	ouegoa	col amoss		MOLP	Echantillon vert à base de lattes d'amphibole verte non fibreuse mais parfois fortement clivée.Trace de phyllites. Trémolite en lamelle très fines (pas de cristalisation en fibre au sens minéralogique	Trémolite
B	ouegoa	Collège		MOLP	99% fragments esquilleux, aspect verre taillé, moyenne de 20µ; paquets de fragments à fort relief translucides verts et rares aiguilles et esquilles fibreus	
C	ouegoa	Collège		MOLP	98% fragments esquilleux 20µ et un peu plus d'aiguilles (2%) de 20µ	
NC28DL	ouégoa	Collège		MOLP	Agrégats ou blocs blanc laiteux ou brun, à fibres très abondantes. Composition des grains est massivement fibreuse. Trémolite très abondante	Trémolite
NC28DL(2)	ouégoa	Collège		MOLP	Blocs orientés gris blanc à touché soyeux et très riches en fibres. Trémolite abondante, talc probable	Trémolite

Id_Observation	Commune	Tribu	Nature Echantillon	Type Analyse	Description Résultat	Nature Fibre
NC29DL	ouégoa	Collège		MOLP	Bloc d'aspect micassé, blanc laiteux à traces d'hydroxydes de fer. Présence de quelques fibres vertes d'amphibole probable et micas abondant. Trémolite en amas isolés, talc probable	Trémolite
AM104	Poindimié	Amoa	Schistes blanchâtres	MOLP	99% de grains 4µm, 1% de fibres de 20µm	
AM105	Poindimié	Amoa	Schistes blanchâtres	MOLP	Grain entre 1 et 4µm	Pas de fibre
AM106	Poindimié	Amoa	Terre et cailloux sur piste	MOLP	Pas de fibres. 2 types de grains, soit translucides, soit sombres, brun. 4-10µm.	Pas de fibre
KT-05	Poindimié	BoPope		MOLP	Fibres en forme d'aiguilles et de baguettes de petites tailles	
KT-06	Poindimié	BoPope		MOLP	Fibres en baguettes et en auguilles de même taille et relativement grande	
KT109	Poindimié	BoPope	Roche blanche verdâtre en lamelles, tendre	MOLP	99% de grains isométriques 10-20µm. 1% de petites fibres L 20µm, l 2µm. Quelques grandes fibres de 100µm	
KT112	Poindimié	BoPope	Serpentinite à filonnet blanchâtre, soyeux	MOLP	Grains et débris entre 40 et 60µm, esquille en latte. Quelques rares aiguilles longues et fines, 50µm, d 1µm	
KT113	Poindimié	BoPope	Faciès charbonneux			
KT114	Poindimié	BoPope	Roche verte claire blanchâtre (frottis et LM)	MOLP	100 % de petits grains, 2-4µm	Pas de fibre
KT-12	Poindimié	BoPope		MOLP		
NC 18 DL	Poindimié	BoPope	Veines de chrysotile	MOLP	Grandes lattes fibreuses 1/2 cm qui se débitent en lattes fines mm puis en petites aiguilles env 20 µm epaisseur1 µm	
NC 18 DL(2)	Poindimié	BoPope	Veine de chrysotile	META	Trace de serpentine. Anctinolite confirmée	
NC 18 DL(3)	Poindimié	BoPope	Veine de chrysotile	MOLP	Blocs de roche verte compacte traversée par des veinules ouvertes à remplissage fibreux. Trémolite présente, serpentine à confirmer	Trémolite
NC 19 DL	Poindimié	BoPope	antogorite (?) fibreuse	MOLP	Grandes lattes fibreuses 1/2 cm qui se delittent en fibres ou esquilles asbestif mm, les plus petites 200 µm	
KT110	Poindimié	Kone-Tiwaka	Antigorite altéré formant des aiguilles	MOLP	100 % de minéraux aciculaires en plaquette de toutes taille, en moyenne 50µm, d 4µm	
KT111	Poindimié	Kone-Tiwaka	Antigorite en grandes baguettes	MOLP	Soit des paillettes (50%) soit des esquilles qui peuvent former des fibres	
NC26DL	Pouébo	Yambé		MOLP	Bloc fibreux verdâtre à grande lattes parallèles de chrysotile et autre serpentine fibreuse Possible associé. Chrysotile très abondant, Serpentine fibreuse associée (antigorite?)	Chrysotile Antigorite
NC10DL	Poya	Goipin	Serpentinite	MOLP	Bloc de roche à patine Fe-Mn en surface avec petits lits blancs laiteux orientés dans une matrice olivâtre grenue. Quelques lamelles. Serpentinite parfois fibreuse et talc présent. Trémolite en trace	
HO 640 a	Poya	Montfaoue	*Pö* sur serpentinte de type soapstone	MEB	Fibres d'actinolite abondantes	Actinote
NC39DL(2)	Poya	NéPoui		META	Amphibole non vue, serpentine présente et fibreuse	Antigorite
NC39DL(2)	Poya	NéPoui		MOLP	Serpentine en grandes lamelles dans des blocs pluricentimétriques de roche gris vert. Serpentine fibreuse abondante (antigorite propable)	Antigorite
LK-01	Sarramea	Grand Couli		MOLP	Grandes et petites fibres en aiguille. Petites aiguilles nombreuse. Fibres en baguette	
LK-02	Sarramea	Grand Couli		MOLP	Petites baguettes et petites aiguilles	
LK-03	Sarramea	Grand Couli		MOLP	Très petites aiguilles, grandes baguettes	
LK-04	Sarramea	Grand Couli		MOLP	Beaucoup de baguettes (grandes et petites) et toute petites aiguilles	

Id_Observation	Commune	Tribu	Nature Echantillon	Type Analyse	Description Résultat	Nature Fibre
LK-05	Sarramea	Grand Couli		MOLP	Petites et grandes aiguilles et grandes baguettes	
LK-06	Sarramea	Grand Couli		MOLP	Beaucoup de de petites aiguilles, baguettes	
LK-07	Sarramea	Grand Couli		MOLP	Présence de petites et grandes aiguilles	
LK-08	Sarramea	Grand Couli		MOLP	Grandes baguettes plus petites et grandes aiguilles	
LK-09	Sarramea	Grand Couli		MOLP	Petites aiguilles et grandes baguettes	
NC40DL	Sud			META	Comptage META : serpentine	
NC40DL	Sud			MEB	Fibres de trémolite	Trémolite
NC40DL	Sud			MOLP	Grains et texture fibreuse en grandes gerbes crème. Nombreuses fibres fines en surface des grains. Trémolite fibreuse très abondante et serpentine fibreuse présente	Trémolite Antigorite
NC42DL	Sud			MOLP	Gros blocs bicolores brun sombre et blanc laiteux, chargés de longues gerbes de fibres, éclats végétaux et débris divers. Trémolite abondante	Trémolite
NC45DL(2)	Sud			MOLP	Débris de roche orientée à veines millimétriques localement fibreuses : serpentine. Serpentine fibreuse type antigorite	Antigorite
AM101-b	Touho	Saint Paul	Schistes blancs	MOLP	60% de fibres 25-40µm, d 0,5µm, 40% de grains de 2 µm	

