

2013

CARTOGRAPHIE ET CARACTÉRISATION DES FACIÈS FORESTIERS SUR SOLS VOLCANO-SÉDIMENTAIRES EN PROVINCE NORD DE NOUVELLE-CALÉDONIE

Rapport final Juin 2013



Convention 10C113

Birnbaum, Ph., Hequet, V., Vandrot, H., Ibanez,
T. & Blanchard, E.



Laboratoire de Botanique et d'Ecologie Végétale Appliquées :
www.botanique.nc



Remerciements

Nous tenons à remercier le personnel du Laboratoire de Botanique de Nouméa (Jacqueline, William, Tanguy, Fred, Gilles, Laure) pour l'aide que chacun a pu nous apporter dans la réalisation de ce travail.

Nous remercions l'ensemble du personnel des services forestiers ainsi que toute l'équipe des gardes natures de la Province Nord qui ont su mettre à contribution leurs connaissances de terrain pour compléter et affiner la cartographie et se rendre disponibles pour nous préparer et nous faciliter les missions. Nous remercions tout particulièrement Jean-Pierre Butin qui partage avec nous depuis des années sa passion et sa connaissance des forêts du Nord. Nous remercions la Société Calédonienne d'Ornithologie et tout particulièrement Thomas Duval, Emilie Baby et Mélanie Boissenin pour nous avoir aidés et accompagnés lors des missions. Nous remercions l'ensemble des guides qui nous ont accompagnés sur le terrain et tout particulièrement Denis Meandu de Gohapin qui a maintenant l'étoffe d'un botaniste. Nous remercions tout particulièrement Daniel et Irène Letocart pour leur connaissance en botanique qu'ils savent si bien partager, leur accueil chaleureux à la Tchamba ainsi que pour le dépannage de la voiture au fin fond de la forêt !

Sommaire

1	Introduction	6
2	Matériel et Méthodes	9
2.1	Types de sols	9
2.2	Extraction de la base de données de l'Herbier de Nouméa	11
2.3	Mise à jour des identifications à partir d'autres herbiers	11
2.4	Les parcelles du réseau NC-PIPPN	11
2.5	Cartographie des forêts sur sols volcano-sédimentaires	13
2.5.1	Délimitation des faciès forestiers	13
2.5.2	Intégration dans les unités de paysage	18
2.6	Méthodes d'Analyse des données	19
3	Résultats	21
3.1	Cartographie	21
3.1.1	Forêts denses humides validées	21
3.2	Analyse floristique et Structurale	25
3.2.1	Pressions d'observation	25
3.2.2	Abondance et Diversité floristique	28
3.2.3	Structure et typologie	35
4	Conclusion et perspectives	37
5	Annexes	41
6	Bibliographie	47

Index des figures

Figure 1 : Les types de sols sur substrat volcano-sédimentaires, rencontrés sur les différents faciès de la zone d'étude (<i>adaptée d'après Fritsch, E., 2012. Atlas de la Nouvelle-Calédonie</i>).	9
Figure 2 : Parcelle en cours de délimitation et de marquage	12
Figure 3: Caractéristiques principales de la mise en place des parcelles	12
Figure 4: Hiérarchie des classes d'attributs utilisées dans la classification des formations	15
Figure 5: Carte des états de validation des formations végétales pour le substrat volcano-sédimentaire.	17
Figure 6: Carte de distribution des parcelles NC-PIPPN et des unités de paysage en Province Nord	18
Figure 6: Les différentes formations végétales délimitées en Province Nord	21
Figure 7: Etat de la canopée pour les grands ensembles de forêt dense humide	22
Figure 9: Répartition par unités de paysage des 18031 observations « espèces » compilées depuis la base des herbiers (Virot) et le réseau des parcelles (NC-PIPPN).	26
Figure 10 : Répartition du nombre de taxons par unités de paysage basée sur les 18031 observations « espèces » compilées depuis la base des herbiers (Virot) et le réseau des parcelles (NC-PIPPN).	26
Figure 11 : Variation de la richesse floristique en forêt dense humide par unités de paysages selon le nombre et le type d'observation.....	27
Figure 12 : a) Diversité et raréfaction calculées à partir des 89 parcelles du réseau NC-PIPPN et b) Richesse floristique (nombre de taxons) relative calculée à partir des 18031 observations et rapportée aux surfaces de forêts par classes d'altitude.....	28
Figure 13 : Fréquence des espèces du réseau des parcelles (NC-PIPPN) selon l'index d'agrégation de Morisita (les valeurs inférieures à 0 expriment une répartition régulière, celles centrées sur 0 ont une répartition aléatoire tandis que celles > 0,5 sont des taxons à répartition agrégée)	29
Figure 14 : Analyses en composantes principales des parcelles et des espèces pour les trois premiers axes..	30
Figure 15 : Relation entre similitude floristique (Sorensen) et distance géographique	30
Figure 16 : Classification des distances floristiques entre les parcelles de la forêt humide.....	31
Figure 17 : Distribution relative des données par classe de diamètre (<i>Effectif : Fréquence des d'individus ; Taxons : Fréquence des taxons dont le diamètre est maximal dans la classe; Richesse : Fréquence des taxons par seuillage de diamètre</i>)	32
Figure 18 : a) Autocorrélation entre les classes de DBH, 5cm et 10cm et b) prédiction de la richesse biologique par classes de diamètre	33
Figure 19 : Relation entre les indices de diversité calculés pour un inventaire filtré à un DBH de 5 cm et 10 cm.	33
Figure 20 : Evolution de l'autocorrélation des indices de Simpson en fonction des diamètres minima pris en compte dans les inventaires et selon les classes d'altitude	34
Figure 21: Courbe aire-taxa pour le réseau des parcelles selon un filtre de DBH minimal de 5 cm et 10 cm ...	34

Figure 22 : a) Relation entre surface terrière et diamètre maximal et b) Gradient structural selon l'altitude des parcelles (1 \leq 300m ; 2=301-600m ; 3=601-900m ; 4 \geq 901m)..... 35

Figure 23 : Structures diamétriques équilibrée (Mt Panié 1) et déséquilibrée (Ponandou 1)..... 35

1 INTRODUCTION

Située à 1500kms à l'est de l'Australie, entre 20 et 23° de latitude Sud et 164 et 165° de longitude Est, la Nouvelle-Calédonie est un archipel doté d'une flore exceptionnellement riche et originale.

La flore native de Nouvelle-Calédonie comporte 3 099 espèces de phanérogames et s'élève à 3 371 espèces en y ajoutant les cryptogames (Morat, 2012). Cette richesse floristique rapportée à une faible surface (19 000 km²) fait de la Nouvelle-Calédonie, un territoire très diversifié en comparaison avec les autres îles du Pacifique (Morat, 2012). Cette flore phanérogame est caractérisée par un taux d'endémisme spécifique très élevé (77,8%), avec 96 genres et 3 familles endémiques. La Nouvelle-Calédonie est ainsi le territoire où le nombre d'espèces endémiques ramené à la surface est le plus élevé au monde (Kier, Kreft et al. 2010). La singularité de la Flore Calédonienne est illustrée par :

- la présence de taxons appartenant aux lignées anciennes des plantes à fleurs comme les Amborellaceae, Annonaceae, Atherospermataceae, Chloranthaceae, Monimiaceae, Trimeniaceae et Winteraceae
- Une forte diversification au sein des familles représentant le cœur de la Flore de l'éocène (Casuarinaceae, Cunoniaceae, Dilleniaceae, Elaeocarpaceae, Fagaceae, Myrtaceae à fruits secs, Proteaceae, Paracryphiaceae et Phellinaceae)
- La présence d'une spéciation intense dans divers genres tels que les *Phyllanthus* (Phyllanthaceae), les *Psychotria* (Rubiaceae), les *Syzygium* (Myrtaceae), les *Eugenia* (Myrtaceae), les *Pycnantha* (Sapotaceae)...

Associée à son isolement, sa faible surface et aux menaces qui pèsent sur son environnement, cette diversité floristique fait de la Nouvelle-Calédonie un des « hotspots » majeurs de biodiversité mondiale (Myers, 1988; Myers, N., R. A. Mittermeier, et al. 2000; Mittermeier, Robles Gil et al. 2004).

L'histoire géologique complexe de l'archipel contribue à expliquer la grande variété des milieux rencontrés. Originellement accolé à l'Australie, ce morceau du Gondwana a dérivé avant d'être totalement immergé à environ -47 Millions d'années puis de refaire surface vers -38 Millions d'années. Lors de ce passage sous la croûte terrestre, des minéraux très recherchés pour l'industrie (Nickel, Chrome et Cobalt) se sont déposés. La présence de ces minéraux explique à la fois la diversité du sous-sol Calédonien et la forte pression exercée sur les milieux naturels.

L'étude de la Flore calédonienne a commencé dès la découverte de l'île par James Cook en 1774 relatée par Forster père et fils (Forster 1786) qui accompagnèrent Cook lors de son deuxième voyage (Morat 1993). Dès lors, la connaissance de la Flore n'a cessé de progresser grâce aux travaux des nombreux botanistes qui se succédèrent sur le Territoire. Ensemble, Montrouzier, Vieillard, Deplanche, Pancher, Sebert et Balansa constituent à la fin du XIX^{ème} siècle, le socle d'une collection importante qui ne cessa de grandir. Ces collections ont été pour la plupart envoyées puis étudiées dans divers instituts de recherche et particulièrement au Muséum d'Histoire Naturelle de Paris. Elles servent de base aux études taxonomiques et à la production des flores.