Annexe 7 - Tribus du secteur d'étude et données environnementales

Commune	Tribu	Nb menages	voitures	Pö	Nb cases Pö	Nb an exp Pö >1940	Pö post 1970	Nb carrieres <20km	dist carr	Anti gorite	Chry sotile	Trem actin	surf(km²) serpent. <5km	facteur mine	piste serp	gd axe (km)	Distance cote	Couverture vegetale	Pente 1km	Courb ure	Habit. 89
Bourail	Azareu	43	12	2	6	30	1	7	4,5	1	1	1	1,7	646	non	0	16057,6	Bush	9,9	-0,006	156
Bourail	Bouirou	53	13	2	17	40	1	4	4,5	1	1	1	2,7	162	non	6	18047,9	Bush	12,2	0,024	251
Bourail	Gouaro	43	12	0	0	0	0	1	18,5	0	0	0	0	37	non	7,5	286,7	Bush	3,1	-0,004	33
Bourail	Ny	49	17	1	2	11	0	7	0,5	1	1	1	1,2	1 293	oui	2,5	18941,9	Forest	16,1	-0,019	180
Bourail	Oua-Oué	43	12	2	0	20	0	0	21,5	0	0	0	2	74	non	6,5	8651,1	Bush	11,2	-0,024	37
Bourail	Pothé	43	12	2	2	10	0	9	2,5	1	1	1	1,6	323	non	0	16755,7	Forest	10,3	-0,003	206
Hienghene	Bas Coulna	27	1	2	10	55	2	4	2	1	1	1	0,3	0	non	21,5	8085,2	Forest	23,3	-0,098	111
Hienghene	Caavatch	72	6	2	2	50	2	3	8	0	0	1	0,3	0	non	20,5	8871,1	Forest	22,9	-0,044	80
Hienghene	Ganem	62	12	2	1	50	2	1	13	0	0	1	0,2	0	non	1,5	139,0	Forest	17,8	-0,047	110
Hienghene	Haut Coulna	24	1	2	9	55	2	3	8	0	0	1	1,9	0	non	13	10096,1	Forest	16,1	-0,045	76
Hienghene	Le Koulnoue	62	12	2	0	40	2	0	21	0	0	1	0,1	0	non	1,5	152,4	Forest	3,7	-0,014	77
Hienghene	Lewarap	45	14	2	0	50	2	0	9	0	0	1	0,1	0	non	6	2335,1	Forest	15,7	-0,069	64
Hienghene	Linderalique	62	12	2	4	40	2	1	18	0	0	1	0	0	non	0,5	87,9	Forest	8,2	-0,014	127
Hienghene	Ouaieme	57	7	2	0	40	2	0	24	0	0	1	0,1	0	non	0	160,0	Bush	12,9	-0,052	50
Hienghene	Ouare Tilougne	49	16	2	1	40	2	1	17	0	0	1	0,2	0	non	0	159,5	Forest	11,9	-0,055	329
Hienghene	Ouayaguette	33	2	2	1	50	2	3	5	1	0	1	8	0	non	36,5	16119,5	Bush	19,8	-0,067	80
Hienghene	Ouenghip	57	7	2	2	40	2	0	24	0	0	1	0,3	0	non	0	147,9	Forest	11,4	-0,063	74
Hienghene	Panie	57	7	2	0	40	2	0	27	0	0	1	0	0	non	0	162,4	Forest	11,5	-0,045	64
Hienghene	Pindache	62	12	2	0	45	2	0	22	0	0	1	0,1	0	non	2,5	149,3	Forest	8,8	0,025	19
Hienghene	Poindjap	45	14	2	0	45	2	1	8	0	0	1	0	0	non	8	3304,6	Forest	24,6	-0,044	54
Hienghene	Pouyemben	57	7	2	0	45	2	0	21	0	0	1	0,2	0	non	6	2709,5	Forest	21,9	-0,040	128
Hienghene	Tendo	72	6	2	22	55	2	3	8	0	0	1	0,3	0	non	19	8880,1	Forest	24,6	-0,096	119
Hienghene	Tiendanite	72	6	2	13	55	2	3	1	1	1	1	0,1	0	oui	15,5	7145,2	Forest	22,8	-0,087	81
Hienghene	Tiwamack	45	14	2	0	45	2	1	9	0	0	1	0,1	0	non	9	2473,7	Forest	18,9	0,008	103
Houaïlou	Ba	35	8	1	0	7,5	0	4	4,5	0	1	1	0,8	504	non	0	37,9	Bush	10,4	-0,034	184
Houaïlou	Boéareu	69	26	1	0	8,5	0	9	1	1	0	1	7,8	18	oui	1	6374,5	Bush	10,2	0,113	49
Houaïlou	Boréaré	60	11	2	6	20	0	16	4	1	0	1	1,8	148	non	3,5	18479,4	Bush	15,5	0,034	28
Houaïlou	Coula/Koro	60	11	2	3	20	0	19	0,1	1	0	1	2,6	172	oui	0	18842,9	Bush	14,7	-0,040	110
Houaïlou	Gondé	78	13	2	6	30	2	16	5	1	0	1	3,4	20	non	0,5	14708,1	Forest	10,0	0,021	107
Houaïlou	Gouaraoui	69	26	1	0	8,5	0	9	0,5	1	1	1	9,3	66	oui	2	6877,2	Bush	12,9	0,015	50
Houaïlou	Gouareu	79	25	0	0	0	0	15	11,5	1	0	0	2,1	26 441	oui	1	1896,9	Forest	16,1	-0,063	102
Houaïlou	Kamoui	46	5	1	1	10	0	12	15	1	0	0	2,8	13 220	non	1,5	5441,8	Bush	15,0	-0,069	43
Houaïlou	Kaora	35	8	1	0	7,5	0	4	8	0	1	1	0,9	302	non	0	362,8	Savannah	5,4	-0,004	52
Houaïlou	KaPoué	79	25	1	0	5	0	10	8,5	1	0	0	2,1	26 441	non	0	355,6	maquis	8,5	0,055	25
Houaïlou	Karagreu	60	11	1	1	5	0	18	2,5	1	0	1	1,6	1 034	oui	2,5	21384,6	Bush	16,2	-0,068	101
Houaïlou	Kua	46	5	2	0	20	0	0	31	1	0	0	0	7 211	non	6,5	1004,4	Forest	15,8	-0,113	25
Houaïlou	Mé	69	26	1	1	8,5	0	9	0,5	1	1	1	8,5	66	oui	2	6668,1	Bush	10,8	-0,041	44
Houaïlou	Méareu	69	26	1	0	8,5	0	13	0,5	1	0	0	5,9	398	oui	0	4773,1	Bush	7,0	0,022	63
Houaïlou	Médaouya	78	13	2	1	17	0	14	0,5	1	1	1	5,2	22	oui	0	11145,9	Bush	8,1	0,011	29
Houaïlou	Méomo	35	8	1	0	5	0	7	10	0	1	0	0,4	252	non	0	377,7	Bush	3,1	-0,002	44
Houaïlou	Néaoua	46	5	1	1	12,5	0	11	14,5	1	0	0	3	26 441	oui	2	4391,8	Bush	13,2	-0,036	64
Houaïlou	Néaria	35	8	0	0	0	0	7	1	1	0	1	1,9	1 512	non	0	1365,8	Bush	3,1	0,002	72
Houaïlou	Nédiouen	53	10	1	1	11	0	9	2,5	1	1	1	1,9	543	oui	0	810,3	Bush	3,7	-0,002	278
Houaïlou	Nédivin	37	15	1	0	7,5	0	9	3	1	1	1	5,2	99	oui	0	5862,9	Bush	8,6	0,023	220
Houaïlou	Nékoué	46	10	0	0	0	0	7	4	1	0	0	1,9	68	non	0	385,2	Forest	1,6	-0,008	133
Houaïlou	Néoua	46	5	2	3	30	2	6	6,5	1	0	1	7	3 511	oui	8	15742,3	Bush	15,5	-0,026	29
Houaïlou	Néouyo	79	25	0	0	0	0	9	6,5	1	1	0	1,9	36 056	oui	0,5	185,5	Forest	6,1	-0,018	153

Houaïlou	Nérin	78	13	2	2	20	0	21	0,5	1	1	1	4,1	5 171	oui	6	21224,0	Bush	17,8	-0,045	26
Houaïlou	Nessa Kouya	78	13	0	0	0	0	11	2	1	0	1	4,8	25	oui	0	9338,8	Bush	13,2	-0,029	157
Houaïlou	Néya	35	8	1	0	5	0	5	9,5	0	1	1	0,7	252	non	0	293,7	Bush	2,3	-0,005	20
Houaïlou	Nindiah	69	26	0	0	0	0	11	2	1	1	1	5,1	199	oui	0	5072,5	Bush	3,1	-0,001	63
Houaïlou	Oingo	78	13	0	0	0	0	12	0,2	1	0	1	4,9	22	oui	0	10348,4	Bush	11,1	-0,005	15
Houaïlou	Ouakaya	46	5	0	0	0	0	9	14,5	1	0	0	5	4 407	oui	4	4052,9	Forest	19,0	-0,057	52
Houaïlou	Ouessoin	69	26	2	0	20	0	6	1,5	1	1	1	7,8	28	non	2	7378,6	Bush	16,6	-0,039	35
Houaïlou	Paraouyé	79	25	1	0	5	0	8	13,5	1	0	0	1,4	7 211	non	0	103,8	Bush	9,1	-0,004	91
Houaïlou	Roibahon	69	26	1	0	8,5	0	9	1,5	1	0	0	4,8	199	non	0,5	5246,8	Forest	2,0	-0,004	0
Houaïlou	Thu	46	10	0	0	0	0	7	4,5	0	1	1	2,3	68	oui	3	3039,6	Bush	8,5	-0,052	120
Koné	Atéou	69	15	2	5	45	2	2	2,5	0	0	1	3,2	1	oui	13	13960,7	Bush	18,6	0,012	113
Koné	Baco	55	25	1	8	20	0	5	8,5	0	0	0	0	0	non	1	5672,3	Bush	3,0	0,015	299
Koné	BoPope	68	12	2	17	40	2	8	1,5	1	1	1	9,8	3	oui	0	17777,2	Bush	9,8	0,026	145
Koné	Koniambo	48	10	1	46	15	0	4	0,5	0	1	0	0,7	1	oui	3	4968,0	Bush	3,6	0,003	223
Koné	Néami	42	3	2	39	32	2	3	11	1	0	1	3	0	oui	4	16732,0	Bush	13,5	-0,033	227
Koné	Netchaot	49	13	1	50	20	1	3	6,5	1	1	1	2,3	0	oui	0,5	19384,3	Bush	12,4	-0,022	274
Koné	Noéli	68	12	1	25	20	1	3	17	0	0	1	3,1	0	oui	3	12836,9	Forest	11,0	-0,016	121
Koné	Poindah	68	12	2	3	25	0	6	12,5	1	0	0	2,3	0	non	0,5	12503,6	Bush	5,8	-0,015	106
Koné	Tiaoué	69	15	2	54	40	1	5	16,5	1	0	1	2,6	0	non	7,5	10599,7	Forest	16,0	-0,064	234
Poindimié	Bayes	61	7	2	1	20	0	4	1	1	1	0	2,4	0	non	0	514,9	Forest	4,5	-0,017	102
Poindimié	Galilée	59	6	2	2	25	2	5	4	1	0	0	4,2	0	non	3	3166,7	Forest	13,8	-0,075	80
Poindimié	Ina	67	12	2	0	30	2	5	2	1	1	0	1,8	0	non	0	166,5	Forest	5,3	-0,023	95
Poindimié	NaPoémien	67	12	2	0	30	2	5	8,5	1	1	0	1,2	0	non	4	3422,0	Forest	20,7	-0,020	172
Poindimié	NessaPoué	67	12	2	0	30	2	4	3	0	0	1	2,6	0	non	2	2360,7	Forest	14,8	-0,044	82
Poindimié	Ometteux	37	4	2	3	25	2	3	1	1	1	1	1,2	0	oui	0	364,9	Forest	7,8	0,039	216
Poindimié	Ouindo	61	7	2	5	25	2	3	3	1	1	0	29,9	0	oui	0	394,2	Bush	7,7	-0,019	59
Poindimié	Paama	61	7	1	0	10	0	4	3	1	0	0	2,4	0	oui	0	319,4	Bush	6,9	-0,029	75
Poindimié	Pambou	61	7	2	3	25	2	4	1	1	0	0	2,9	0	oui	0	176,2	Forest	6,5	-0,029	45
Poindimié	St Denis	59	6	0	0	0	0	5	4,5	1	1	0	3,7	0	non	0	199,3	Bush	6,6	-0,005	86
Poindimié	St Michel	79	15	2	0	20	0	3	9	1	0	0	8,6	0	oui	7,5	6990,9	Forest	15,7	-0,119	37
Poindimié	St Paul	79	15	2	0	20	0	4	6,5	1	0	1	14,1	0	oui	5	5771,7	Forest	14,9	-0,028	52
Poindimié	St Thomas	79	15	2	1	30	2	3	11	1	0	1	3,1	0	oui	9	8478,2	Forest	14,0	-0,013	264
Poindimié	Ti - Ouano	60	15	0	0	0	0	4	6	1	0	0	2,7	0	oui	5	3086,9	Forest	15,9	0,033	94
Poindimié	Tibarama	61	15	0	0	0	0	5	4,5	1	1	0	2,4	0	non	0	65,3	Forest	3,4	-0,005	318
Poindimié	Tié	62	8	0	0	0	0	5	3	1	1	0	4,2	0	oui	0	400,7	Forest	7,7	-0,017	286
Poindimié	Tiéti	85	18	0	0	0	0	5	1,5	1	1	0	3,8	0	oui	0	522,5	Bush	8,9	-0,012	434
Poindimié	Tiwaka	60	15	1	2	10	0	5	5,5	1	1	0	5,3	0	oui	0	2498,4	Forest	10,9	-0,039	80
Poya	Goipin	74	7	2	27	45	2	11	2	0	0	1	14	8	non	17	17777,5	Forest	14,3	-0,032	284
Poya	Montfaoué	61	9	2	47	40	2	17	0,5	0	0	1	28,6	3 102	oui	17	15580,3	Bush	13,5	0,101	197
Poya	Nekliaï	92	17	2	8	30	2	5	13,5	0	0	1	3	10	non	5	5461,6	Forest	3,1	-0,026	183
Poya	NéPou	92	17	0	0	0	0	2	12	0	0	0	5	36	non	4	172,8	Forest	4,2	-0,027	66
Poya	Nétéa	92	17	2	12	45	2	4	17,5	0	0	1	4,4	73	non	13	11828,4	Forest	11,2	-0,039	30
Poya	Ouendji	92	17	2	1	37	2	15	6,5	1	0	1	2,7	15 512	non	17	15990,7	Bush	11,5	-0,022	50
Touho	Koé	55	13	0	1	0	0	5	3,5	1	0	1	2,3	0	oui	0	458,7	Bush	10,7	0,058	236
Touho	Kokingone	100	11	0	0	0	0	3	2,5	1	0	1	4,4	0	oui	0	354,9	Forest	7,1	0,007	129
Touho	Kongouma	86	0	0	1	0	0	0	20	0	0	0	0	0	non	0	169,3	Forest	10,4	-0,064	154
Touho	Ouanache	52	11	2	0	20	0	0	25	0	0	0	0	0	non	2,5	66,0	Forest	10,4	-0,006	90
Touho	Paola	52	4	1	0	10	0	1	17	0	0	0	0,3	0	non	1,5	1566,7	Bush	14,7	-0,032	224
Touho	Pombeï	86	2	2	0	20	0	5	1	1	0	1	10,4	0	oui	0	6643,4	Bush	16,8	-0,036	77
Touho	Tiouandé	86	2	2	0	20	0	1	2	0	0	0	0,6	0	non	3	3998,1	Bush	15,5	-0,067	91
Touho	Tiwae	52	11	2	2	25	0	0	27	0	0	0	0,1	0	non	2	298,2	Bush	9,9	-0,041	142
Touho	Touho Mission	100	11	0	0	0	0	3	10,5	0	0	0	1,4	0	non	0	62,4	Forest	9,7	0,004	143
Touho	Vieux-Touho	100	11	0	0	0	0	2	9	0	0	0	0,3	0	non	0	257,0	Forest	8,2	0,006	118

Nb : nombre ; Dist: distance; Exp: exposition; Surf: surface; Gd axe : distance à la route principale ; Habit : habitants ; Pö 0 : non trémolitique ; 1 : en partie trémolitique ; 2 : trémolitique – Nb ménages, voitures, habit89 : données recensement 1989

Annexe 8 – Cartes complémentaires du secteur d'étude et données environnementales

Figure 1 – Carte de Nouvelle-Calédonie, unites géologiques potentiellement amiantifères, routes et incidences standardises du mésothéliome malin pleural par commune (+ longue durée de residence), 1984-2008