Ces travaux préliminaires de taxonomie ont donné naissance à des essais de typologies des milieux axés sur les différences de composition floristique expliquées en partie par l'influence de la pluviométrie, de l'altitude, des sols ou encore de la phytogéographie (Bernard 1895; Guillaumin 1921; Sarlin 1954; Virot 1951; Virot 1956; Thorne 1965; van Balgooy 1966; Schmid 1967a; Schmid 1967b; Jaffré 1969a; Jaffré 1969b; Thorne 1969; Jaffré 1970; Veillon 1973; Jaffré 1974; Jaffré and Latham 1974; Schmid 1979; Jaffré 1980; Hoff and Veillon 1981; Morat, Jaffré et al. 1981; Hoff 1983; Morat, Veillon et al. 1984; Jaffré et al. 1987; Jaffré 1992; Jaffré, Morat et al. 1993; Jaffré 1996; Jaffré, Veillon et al. 1997; Morat, Jaffré et al. 2001; Nasi, Jaffré et al. 2002; Gillespie and Jaffré 2003; Jaffré, Rigault et al. 2008;

Jaffré and L'Huillier 2010). A l'échelle de la grande terre, plusieurs typologies ont été dressées parmi lesquelles nous pouvons citer :

Bernard (1895) distingue six régions végétales (flore littorale océanienne, les formations serpentines, les formations à Niaouli, la forêt tropicale inférieure, la forêt tropicale moyenne comprise entre 900 et 1000m d'altitude et la forêt tropicale supérieure à 1000m d'altitude).

Guillaumin (1921) propose sept grands faciès végétaux dont certains sont calqués sur ceux de Bernard (Flore littorale océanienne, savane herbeuse, savane broussailleuse sur serpentine, galeries forestières inférieures, forêt moyenne, forêt supérieure et maquis des sommets).

Viot (1951) s'appuie sur la classification de Guillaumin même si le nom des classes diffère. Il retient six classes (une zone littorale à mangrove, une zone située avant les contreforts montagneux occupée par des bois littoraux ou les savanes à Niaouli, les galeries forestières, une forêt moyenne comprise entre 800 et 900 m, une forêt supérieure comprise entre 900 et 1500 m et le maquis des sommets situé au-delà de 1500m).

Viot (1956) propose une classification hiérarchique qui distingue

- Les Formations halophiles
- Les Formations non halophiles
 - Herbacées
 - Arbustives
 - Forestières
 - Forêts littorales climaciques
 - Forêts hygrophiles ripicoles
 - Forêts photophiles paludicoles
 - Forêts vallicoles-mésophiles
 - Forêts ombrophiles (mal individualisées)
 - Forêts oro-néphéliques
 - Forêts photo-xérophiles

Schmid (1979) effectue une classification générale des écosystèmes forestiers Mélanésiens et distingue parmi les principaux types de groupements forestiers :

- Les formations sur terrain ultrabasique
 - des forêts claires
 - autres forêts
- Les forêts sur terrain métamorphique ou sédimentaire (non calcaire)
- Les forêts sur terrain calcaire
- Les formations littorales

Morat, Jaffré et al. (1981) définissent 4 grandes catégories de végétation autochtone :

- les mangroves
- la végétation palustre ou marécageuse
- les maquis
- les forêts
 - La forêt dense humide sempervirente de basse et moyenne altitude
 - La forêt dense humide sempervirente d'altitude
 - La forêt sempervirente sur calcaire
 - La forêt sclérophylle

Hoff (1983) s'appuie sur une étude phytosociologique et dégage 20 groupements végétaux dont 16 groupes appartenant au domaine forestier :

- la forêt sur calcaire des îles Loyautés et du sud de la Nouvelle-Calédonie
- Les forêts sur calcaire de la Grande-Terre

- Les forêts sclérophylles
- Les groupements ripicoles
- Les groupements ripicoles sur substrat ultrabasique
- Les forêts à *Syzygium* de basse altitude sur roche ultrabasique
- Les groupements à chêne gomme
- Le groupement à *Agathis ovata*
- Les groupements à *Dacrydium aruacarioides* ou à *Casuarina deplancheana*
- La forêt à *Agathis lanceolata* et *Montrouziera cauliflora*
- La forêt de basse et moyenne altitude sur roche non ultrabasique
- Les groupements à *Araucaria* sur substrat ultrabasique
- Les groupements à *Nothofagus*
- Les forêts d'altitude à *Araucaria*
- La forêt d'altitude à lichens et Hymenophyllacées
- La forêt d'altitude sur substrat non ultrabasique.

Ces typologies pourtant très diversifiées convergent néanmoins sur de nombreuses définitions communes. Elles reposent sur des critères structuraux (forêt dense, forêt claire, maquis, savane), floristiques (distribution, phytogéographie, phytosociologie), édaphiques (ultramafique, calcaire, serpentine, volcano-sédimentaire), hydrométriques (sec, humide, ripicole), et topographiques (littoral, basse, moyenne ou haute altitude) sans qu'il n'y ait de distinctions nettes et consensuelles sur la hiérarchie de ces éléments. A ces paramètres majeurs, il convient de rajouter ceux en lien avec la dynamique forestière qui permettent par exemple d'inscrire dans une trajectoire commune, certaines savanes à Niaouli et les ensembles forestiers qui les jouxtent tant les premières correspondent à un stade de succession entretenu par la présence des feux plutôt qu'à une formation fixée par un corpus de conditions environnementales.

Si ces classifications sont précises et pertinentes, elles restent néanmoins difficilement généralisables et reproductibles. Les paramètres employés restent trop souvent juxtaposés et leurs modalités peu ou pas assez décrites ce qui rend leur utilisation et leur évaluation difficiles.

L'objectif majeur de notre contribution est de dégager les tendances qui permettent de hiérarchiser les paramètres de la végétation en distinguant d'un côté notamment les critères relatifs à la description des peuplements (structure, composition) et de l'autre leur répartition sur le territoire, sur les différents types de sol ou selon le gradient altitudinal. Une forêt est avant tout définie par une structure de végétation qui se mesure dans le plan vertical par une hauteur et un nombre de strates, et dans le plan horizontal par la juxtaposition des couronnes et la densité des tiges. Dans une seconde phase, cette classe de structure s'exprime différemment selon l'altitude, le sol ou l'hygrométrie et se compose *in fine* de groupements végétaux diversifiés. L'objectif finalisé de cette étude est de tendre vers une classification plus fine des formations végétales. Dans un premier temps, il est nécessaire de synthétiser les connaissances et de parfaire la délimitation cartographique des formations forestières qui recouvrent le substrat volcano-sédimentaire. Ce rapport préliminaire œuvre dans ce sens et contribue à spécifier les différents points suivants :

- ✓ produire une cartographie des forêts denses humides sur substrat volcano-sédimentaire
- ✓ hiérarchiser les unités étudiées d'après leur structure et/ou leur composition floristique
- ✓ identifier les déterminants de la structure et/ou la composition des unités observées
- ✓ définir la/les échelles les plus significatives pour expliquer les structures observées
- ✓ analyser la pertinence des outils actuellement utilisés et les redéfinir au besoin
- ✓ poser les bases d'une typologie des habitats
- ✓ Insérer les cartographies réalisées sur sols ultramafiques (avenant 2 convention 10C113)

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 TYPES DE SOLS

Le terme assez générique de « substrat volcano-sédimentaire » employé pour définir le cadre de cette étude vise à mettre l'accent sur le fait que les formations sur « terrain minier ou ultramafique » ne sont pas prises en compte. Ces formations ultramafiques, présentes essentiellement dans le sud du pays et dans le nord sur quelques massifs de la côte ouest, sont caractérisées par des sols de type Ferrasols et Plinthosols. Elles abritent une flore très particulière qui a déjà fait l'objet de plusieurs études. A l'inverse, les forêts denses humides qui se développent sur les sols volcano-sédimentaires restent jusqu'à présent moins connues et couvertes par une bibliographie plus restreinte. Ces substrats contiennent en réalité plusieurs classes de sols dont nous empruntons la cartographie aux travaux produits pour l'Atlas de Nouvelle-Calédonie (Fritsch, 2012) (voir Figure 1) et les définitions aux travaux de consortium internationaux (FAO 1998, IUSS Working Group WRB, 2006).

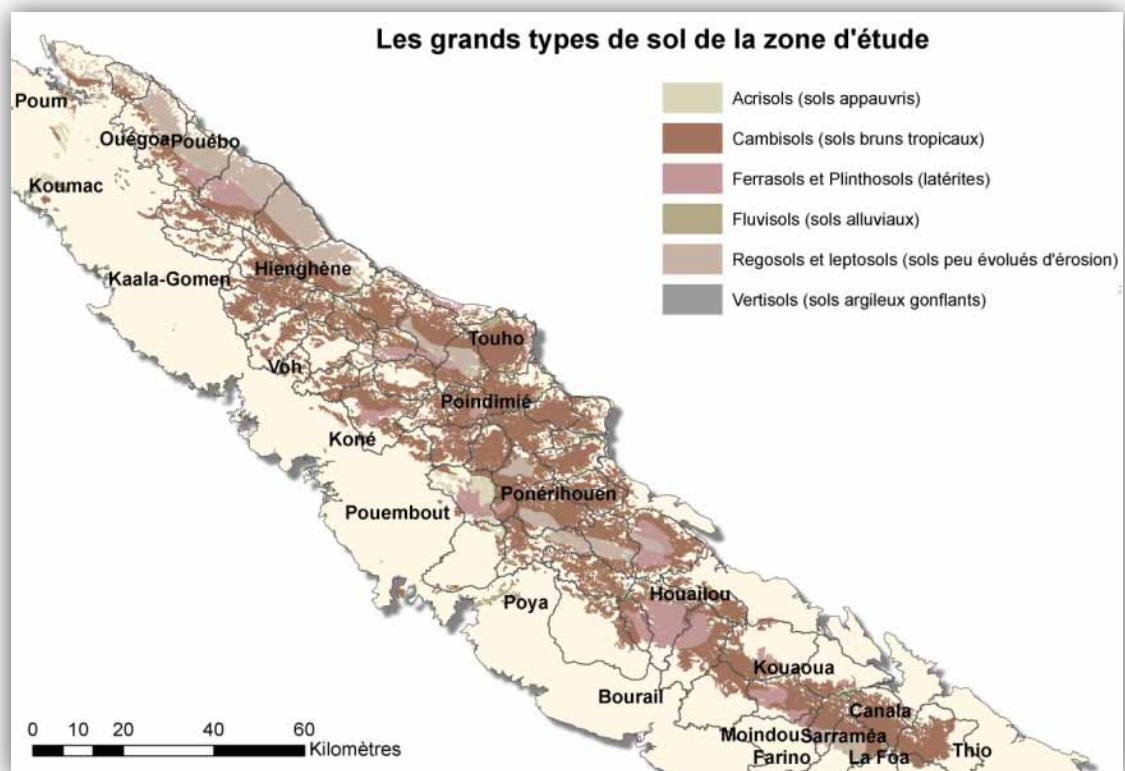


Figure 1 : Les types de sols sur substrat volcano-sédimentaires, rencontrés sur les différents faciès de la zone d'étude (adaptée d'après Fritsch, E., 2012. Atlas de la Nouvelle-Calédonie).