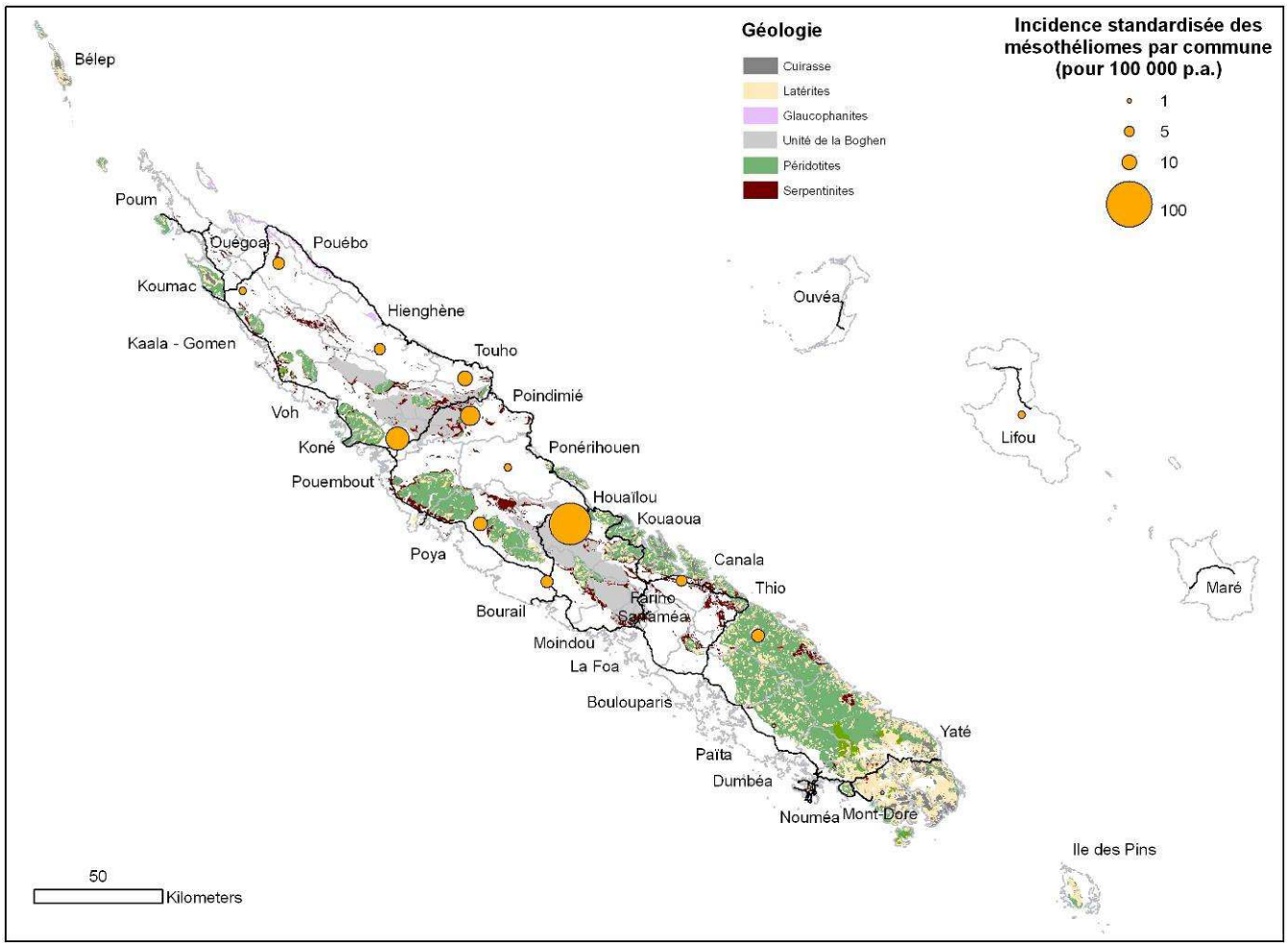


Figure 2 – Carte de la zone Houaïlou–Bourail-Poya, modèle numérique de terrain, routes et courbure moyenne par tribu

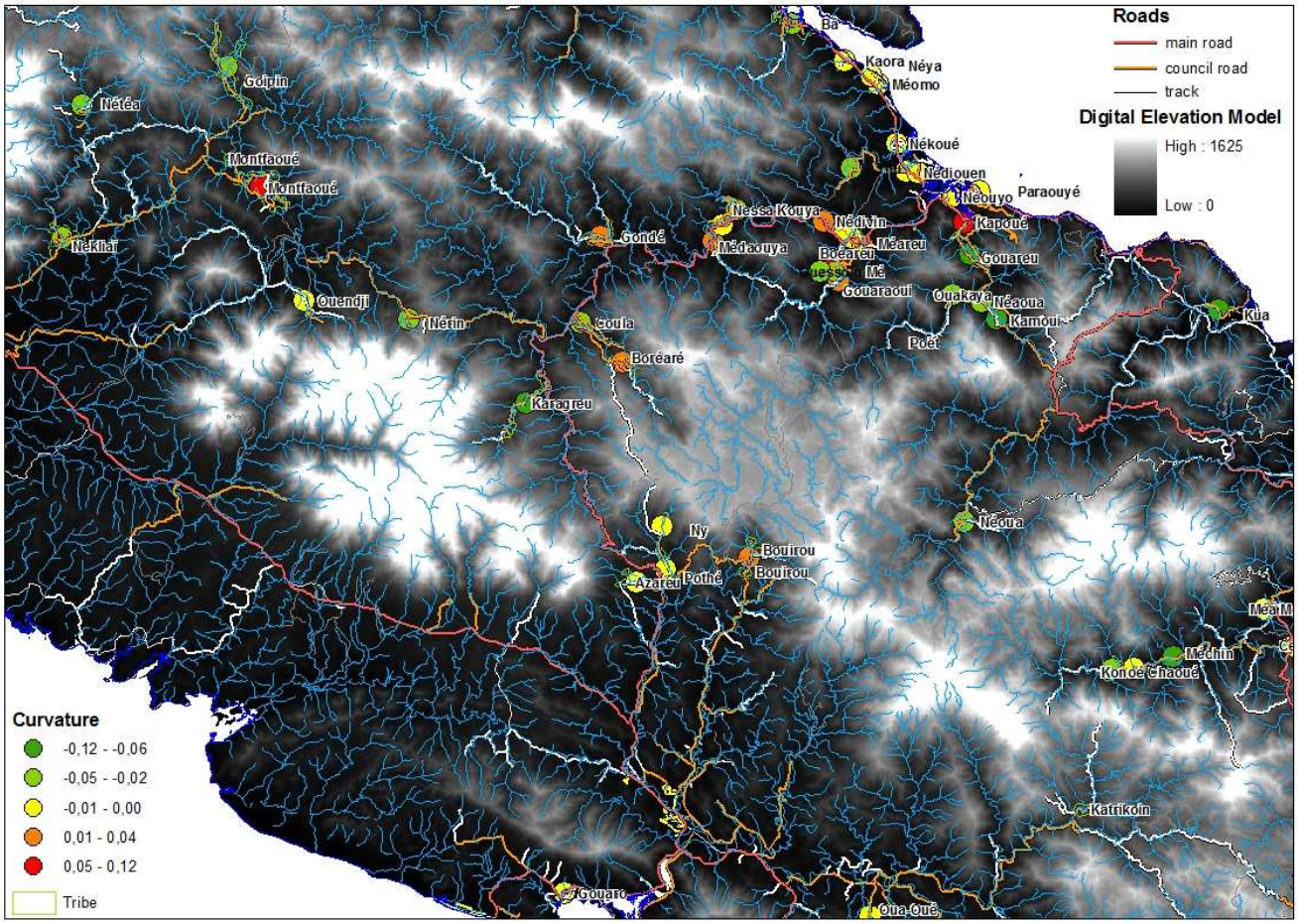
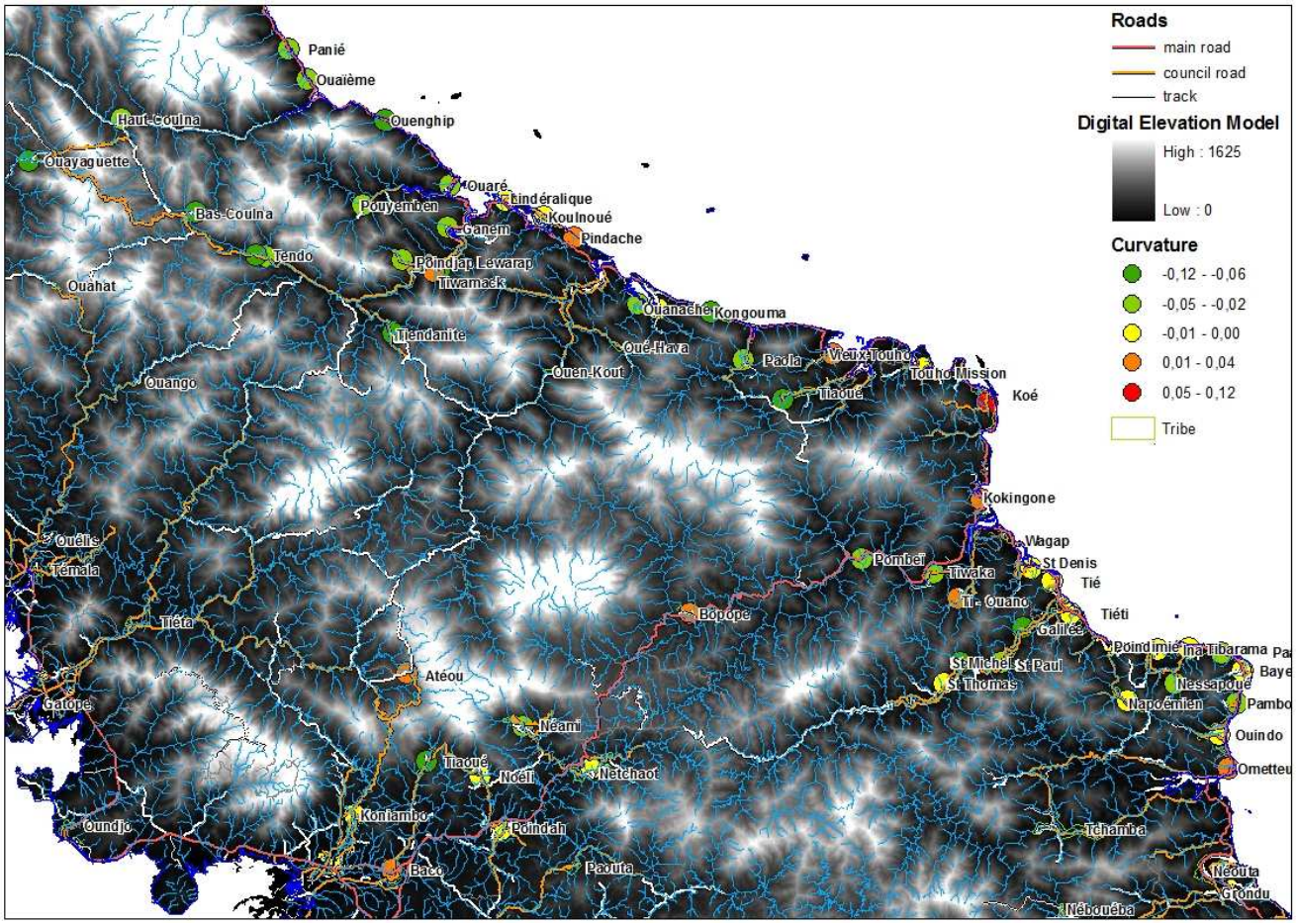