ACRISOLS

Aussi appelés *sols ferralitiques fortement ou moyennement désaturés*, ces Acrisols se rencontrent généralement sur des substrats terrestres anciens ayant une topographie ondulante ou collinaire dans des régions de climat tropical humide, de mousson, subtropicaux ou tempérés chauds. Ces Acrisols sont caractérisés par :

- un horizon *argique* dont la capacité d'échange cationique (par $\text{NH}_4\text{OAc } 1\text{M}$) est inférieure à 24 cmolc kg^{-1} d'argile dans une partie de l'horizon, et débutant soit dans les 100 premiers cm du sol, soit dans les 200 premiers cm du sol si l'horizon argique est surmonté sur toute son épaisseur par du sable loameux ou par des textures plus grossières

- un taux de saturation en bases (par NH₄OAc 1M) inférieur à 50 % dans la majeure partie du sol comprise entre 25 et 100 cm.

CAMBISOLS

Les Cambisols appelés « sols bruns » se rencontrent sous tous les climats à basse ou haute altitude. Ils sont caractérisés par :

- un horizon superficiel *cambique* manifestant des marques d'altération
- un horizon *mollique* recouvrant un sous-sol dont le taux de saturation en bases (par NH₄OAc 1M) est inférieur à 50 % dans une des parties situées dans les 100 premiers cm du sol
- un des horizons suivants dans la profondeur spécifiée à partir de la surface du sol :
 - un horizon *andique* ou *vitrique* compris entre 25 et 100 cm
 - un horizon *plinthique*, *pétroplinthique* ou *salique* compris entre 50 et 100 cm, en l'absence de texture d'un sable loameux ou plus grossière au-dessus de ces horizons.

FERRALSOLS

Les Ferralsols représentent les sols classiques, profondément altérés, rouges ou jaunes, des tropiques humides. Ils sont typiquement présents sur les terrains plats ou ondulants datant du Pléistocène ou plus anciens et moins communs sur des substrats plus jeunes et aisément altérables. Les caractéristiques principales de ces sols sont :

- un horizon *ferralique* à une profondeur variant entre 25 et 200 cm
- pas d'horizon *nitique* dans les 100 premiers cm du sol
- pas de couche répondant aux exigences d'un horizon *argique* et ayant, dans les 30 premiers cm, 10 % ou plus d'argile dispersable dans l'eau (sauf si le matériau du sol a des propriétés *gériques* ou plus de 1,4 % de carbone organique).

FLUVISOLS

Les Fluvisols se rencontrent dans les plaines alluviales, les vallées et les marais littoraux sur tous les continents et dans toutes les zones climatiques. Les Fluvisols sont souvent soumis à des inondations périodiques. Leurs principales caractéristiques sont :

- matériau de sol *fluvique* débutant dans les 25 premiers cm du sol et se prolongeant jusqu'à une profondeur d'au moins 50 cm
- aucun horizon diagnostique autre qu'un horizon *histique*, *mollique*, *ochrique*, *takyrique*, *umbrique*, *yermique*, *salique* ou *sulfurique*.

VERTISOLS

Les Vertisols se rencontrent dans des zones de dépressions, planes ou ondulantes, principalement sous des climats tropicaux, subtropicaux, semi-arides à humide présentant une alternance distincte entre saison sèche et saison humide. Leurs caractéristiques principales sont :

- un horizon *vertique* dans les 100 premiers cm du sol
- après mélange des 20 cm supérieurs, 30 % ou plus d'argile dans tous les horizons jusqu'à 100 cm au moins de profondeur, ou jusqu'à une couche en contraste (contact *lithique* ou *paralithique*, horizon *pétrocalcique*, *pétrodurique* ou *pétrogypsique*, discontinuité sédimentaire, etc.) située entre 50 et 100 cm
- des fentes de retrait qui s'ouvrent et se ferment périodiquement.

REGOSOLS ET LEPTOSOLS

Les Regosols et Leptosols forment un groupe taxonomique résiduel contenant tous les sols qui n'ont pu être classés dans aucun des groupes de référence. En pratique, ce sont des sols minéraux très peu évolués constitués de matériaux non consolidés qui n'ont pas d'horizon *mollique* ou *umbrique*. Ils ne sont ni profonds, ni très riches en graviers (Leptosols), ni sableux (Arenosols), ni constitués de matériau de sol *fluviq*ue (Fluvisols). Ils sont très présents sur terrain érodés, particulièrement dans les zones arides ou semi-arides et sur les terrains montagneux.

2.2 EXTRACTION DE LA BASE DE DONNEES DE L'HERBIER DE NOUMEA

Les échantillons de l'Herbier du centre IRD de Nouméa (NOU) sont aujourd'hui informatisés et gérés dans la base de données « Virot ». Cette base de données est en partie consultable en ligne (<http://herbier-noumea.plantnet-project.org/search>). Elle compte aujourd'hui plus de 54400 références dont certaines illustrées par un scan de l'échantillon. Ces données fournissent des informations précieuses pour analyser les pressions de récoltes, la connaissance taxinomique, la distribution des espèces ou encore la diversité des collecteurs. Néanmoins elle comporte des biais importants qu'il faut considérer dans leur exploitation. Les espèces les plus rares sont généralement surreprésentées par rapport aux espèces les plus fréquentes et la distribution observée reflète plutôt l'accessibilité des sites et la spécialisation botanique des collecteurs que les aires réelles de distribution. Cet outil constitue néanmoins une source indispensable de données et une collection essentielle pour la mise en place d'un référentiel floristique de la flore calédonienne.

2.3 MISE A JOUR DES IDENTIFICATIONS A PARTIR D'AUTRES HERBIERS

Les doubles des récoltes sont déposés dans des grands herbiers internationaux et parallèlement envoyés aux spécialistes des groupes taxonomiques concernés afin d'élargir le champ des compétences et augmenter ainsi la fiabilité des déterminations. En retour, les identifications apportées à ces échantillons ont été vérifiées et corrigées au travers d'une consultation de deux bases de données :

- SONNERAT, du Muséum national d'Histoire naturelle,
<http://coldb.mnhn.fr/colweb/form.do?model=SONNERAT.wwwsonnerat.wwwsonnerat.wwwsonnerat>
- TROPICOS, du Missouri Botanical garden,
<http://www.tropicos.org/>

2.4 LES PARCELLES DU RESEAU NC-PIPPN

Le réseau NC-PIPPN (*New Caledonian Plant Inventory and Permanent Plot Network*) compte actuellement 220 parcelles de 400 m² (20 x 20 m) réparties du Sud au Nord de la Grande-Terre ce qui représentent près de 30 000 individus marqués. Ces parcelles s'appuient sur un protocole standardisé léger et reproductible qui fournit des données d'abondance rendant compte à la fois de la richesse floristique et de la diversité floristique locale mais également des principaux paramètres structuraux (Figure 2). Elles sont centrées sur les paramètres floristiques des ligneux des différentes strates arborées à partir d'un DBH supérieur à 5 cm (« *Diameter at Breast Height* » ou diamètre à hauteur de poitrine mesuré à 1,3 m de la base de l'individu). Pour les seules forêts sur substrat volcano-sédimentaire de la Province Nord, ce réseau regroupe 89 parcelles, soit un inventaire cumulé de 3,56 ha pour environ 14 000 ligneux répertoriés.



Figure 2 : Parcelle en cours de délimitation et de marquage

Le diamètre de chaque individu est mesuré à l'aide d'un mètre ruban. Chaque arbre est identifié sur le terrain. Lorsque l'identification nécessite un examen plus approfondi, un échantillon est prélevé et ramené au Laboratoire. Sont pris en compte tous les individus enracinés dans la parcelle (Figure 3). Pour chacune des parcelles, on relève les informations suivantes :

- Pente
- Description du sous-bois
- Hauteur de la canopée relevée sur la moyenne des hauteurs de 4 arbres situés en canopée
- Hauteur de l'arbre dominant

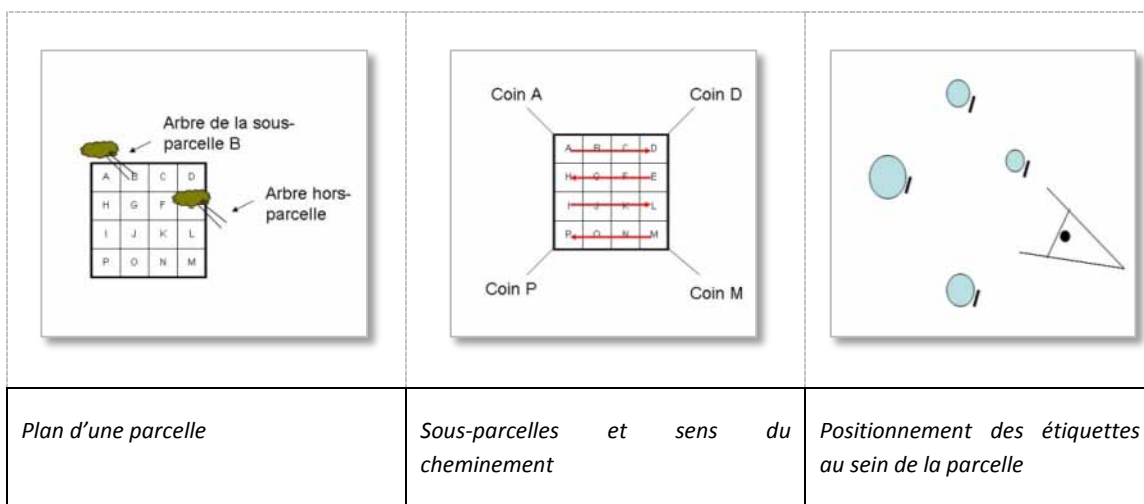


Figure 3: Caractéristiques principales de la mise en place des parcelles

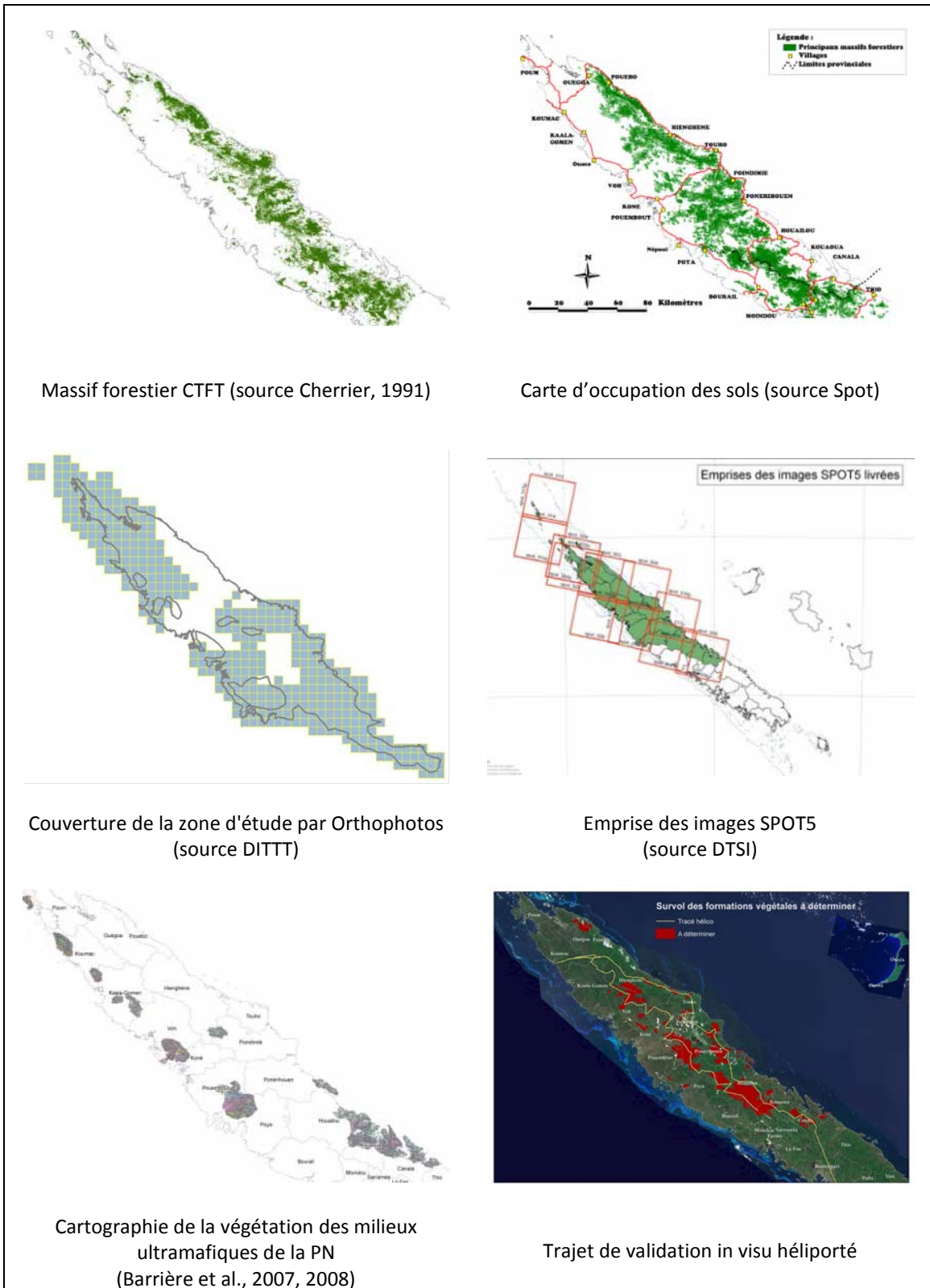
2.5.1 DELIMITATION DES FACIES FORESTIERS

Le premier volet de l'étude cartographique s'est déroulé entre novembre 2010 et janvier 2011. La totalité des formations forestières réparties sur substrat volcano-sédimentaire de la Province Nord ont été délimitées à partir de la cartographie produite initialement par le CTFT (Cherrier, formation_vegetale_ctft.shp), la carte d'occupation du sol (Spot), complétée par une photo-interprétation réalisée au 1/30000^{ème} à partir des orthophotos (DITTT - Province Nord) et des emprises des images SPOT5 (DTSI) pour les zones non couvertes par les premières. L'ensemble de ces polygones sont intégrés dans un Système d'Information Géographique (SIG). Pour plus d'information sur la méthodologie employée se référer directement au travail de C. DARTIS (Dartis 2010).

Dans le cadre de l'avenant relatif à la prolongation de cette convention spécifique sur les sols volcano-sédimentaires, il a été convenu d'intégrer les délimitations cartographiques déjà réalisées sur les sols ultrabasiques dans le cadre d'études antérieures :

- Caractérisation et cartographie de la végétation des milieux ultramafiques de la Province Nord (Barrière et al., 2007, 2008)
- Validation des unités de végétation fragmentées par un survol en hélicoptère des zones périphériques de la chaîne centrale identifiées précédemment dans la classe à déterminer « à déterminer ».

Les données sources de l'étude sont schématisées ci-dessous :



Massif forestier CTFT (source Cherrier, 1991)

Carte d'occupation des sols (source Spot)

Couverture de la zone d'étude par Orthophotos (source DITTT)

Emprise des images SPOT5 (source DTSI)

Cartographie de la végétation des milieux ultramaïques de la PN (Barrière et al., 2007, 2008)

Trajet de validation in visu hélicoptère

Une table attributaire a été mise en place pour stocker la classification des unités de végétation. Les classes utilisées se basent sur les critères de structure détectable dans la canopée qui reposent sur un croisement qualitatif entre la densité, la taille et l'hétérogénéité des couronnes.

Ce croisement aboutit à la définition d'unités dont la représentation hiérarchique est présentée sur la Figure 4.

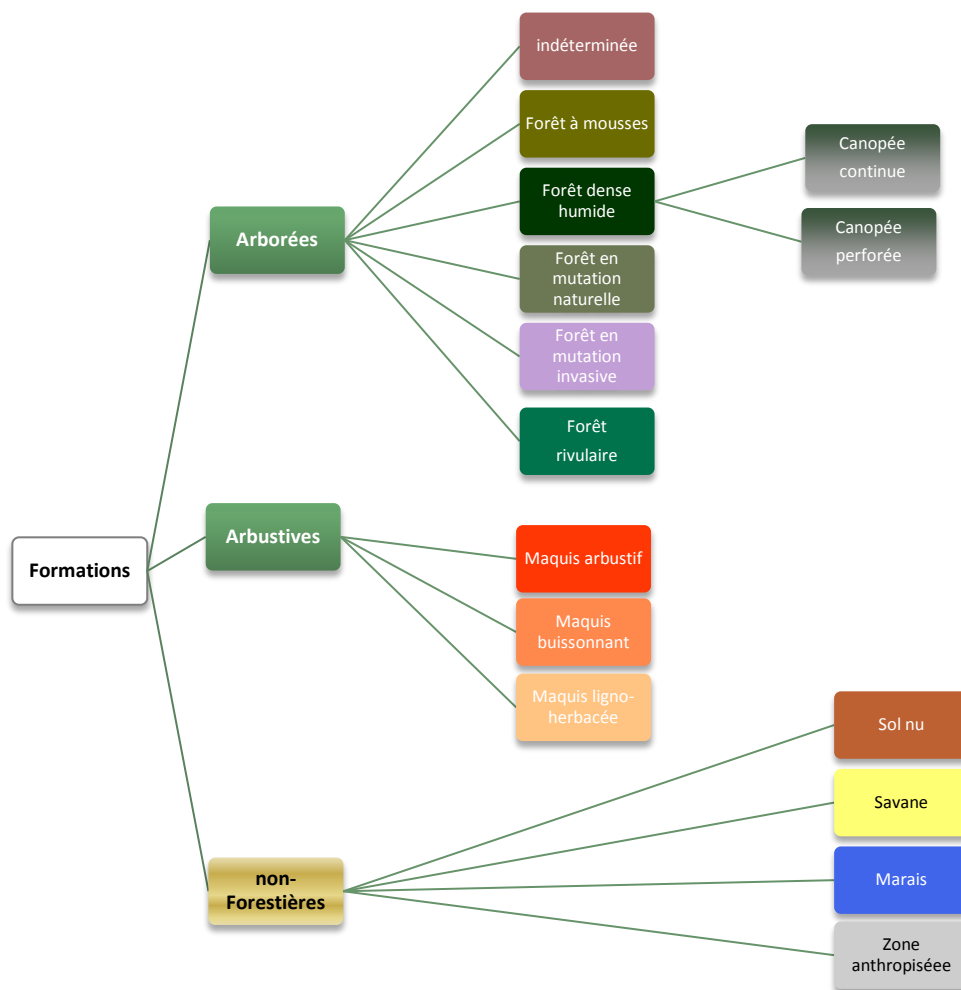


Figure 4: Hiérarchie des classes d'attributs utilisées dans la classification des formations