Figure 3 – Carte de la zone Kone-Poindimié-Touho-Hienghène, modèle numérique de terrain, routes et courbure moyenne par tribu



Annexe 9 – Taux d'incidence des cancers féminins par commune, Nouvelle-Calédonie 1990-2005

Figure 1 – Carte de l'incidence standardisée sur l'âge (population mondiale) de l'ensemble des cancers chez les femmes, NC 1990-2005

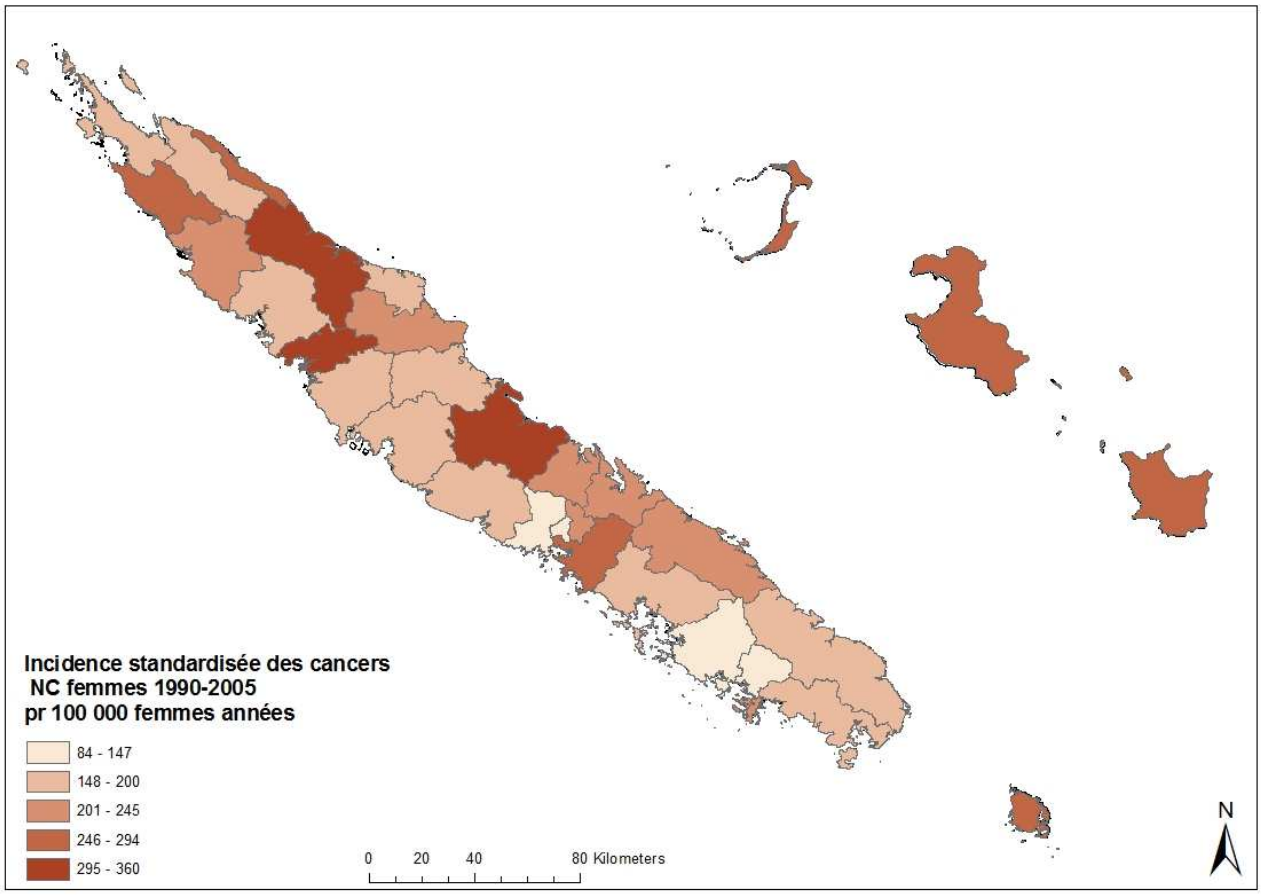


Figure 2 – Carte de l'incidence standardisée des cancers du sein, femmes NC 1990-2005

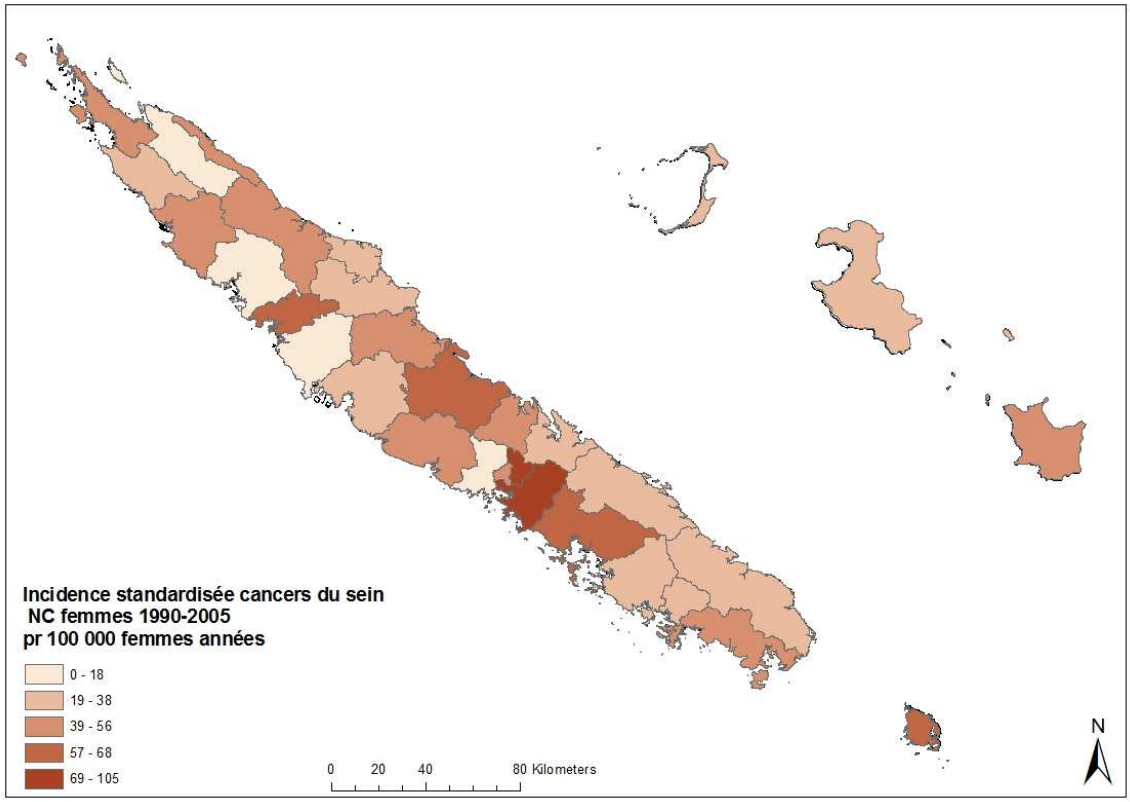


Figure 3 – Carte de l'incidence standardisée des cancers de la thyroïde, femmes NC 1990-2005