A. Le champ « **FORMATION** » porte sur la reconnaissance d'une formation comportant des arbres ou des arbustes (formation forestières) autres que ceux plantés aux alentours des zones anthropisées et qui s'opposent aux formations non-forestières :

- I. Une formation **arborée** est constituée d'arbres aux cimes jointives distribués selon un motif irrégulier et dense qui se distingue ainsi des plantations situées aux alentours des habitations. Plusieurs sous-unités se distinguent
 - **Forêt à mousse** : le grain de la canopée est très fin et les espaces inter-cimes sont rares voire absents
 - **Forêt dense humide** : le grain est large, les couronnes sont très diversifiées en taille et en couleur et les espaces inter-cimes sont importants laissant apparaître une ombre portée qui dénote de l'ondulation de la canopée. En forêt dense humide, le champ « **ETAT** » caractérise la structure de la canopée dans la classe. Cette information collectée d'après la photo-interprétation et/ou de la vérité terrain est une décomposition basée sur l'état de dynamique de la forêt.
 - La modalité « **canopée continue** » classe les formations forestières au sein desquelles les cimes des arbres sont très jointives

- La modalité « **canopée perforée** » est attribuée à la forêt lorsque les cimes des arbres sont moins jointives laissant parfois apparaître les strates inférieures voire le sol.
 - La modalité « **Indéterminée** » est attribuée dès lors qu'il a été impossible de trancher nettement entre les deux catégories précédentes.
 - **Forêt en mutation naturelle** : le grain est conforme à celui de la forêt dense humide avec néanmoins une homogénéisation locale de la forme et de la couleur de la canopée qui traduit une mono-dominance spécifique. Il s'agit soit d'une forêt dégradée qui est colonisée par une espèce pionnière native soit au contraire d'une forêt secondaire en cours de reforestation. Il est impossible de distinguer ces scénarios de succession. Dans cette classe sont intégrées les formations paraforestières généralement définies comme voisine d'une formation forestière avec une espèce dominante
 - Le champ « **ESPECE** » regroupe lorsqu'il est possible de l'identifier l'espèce qui est au cœur de la mutation forestière (ex : *Melaleuca quinquenervia*, *Aleurites moluccana*, *Gymnostoma chamaecyparis*)
 - Le champ « **MUTATION** » exprime le degré de colonisation de l'espèce indigène et se distingue en plusieurs modalités Forêt dominante, Codominance forêt/non forêt, Non forêt dominante pour exprimer respectivement que la forêt est prépondérante sur l'espèce mono-dominante, qu'il y a un partage des superficies occupées ou que l'espèce mono-dominante est prépondérante sur la superficie considérée
 - **Forêt en mutation invasive** : le grain est homologue de celui de la forêt en mutation naturelle excepté le fait que l'arbre mono-dominant est identifié comme une espèce introduite à tendance invasive
 - Le champ « **ESPECE** » regroupe lorsqu'il est possible de l'identifier l'espèce introduite qui est au cœur de la mutation forestière (ex : *Pinus carai-bea*, *Albizia moluccana*, *Spathodea campanulata*,..)
 - Le champ « **MUTATION** » exprime le degré de colonisation de l'espèce indigène et se distingue en plusieurs modalités Forêt dominante, Codominance forêt/non forêt, Non forêt dominante pour exprimer respectivement que la forêt est prépondérante sur l'espèce mono-dominante, qu'il y a un partage des superficies occupées ou que l'espèce mono-dominante est prépondérante sur la superficie considérée
 - **Forêt rivulaire** : Même si cette classe existe, elle n'a pas été renseignée d'une manière exhaustive et son traitement devra faire l'objet d'un travail parallèle de digitalisation à une échelle plus fine
 - **Forêt indéterminée** : cette classe rassemble toutes les unités pour lesquelles il n'a pas été possible d'associer le grain forestier à l'une des classes précédentes. Elle se localise notamment dans les secteurs qui ne sont pas couverts par des ortho-photos pour lesquels seules les images satellites ont pu être utilisées
- II. Une formation **arbustive** correspond à des ensembles d'arbustes et de buissons qui se distinguent clairement de la formation arborée du fait de la taille réduite de leur couronne, d'une densité moindre et d'une hauteur réduite qui se perçoit au travers de l'ombrage
 - **Maquis arbustif** : il s'agit de la formation arbustive la plus dense. Le grain est presque continu et seule la taille de la couronne et celle de l'ombre portée traduisent une hauteur réduite de la canopée et des ligneux qui la constitue
 - **Maquis buissonnant** : le grain très clairsemé montre une partie importante du sol nu tandis que la taille de la couronne et de l'ombre portée traduisent là encore une formation végétale constituée de buisson et d'arbustes
 - **Maquis ligno-herbacée** : très proche de la structure d'un sol nu, ces maquis sont parsemés d'une végétation rase

- III. Une formation **non-forestière** rassemble en premier lieu les unités qui ne correspondent pas aux classes précédentes du fait de l'absence de ligneux ou d'une organisation régulière qui traduit une intervention humaine. On distingue plusieurs sous-unités
- **Sol nu** : absence de végétation
 - **Savane** : un sol recouvert d'herbacée. Ce sont des petites unités généralement encerclées de massifs forestiers. A ce stade cette couche reste incomplète. Elle sera complétée progressivement
 - **Marais** : zone marécageuse
 - **Zone anthropisée** : jardins ou vergers
 - **Parcelle de reboisement** : zone actuelles ou anciennement plantées
- B. Le champ « **VALIDATION** » précise le niveau avec lequel la formation est validée en considérant les modalités suivantes :
- I. La modalité « **à réaliser** » regroupe les polygones hérités qui n'ont fait l'objet d'aucune classe de validation
 - II. La modalité « **photo** » correspond au premier niveau de la validation de cette étude. Il s'agit d'une confirmation de la classe par photo-interprétation
 - III. La modalité « **connaissance** » spécifie que la donnée est issue de la littérature ou de communications personnelles en provenance de personnes compétentes (agents des services forestiers, anciens botanistes de l'IRD, représentants d'associations...). Ces informations font l'objet d'une confirmation depuis la photo-interprétation.
 - IV. La modalité « **terrain** » regroupe les polygones qui ont été validés par une observation directe sur le terrain de visu directe ou par jumelles.
 - V. La modalité « **Helico** » regroupe les unités validées lors d'un survol réalisé par hélicoptère

La répartition des zones de validation est indiquée sur la figure 5

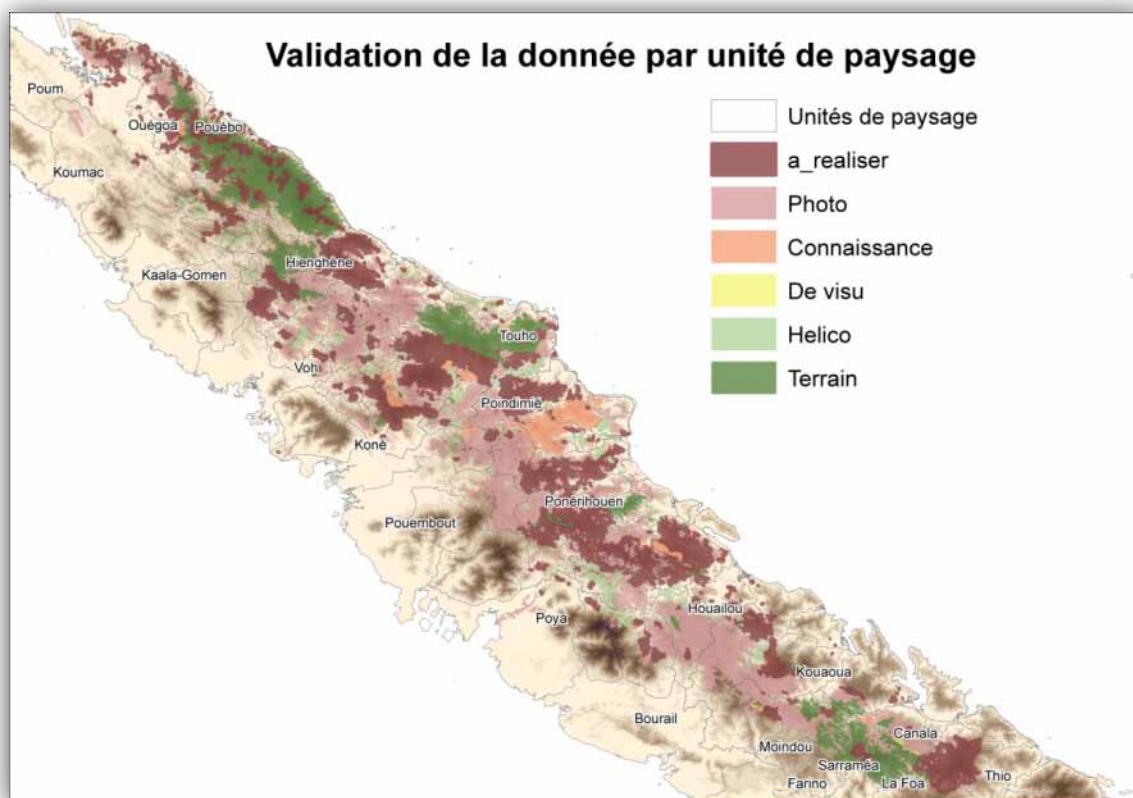


Figure 5: Carte des états de validation des formations végétales pour le substrat volcano-sédimentaire.

2.5.2 INTEGRATION DANS LES UNITES DE PAYSAGE

L'analyse des données cartographiques est intégrée selon des unités de paysage définies selon des critères géographiques, écologiques et paysagers (in Chartendrault et Barré, 2005). La délimitation des unités et la superposition du réseau des parcelles sont illustrées sur la **Figure 6**.

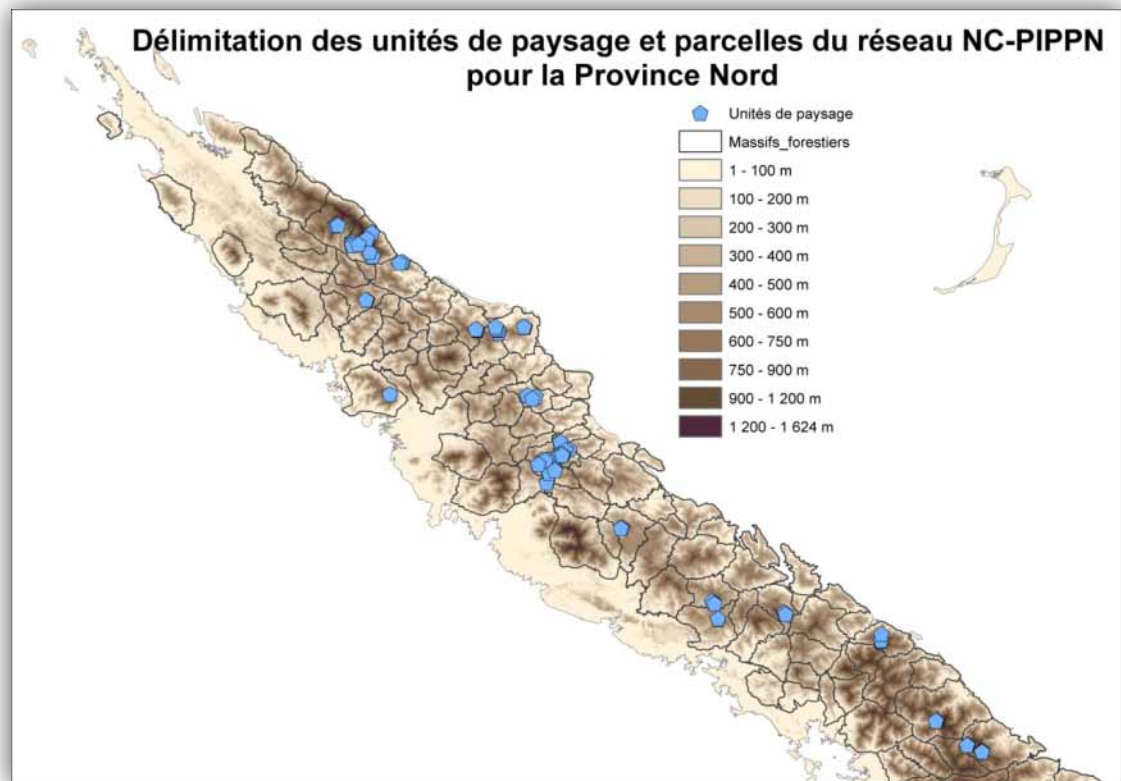


Figure 6: Carte de distribution des parcelles NC-PIPPN et des unités de paysage en Province Nord

A l'issue de ce travail cartographique, toutes les données ont été numérisées, transcrites dans un format vectoriel (ArcGis 10) et intégrées dans une géodatabase conforme au référentiel RGNC_1991_93_Lambert_New_Caledonia et dans la mesure du possible renseignées par des métadonnées (**Tableau 1**). La géodatabase contient les classes d'entités suivantes :

Nom	Description
Formations-vegetalesPN_Juillet2013	Carte des formations végétales
Massifs_forestiers	Carte des unités de paysage
Parcelles	Extraction des parcelles du réseau NC-PIPPN situées sur la zone d'étude

Tableau 1: Classes d'entités de la géodatabase

2.6 METHODES D'ANALYSE DES DONNEES

Les paramètres forestiers sont extraits à partir de l'analyse des données des parcelles du réseau NC-PIPPN, de la base de données de l'herbier Virot, de la délimitation des formations forestières et des unités de paysage.

Les analyses cartographiques sont effectuées au travers du logiciel ArcGis v10.4. Les traitements statistiques s'appuient sur le logiciel « R v2.15.1 » agrémenté des packages standards vegan, ade4, spdep et diversity. La base de données des inventaires forestiers est gérée au travers du logiciel Access et du moteur Jet 3.5, celle de l'herbier Virot au format PostGresQL 8.4.

Les méthodes statistiques utilisées dans le cadre de ce travail reposent sur des travaux et packages issus de la littérature. L'analyse des données est destinée à regrouper ou séparer des ensembles floristiques et structuraux au travers de paramètres qui traduisent une relation forte entre l'environnement et la végétation. Les éléments évalués dans le cadre de ce rapport se réfèrent à l'analyse des mélanges floristiques et des principales structures définies en lien avec un domaine géographique, une unité de paysage ou une unité arbitraire telle que la parcelle. Les herbiers et les inventaires sont regroupés sous la dénomination « observations » d'individus sur le terrain. Ils apportent ensemble, un jeu d'occurrences géoréférencées. Les données issues des parcelles permettent seules, des comparaisons standardisées entre unités et massifs.

- Les comparaisons floristiques se basent sur les distances inter-flores calculées au travers des similarités de Sørensen (1- Bray-Curtis) et classifiées sous la forme d'un dendrogramme dont les regroupements sont évalués par plusieurs méthodes standards (Ward, simple, complète, average, mcquitty, median ou centroid).

$$\circ I_{Sorensen} = 2C / (E_1 + E_2)$$

avec :

C , le nombre d'espèces qui se retrouvent dans les deux communautés

E_1 , le nombre d'espèces dans la première communauté

E_2 , le nombre d'espèces dans la deuxième communauté

- Les éléments de classification reposent sur des analyses de correspondances qui prennent en compte l'abondance relative de chaque taxa et pondèrent en conséquence leur poids dans les regroupements (Pélissier, R., S. Dray et al., 2002, Pélissier, R., P. Couteron et al., 2003). Le poids des espèces les plus rares est minimisé par rapport à celui des plus communes qui définissent le fond floristique commun
- Identification de l'échelle la plus pertinente pour rendre compte des variations des communautés. Le principe est d'incorporer l'espace dans l'analyse de décomposition de la diversité (présenté ci-dessus) comme une composante explicite des variations observées. L'objectif est de déterminer quelle(s) échelle(s) caractérise(nt) le mieux les phénomènes observés. Cette analyse nous permettra à la fois d'alimenter la réflexion sur les processus qui déterminent la structure des communautés mais aussi de (re)structurer nos dispositifs de recherche aux échelles les plus significatives d'expression de ces processus.
- Le mode de répartition des espèces est évalué au travers de l'indice de Morisita qui traduit une distribution statistiquement agrégative, régulière ou aléatoire. Cet indice contribue à mieux comprendre la structure des communautés, et renseigne sur le comportement écologique des espèces étudiées.

$$\circ I_{Morisita} = P_{obs} / P_{att}$$

avec :

P_{obs} la probabilité observée que deux individus choisis au hasard dans l'échantillon observé viennent de la même parcelle. Elle se calcule en comptant parmi toutes les paires possibles d'individus le nombre de paires d'individus provenant de la même parcelle, et

P_{att} la probabilité attendue de tirer deux individus provenant de la même parcelle dans un échantillon de k individus distribué au hasard dans une aire identique.

L'indice de Morisita est standardisé ($-1 < Imst < 1$) selon un intervalle de confiance de 95%. La répartition est agrégative ($Imst > 0$), régulière ($Imst = 0$) ou aléatoire ($Imst < 0$).

- Identification des lacunes et évaluation des méthodes de collecte de données. La compilation des données herbiers et du réseau de parcelles NC-PIPPN est confrontée à la distribution des unités forestières dans le but de spatialiser les pressions de récoltes et la distribution de la connaissance taxinomique. Par ailleurs une analyse critique du réseau des parcelles est élaborée sur des bases quantitatives afin de vérifier la pertinence statistique de son déploiement. Le rapport entre la superficie des parcelles (400 m²) et le diamètre minimal d'inventaire (5 cm) est-il le plus performant pour définir les paramètres forestiers ? La simulation d'inventaire plus étendu en considérant une classe de DBH plus élevée sera confrontée au modèle actuel.

3 RESULTATS

3.1 CARTOGRAPHIE

L'ensemble des zones cartographiées, toutes classes confondues couvre un total d'environ 360 000 ha dont 200 000 ha de « **forêt dense humide** », 39 000 ha de « **formation en mutation naturelle** » et moins de 3 000 ha de « **Formation arborée indéterminée** » (Figure 6).