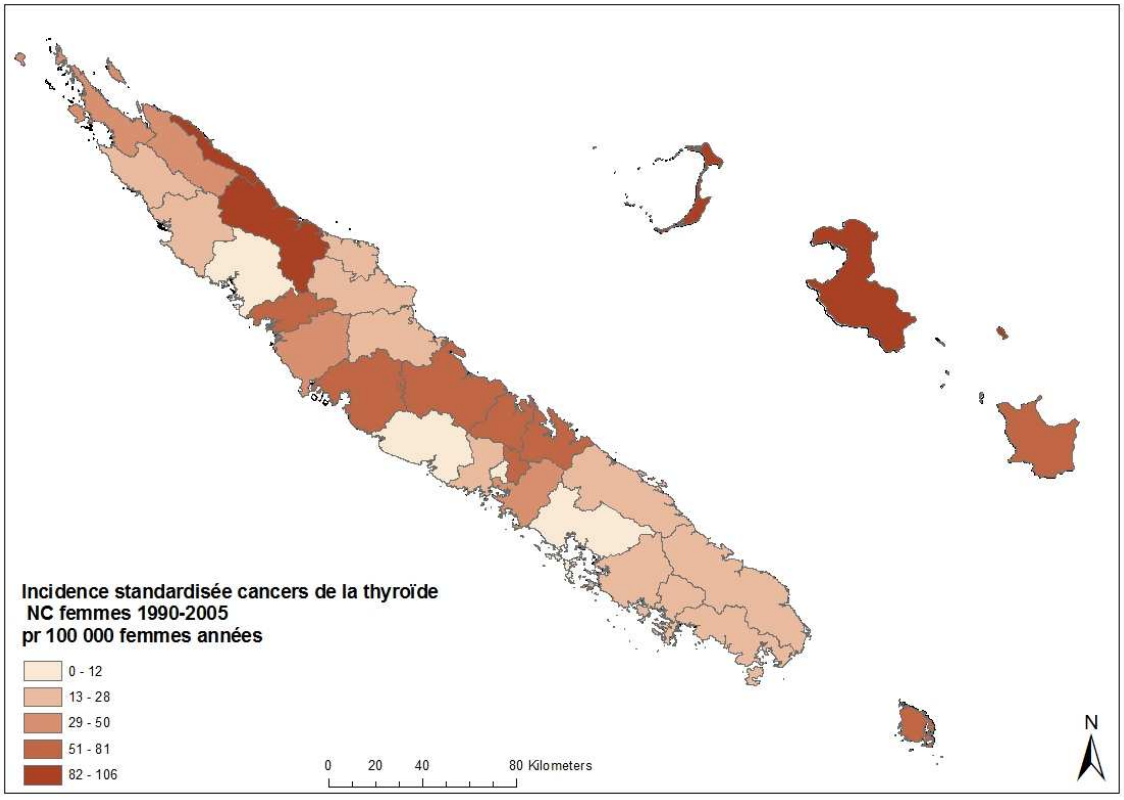


Figure 4 – Carte de l'incidence standardisée des mésothéliomes, femmes, NC 1990-2005

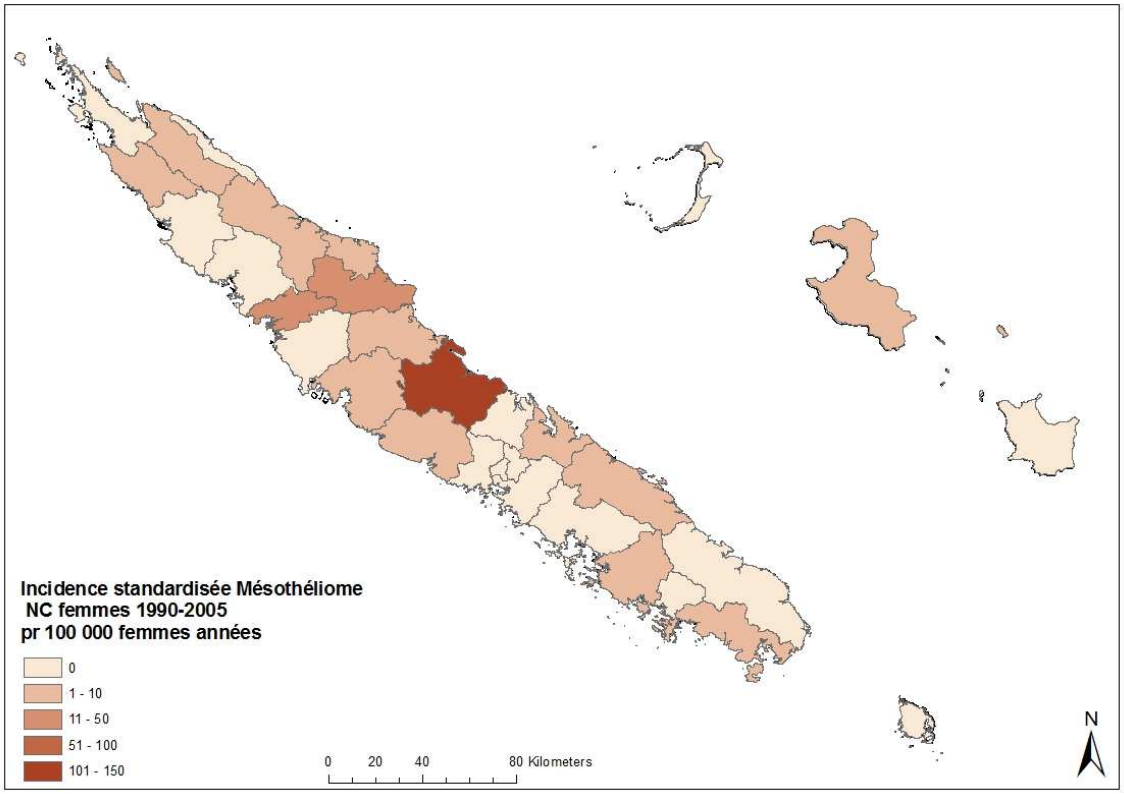
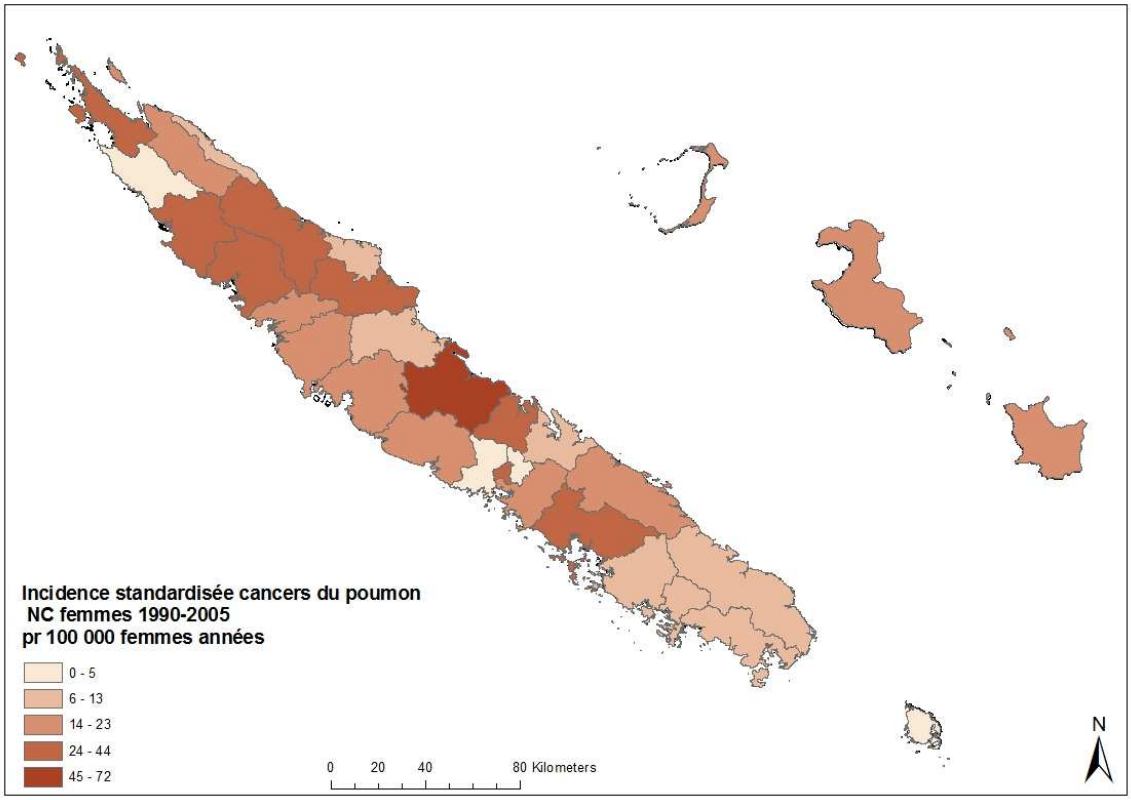