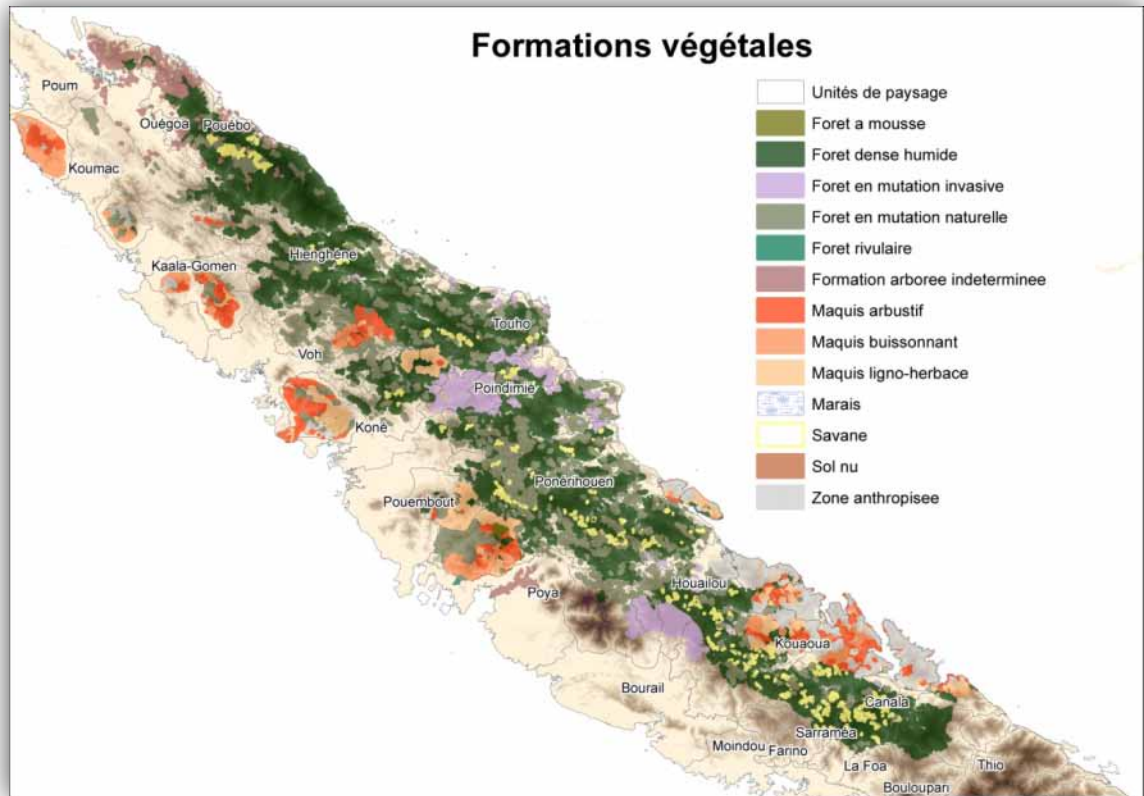


Figure 7: Les différentes formations végétales délimitées en Province Nord

3.1.1 FORETS DENSES HUMIDES VALIDEES

Près de 60 % de la classe « Forêt dense humide » est validée par au moins une source d'information (vérité terrain, connaissance ou terrain/connaissance) ce qui conduit à proposer, à la date de ce rapport, une première carte des unités de forêts denses humides validées en distinguant l'état de leur canopée (Figure 7). A l'heure actuelle, 56% de cette classe est caractérisé par une « canopée continue », 6% par une « canopée perforée » et 38% restent dans un état « indéterminé ».

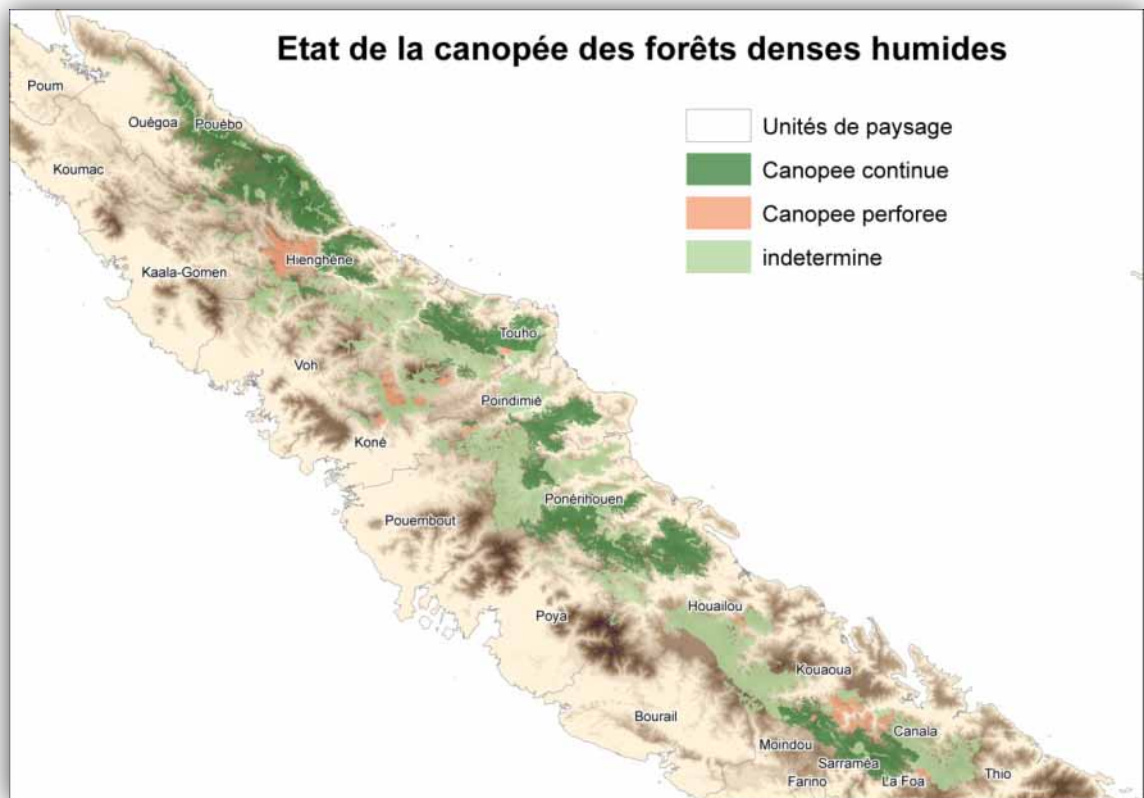
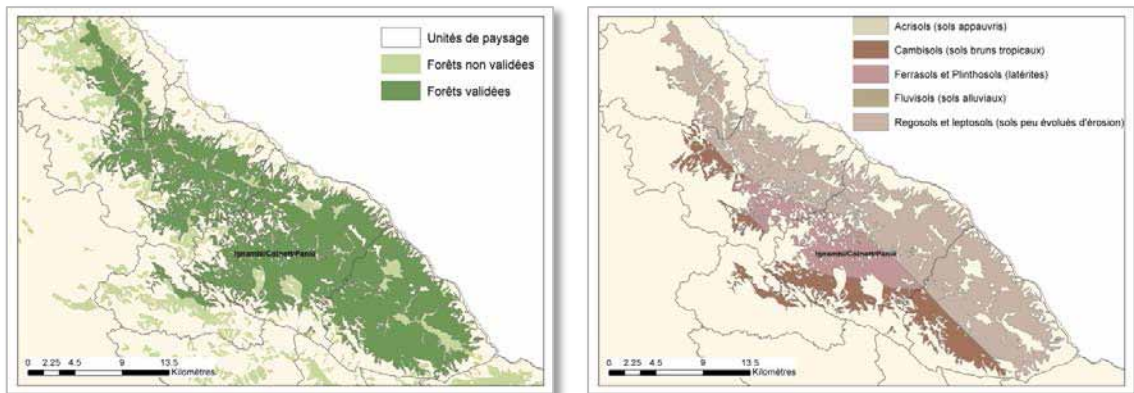


Figure 8: Etat de la canopée pour les grands ensembles de forêt dense humide

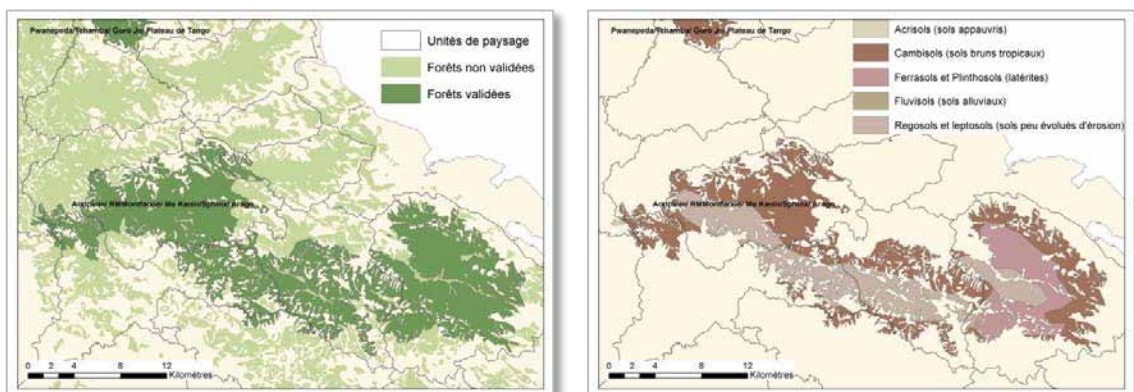
Cinq grands types de sols sont distribués de manière hétérogène sur les cinq ensembles de forêt dense humide validée. Les Cambisols représentent 53% de la superficie des forêts validées. Ils se distribuent partout jusqu'à constituer la presque totalité des ensembles constitués autour du plateau de Tango et du Tonine. La classe Regosol/Leptosol définit la majeure partie des sols de l'ensemble forestier lié au Mt Panié qui constitue de ce fait, une unité singulière. Les Ferralsols et Plinthosols forment localement des inclusions dans ces ensembles mais ne que couvrent 12% de la superficie des forêts validées. La présence des Acrisols et Fluvisols est anecdotique sur la zone puisqu'elle ne représente respectivement que 0,05 et 0,22 % de la superficie des forêts validées. Les cinq ensembles principaux de forêts validées à canopée continue et les sols principaux sont :