Figure 5 – Carte de l'incidence standardisée des cancers pulmonaires, femmes, NC 1990-2005



Liste des tableaux

Tableau 1 - Répartition des cas de mésothéliome malin pleuraux par sexe et par classes d'âge, NC 1984-2008…….... 183

Tableau 2 - Nombre de cas de mésothéliome, Incidences brute et standardisée par commune 30 ans avant le diagnostic, 1984-2008……. 185

Tableau 3 - Nombre de cas de mésothéliome, Incidence brute et standardisée par commune selon la durée la plus longue de résidence, 1984-2008…….. 187

Tableau 4 - Nombre de cas de mésothéliome, répartition par sexe, incidence brute et incidence standardisée sur l'âge par tribus de la Grande Terre, 1984-2008, intervalles de confiance à 95%, selon les 2 méthodes : lieu de résidence 30 ans avant le diagnostic et lieu de résidence le + long……. 191

Liste des figures

Figure 1 - Situation géographique de l'archipel néo-calédonien - *Source : P Dumas* ……. 26

Figure 2 - Carte de Nouvelle-Calédonie, communes et routes …….. 28

Figure 3 - Carte des Infrastructures de santé 2008 – *Source : Situation sanitaire 2008, Direction des affaires sanitaires et sociales de la Nouvelle-Calédonie 2010* ……. 38

Figure 4 - Guérisseur kanak – Dessin Salomé Aubert …… 39

Figure 5 - Carte géologique des unités potentiellement amiantifères en Nouvelle-Calédonie *Source : Maurizot 2009*……. 47

Figure 6 - Répartition des causes médicales de décès en Nouvelle-Calédonie (moyenne 2000-2008) - *Source : DASS-NC, Rapports annuels* ……..... 58

Figure 7 - Cartographie du nombre de cases enduites avec du *Pö* comparé au nombre de cas de mésothéliome, par communes de résidence, NC 1984-2002…….. 91

Figure 8 - Production décennale depuis 1960 de minerais de nickel par centre minier (*source DIMENC*) et incidence brute des mésothéliomes par commune de résidence (pour 100 000 p.a.), NC 1984-2002…….. 92

Figure 9 - Effectif des sociétés minières par commune (*source DIMENC*) et incidence brute des mésothéliomes par commune de résidence (pour 100 000 p.a.), NC 1984-2002….. 92

Figure 10 - Cartographie de l'unité de la Boghen et des serpentinites associées dans la Chaîne centrale *(source BRGM – DIMENC*) et incidence brute des mésothéliomes pour 100 000 p.a. par commune de résidence, NC 1984-2002 ……..... 93

Figure 11 - Cartographie des nombres de cas de mésothéliomes recensés par commune, NC 1984-2002……..... 103

Figure 12 - Cartographie des nombres de cas de mésothéliome par tribu de résidence, région de Houaïlou-Bourail, 1984-2002……. 109

Figure 13 - Carte géologique de la région de Houailou et Bourail, incidences brutes par tribu du mésothéliome malin pleural, 1984-2003, pour 100 000 p.a…….. 110

Figure 14 - Production décennale depuis 1910 de minerais de nickel par centre minier (*source DIMENC*) et incidence brute par tribu du mésothéliome…….. 114

Figure 15 - Carte géologique et échantillonnage effectué dans le secteur de Montfaoué ……. 117

Figure 16 - Présence d'amphibole de la série actinolite–trémolite dans les prélèvements (roches ou enduits) et incidence brute du mésothéliome par tribu (pour 100 000 p.a) …. 130

Figure 17 - Présence de serpentines (chrysotile, lizardite ou antigorite) dans les prélèvements et incidence brute du mésothéliome par tribu (pour 100 000 p.a) ……..... 131

Figure 18 - Répartition par sexe et par classe d'âge des cas de mésothéliomes (1894-2006) résidant dans la région de Koné-Touho-Poindimié ……. 141

Figure 19 - Cartographie des nombres de cas de mésothéliomes (1984-2006) par tribu, dans la région de Koné-Touho-Poindimié. Chaque tribu est représentée par un rond rouge, dont le diamètre représente le nombre de cas (plus petit diamètre pour 0 cas)…….. 142

Figure 20 - Carte géologique simplifiée de la région de Koné-Tiwaka-Poindimié ……. 146

Figure 21 - Carte géologique du secteur Ouest à partir du levé au 1 / 50 000 (en rouge les échantillons contenant des fibres amiantifères, observation MOLP sur frottis)…….. 147

Figure 22 - Carte géologique du secteur de la chaîne centrale (1 / 50 000) : en rouge les échantillons contenant des fibres amiantifères d'après les observations au MOLP sur frottis.……... 150

Figure 23 - Carte géologique du secteur « Côte Est » à partir du levé au 1/50 000 (en rouge les échantillons contenant des fibres amiantifères, observation MOLP sur frottis)..…….. 156

Figure 24 - Carte de positionnement des plaquettes de dépôt ……... 160

Figure 25 - Carte géologique simplifiée de la région de Koné-Touho-Poindimié, incidences brutes par tribu du mésothéliome malin pleural (1984-2006, pour 100 000 p.a.) …….. 169

Figure 26 - Incidences brutes par tribu du mésothéliome malin pleural (1984-2006, pour 100 000 p.a.) de la région de Koné-Touho-Poindimié, et résultats d'analyse au MOLP des échantillons géologiques ……..... 171

Figure 27 - Incidences brutes par tribu du mésothéliome malin pleural (1984-2006, pour 100 000 personnes année) de la région de Koné-Touho-Poindimié, et résultats d'analyse minéralogique des échantillons géologiques…… 172

Figure 28 - Nombre de cas de mésothéliome malin pleural par commune de diagnostic, NC 1984-2008……... 182

Figure 29 - Répartition des cas de mésothéliome malin pleuraux par sexe et par classes d'âge, NC 1984-2008…… 183

Figure 30 - Taux d'incidence standardisée sur l'âge (TSA) du mésothéliome malin pleural par commune (lieu de résidence 30 ans avant le diagnostic), NC 1984-2008……... 186

Figure 31 - Nombre de cas de mésothéliome malin pleural par commune (lieu de résidence le plus long), NC 1984-2008…….... 188

Figure 32 - Taux d'incidence standardisé sur l'âge (population mondiale) du mésothéliome malin pleural, par commune (lieu de résidence le plus long), NC 1984-2008……. 189

Figure 33 - Communes avec cas de du mésothéliome malin pleural classées selon le TSA, selon les 2 méthodes d'étude : lieu de résidence le plus long et résidence 30 ans avant le diagnostic, NC 1984-2008…….. 190

Figure 34 - Carte géologique de la région de Canala et occurences d'amiante. Les tribus avec cas sont concentrés dans le cercle rouge……. 194

Figure 35 - Carte géologique de la région de Thio et occurrences d'amiante. Les tribus avec cas sont dans le cercle rouge ……. 196

Figure 36 - Localisation des occurrences d'amiante (cercles rouges) dans la vallée de Tiendanite…….. 198

Figure 37 - Plan de positionnement des occurrences d'amiante à proximité du village de Ouégoa …….. 199

Figure 38 - Spectre EDS d'analyse d'une gerbe de trémolite de la carrière de Ouégoa (point A)…….. 202

Figure 39 - Carte géologique de la région autour du village de Koumac et positionnement des échantillons……. 203

Figure 40 - Nouvelle cartographie géologique et points d'observations de la région de Montfaoué……... 205

Figure 41 - Carte de la région centrale de la Grande Terre, incidences brutes par tribu du mésothéliome malin pleural pour les communes de Koné, Touho, Poindimié, Houailou et Bourail, et incidences standardisées par commune, 1984-2003, pour 100 000 p. a…. 211

Figure 42 - Principales unités géologiques de la zone d'étude et zone d'influence de 5 km autour des tribus (*fond géologique, carte au 1 / 1 000 000 - BRGM-DIMENC*)…….. 216

Figure 43 - Qualification de la donnée en termes de quantité et qualité dans la zone d'étude…… 218

Figure 44 - Spectre EDS sur la trémolite amiante de Nérin…….. 222

Figure 45 - Région de Houaïlou-Bourail-Poya : Eléments de géologie, topographie, toponymie …….. 228

Figure 46 - Région de Houaïlou-Bourail-Poya : Cases à *Pö* trémolitique et carrières de serpentinite …… 229

Figure 47 - Région de Koné-Poindimié-Touho-Hienghène : Eléments de géologie, topographie, toponymie…… 230

Figure 48 - Région de Koné-Poindimié-Touho-Hienghène: Cases à *Pö* trémolitique et carrières de serpentinite …… 231

Liste des photographies

Photographie 1 - Pirogues à l'Ile des Pins 23

Photographie 2 - Une mine à Thio 26

Photographie 3 - Case ronde recouverte de paille, dite « en ruche » 29

Photographie 4 - Case en torchis à ossature en bambou 29

Photographie 5 - Case en torchis. Un mur est recouvert de pö 30

Photographie 6 - Intérieur d'une case en torchis avec le mur recouvert de pö 31

Photographie 7 - Détail d'un mur en torchis 32

Photographie 8 - Case en ciment avec le toit recouvert de tôle 33

Photographie 9 - Case en béton au toit d'écorces de niaouli 33

Photographie 10 - Case en torchis recouvert d'un peu de ciment 34

Photographie 11 - Case habillée de peaux de niaouli 34

Photographie 12 - Case ronde récente en torchis 35

Photographie 13 - Un dispensaire en Province Nord 36

Photographie 14 - Un bâtiment en tribu destiné à accueillir l'équipe médicale 37

Photographie 15 - Fibres d'amiante – *Source INRS* 40

Photographie 16 - Veine de chrysotile – *D Lahondère - BRGM* 42

Photographie 17 - Trémolite amiante à l'état naturel – *D Lahondère - BRGM* 43

Photographie 18 - Filon de serpentinite à l'interface péridotite–latérite – *D Lahondère – BRGM*..... 44

Photographie 19 - Carrière de serpentinite au bord d'une route 46

Photographie 20 - Case en torchis avec du *Pö* ancien en haut des murs 111

Photographie 21 - Détail d'un mur fait avec du corail 112

Photographie 22 - Case en torchis sans couverture en *Pö* 112

Photographie 23 - Piste d'accès à la tribu de Nérin avec affleurements de serpentinite 118

Photographie 24 - Carrière de serpentinite du Col de Nérin 119

Photographie 25 - Serpentinite et terre blanche du Col de Nérin ……. 119

Photographie 26 – Image MEB d'un échantillon d'altération pâteuse et blanchâtre de schiste au col de Nerin: enchevêtrement de fibres d'amphibole (actinolite) - *Photo CRMCN, Marseille, O. Grauby et J.P. Ambrosi*……. 120

Photographie 27 - Image MEB d'un échantillon de serpentinite de la carrière du col de Nerin: enchevêtrement dense de fibres de serpentine. *Photo CRMCN, Marseille, O. Grauby et J.P. Ambrosi*……. 120

Photographie 28 - Image MEB d'un échantillon de *Pö* d'une case de la tribu de Nerin: enchevêtrement des fibres d'amphibole (actinolite) aux côtés des feuillets de talc et clinochlore. *Photo CRMCN, Marseille, O. Grauby et J.P. Ambrosi*……... 120

Photographie 29 - Carrière dans les péridotites avec passés de serpentinite ……. 123

Photographie 30 - Image MEB d'un échantillon de roche (serpentinite) de la route de Poro : détail des lames et plaquettes superposées de serpentines montrant quelques fibres. *Photo CRMCN, Marseille, O. Grauby et J.P. Ambrosi)*……... 123

Photographie 31 - Image MEB d'un échantillon de *Pö* sur une ancienne case de la tribu de Ouessoin: assemblage dense des longues fibres d'amphibole (trémolite). *Photo CRMCN, Marseille, O. Grauby et J.P. Ambrosi*……. 124

Photographie 32 - Image MEB d'un échantillon de pö sur une ancienne case de la tribu de Ouessoin: Détail montrant les fibres micrométriques et inframicrométrique d'amphibole. *Photo CRMCN, Marseille, O. Grauby et J.P. Ambrosi*……. 124

Photographie 33 - Image MEB d'un échantillon de roche (schiste beige pâteux) de la tribu de Thu : détail montrant les lamelles de mica (muscovite) et des argiles (nontronite) ennoyant des fibres très fines de serpentine. *Photo CRMCN, Marseille, O. Grauby et J.P. Ambrosi*…….. 125

Photographie 34 - Image MEB d'un échantillon de *Pö* sur une ancienne case de la tribu de Coula: détail de l'enchevêtrement des fibres d'amphibole (actinolite). *Photo CRMCN, Marseille, O. Grauby et J.P. Ambrosi*……. 125

Photographie 35 - Image MEB d'un échantillon de *Pö* sur une ancienne case de la tribu de Coula: détail des fibres d'amphibole (actinolite). *Photo CRMCN, Marseille, O. Grauby et J.P. Ambrosi*…….. 126

Photographie 36 - Image MEB d'un échantillon de *Pö* sur une ancienne case de la caféerie de Karagreu: assemblage dense des longues fibres d'amphibole au coté du clinochlore (tablettes). *Photo CRMCN, Marseille, O. Grauby et J.P. Ambrosi*……. 126

Photographie 37 - Image MEB d'un échantillon de roche (serpentinite, bord de route) de la tribu de Karagreu: détail d'une bordure de la grande latte d'antigorite montrant son débit en fibres plurimicrométriques. *Photo CRMCN, Marseille, O. Grauby et J.P. Ambrosi*…… 127

Photographie 38 - Talus de route au col des Roussettes**.** Contact entre la serpentinite (roches sombres à gauche) avec les micaschistes de la série de la Boghen (terres oranges à droite), souligné par des terres blanches d'altération à fibres d'actinolite…….. 132

Photographie 39 - Panneau d'enfouissement d'une maison trémolitique à Ateu……. 143

Photographie 40 - Veines de chrysotile - massif du Koniambo - *D Lahondère – BRGM*……. 148

Photographie 41 - Veines de lizardite - massif du Koniambo - *D Lahondère - BRGM* ……. 148

Photographie 42 - Antigorite altérée sur le massif du Koniambo – *D Lahondère - BRGM* …… 149

Photographie 43 - Terre blanche au contact serpentinite/micaschiste (région de Koné)……. 151

Photographie 44 – Détail de terre blanche de type antigorite au contact serpentinite / micaschiste……. 152

Photographie 45 - Carrière de serpentinite (Koné-Tiwaka)……. 154

Photographie 46 - Talus de route dans un bloc de serpentinite (route de Koné-Tiwaka)…….. 155

Photographie 47 - Carrière de serpentinite (Bopope)…….. 155

Photographie 48 - Capteur de particules au bord d'une route encaillassée de serpentinite …. 159

Photographie 49 – Carrière au bord de la route Koné – Tiwaka : serpentinite……. 164

Photographie 50 - Image MEB en électrons secondaires ; chrysotile……. 166

Photographie 51 - Serpentine en grandes lamelles de roche gris vert (antigorite probable)….. 167

Photographie 52 - Image MEB, électrons secondaires : serpentine fibreuse dominante (antigorite probable)…….. 167

Photographie 53 - Vue globale d'un échantillon de terre blanche (trémolite)……. 168

Photographie 54 - Image MEB: trémolite fibreuse……. 168

Photographie 55 - Image MOLP d'un frottis de chrysotile (carrière de Saint-Paul - Nakéty)…. 195

Photographie 56 - Image MEB (x 1000) de la trémolite, Hienghène)……. 198

Photographie 57 - Terre blanche de Bondé observé au MOLP (x 200) - *Source Picard 2006*.. 200

Photographie 58 - Ouégoa, carrière avec glissement de terrain (point A)……. 201

Photographie 59 - Ouégoa, terre blanche trémolitique dans la carrière (Point A)…… 201

Photographie 60 - Image MEB, électrons secondaires, des fibres de trémolite (point A)…….. 202

Photographie 61 - Image MEB de trémolite amiante de Nérin…… 222

Photographie 62 – Route avec, en premier plan, un revêtement de serpentinite…….. 227

Liste des planches photographiques

Planche 1 - Quelques utilisations de l'amiante…… 41

Planche 2 - Occurrences typiques de filonnets de chrysotile dans la semelle serpentineuse de la nappe des péridotites (Vavouto, Koné)…… 165

Planche 3 - Filonnets de chrysotile dans la carrière de Saint-Paul à Nakéty…… 195

Planche 4 - Occurrence de trémolite amiante à Montfaoué (talus de piste)…….. 220

Planche 5 - Occurrence de trémolite amiante au Col de Nerin (carrière en activité intermittente)…….. 221

Planche 6 - Occurrence d'antigorite amiante, mine Méa…….. 224

Planche 7 - Occurrence de trémolite amiante en liaison avec un filon de gabbros, Col de N'go, Massif du Sud…….. 225

Planche 8 - Occurrences de trémolite amiante et de chrysotile dans un mélange serpentinite/basalte, secteur de Tiéti, complexe métamorphique du Nord calédonien….. 226