A.	L'ensemble Mont Panié (incluant Ignambi et Colnett)	28 000 ha
o	<i>Regosols et leptosols (sols peu évolués d'érosion)</i>	65 %
o	<i>Cambisols (sols bruns tropicaux)</i>	19,5 %
o	<i>Ferralsols et Plinthosols (latérites)</i>	15,3 %
B.	L'ensemble Aoupinié (incluant RMMontfaoué, Mt Kanin, Sphinx et Arago)	21 000 ha
o	<i>Cambisols (sols bruns tropicaux)</i>	54 %
o	<i>Regosols et leptosols (sols peu évolués d'érosion)</i>	29,5 %
o	<i>Ferralsols et Plinthosols (latérites)</i>	16,1 %
C.	L'ensemble Plateau de Dogny (incluant Mt Canala, Ne Mere, Réserve Unio et Mont Rembai)	16 000 ha
o	<i>Cambisols (sols bruns tropicaux)</i>	61,5 %
o	<i>Regosols et leptosols (sols peu évolués d'érosion)</i>	20,2 %
o	<i>Ferralsols et Plinthosols (latérites)</i>	17,7 %
D.	L'ensemble Tonine (incluant Inedete, Pomongoa, Mwidip et Gaitada)	12 000 ha
o	<i>Cambisols (sols bruns tropicaux)</i>	80,1 %
o	<i>Regosols et leptosols (sols peu évolués d'érosion)</i>	19,2 %
E.	L'ensemble Plateau de Tango (incluant Pwanepeda, Tchamba et Goro Je)	11 000 ha
o	<i>Cambisols (sols bruns tropicaux)</i>	98 %

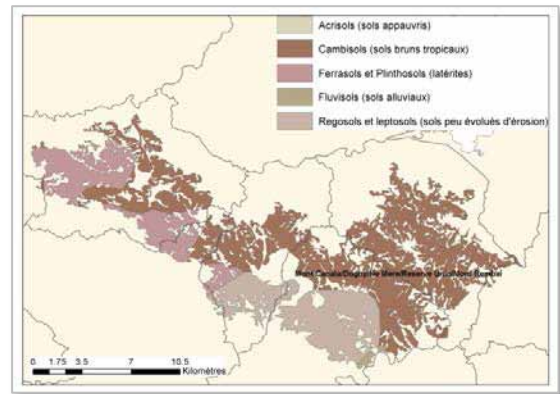
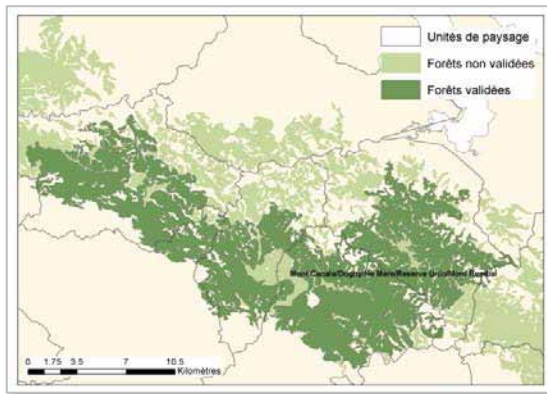
- A. L'ensemble forestier constitué autour du **Mont Panié** (incluant Ignambi et Colnett) est plus fragmenté dans sa moitié ouest que dans sa partie est. Les sols se séparent longitudinalement en trois parties : une moitié nord-est caractérisée par des Regosols et Leptosols, une frange sud-ouest caractérisée par des Cambisols et une inclusion centrale de Ferralsols et Plinthosols.



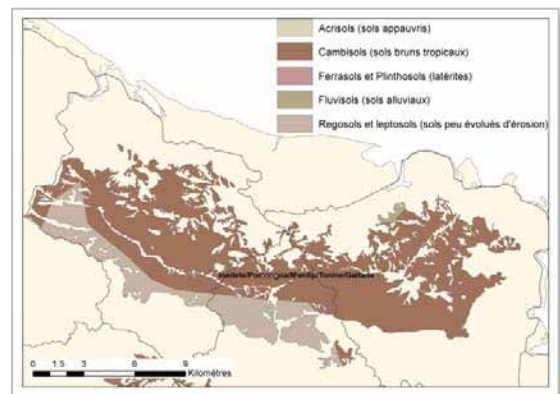
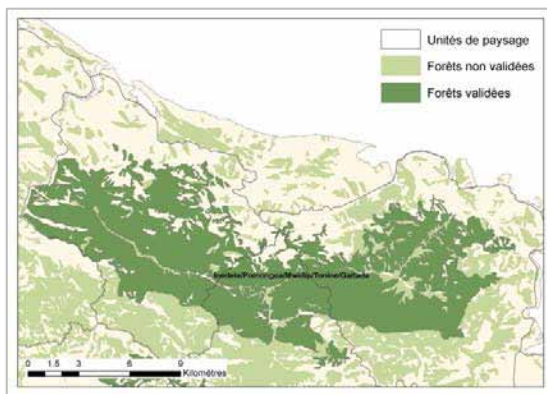
- B. L'ensemble forestier constitué autour de l'**Aoupinié** (incluant RMMontfaoué, Mt Kanin, Sphinx et Arago) est composé de deux gros massifs forestiers plutôt continus : Arago à l'est et Aoupinié à l'ouest reliés par un bloc forestier plus fragmenté. On y trouve trois types de sols : une bande plus ou moins centrale de Regosols et Leptosols bordée de Cambisols avec à l'est une importante inclusion de Ferralsols et Plinthosols sur le mont Arago



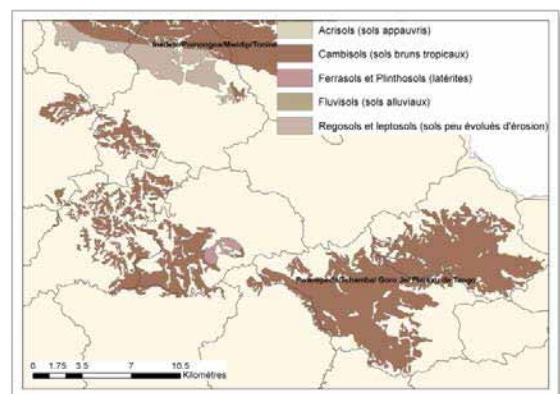
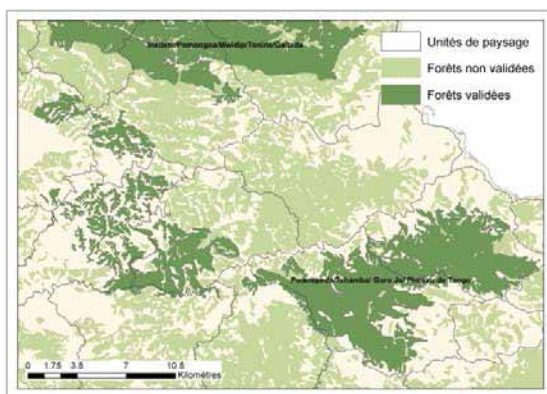
- C. L'ensemble forestier situé autour du **Plateau de Dogny** (incluant Mt Canala, Ne Mere, Réserve Unio et Mont Rembai) présente un aspect très fragmenté surtout dans sa moitié nord. La moitié sud offre encore de grandes surfaces de forêts continues, essentiellement le plateau de Dogny et la Réserve Unio. On distingue 4 types de sols sur cette zone. La plus grosse partie du bloc située au nord est constituée de Cambisols. Dans la portion sud-ouest du Plateau de Dogny on trouve une zone de Regosols et Leptosols tandis que la pointe ouest du bloc est constituée de Ferralsols et Plinthosols. On note une inclusion de Fluvisols tout à fait au nord du Mont Rembai.



- D. L'ensemble forestier centré autour du **Tonine** (incluant Inedete, Pomongoa, Mwidip et Gaitada) est homogène et peu fragmenté. Il est principalement implanté sur des Cambisols avec une fine bande de Regosols et Leptosols dans sa partie sud-ouest et une petite inclusion de Fluvisols au nord.



- E. L'ensemble forestier situé autour du **Plateau de Tango** (incluant Pwanepeda, Tchamba et Goro Je) est constitué de deux unités. A l'est un bloc Tchamba peu fragmenté et à l'ouest un bloc intensément fragmenté : Plateau de Tango. Les sols sont essentiellement des Cambisols avec une petite inclusion de Ferrasols au niveau du Mont Goro Je.



3.2 ANALYSE FLORISTIQUE ET STRUCTURALE

Les premières analyses évaluent la répartition de la pression des observations sur notre zone d'étude. La Province Nord comprend 35443 observations issues de la compilation de la base de données Virot et du réseau de parcelles NC-PIPPN. La classe « **forêt dense humide** » contient 18842 observations dont 6009 herbiers et 12833 individus référencés dans les parcelles ce qui correspond à un total de 1413 taxons différents sur une surface totale de forêt dense humide de 166821 ha. Pour autoriser des analyses comparatives, nous ne considérons que le rang taxinomique « espèce » c'est-à-dire que :

- Les individus identifiés à un rang taxinomique supérieur (famille ou genre) sont exclus.
- Les individus identifiés à un rang taxinomique inférieur (sous-espèce ou variété) sont rapportés au niveau du rang espèce.

Selon cette restriction, cet ensemble de données représente 18031 observations pour 1224 espèces dont 1146 sont représentées par au moins un échantillon d'herbier et 468 par au moins un individu référencé dans une parcelle. Les 89 parcelles du réseau NC-PIPPN recouvrent ainsi près de 38 % des espèces connues pour près de 68% des observations. Les récoltes issues de Virot sont ainsi floristiquement plus riches que les données issues du réseau NC-PIPPN en raison d'une plus faible répétition des taxons récoltés (*i.e.* 4,9 récoltes par taxon contre 27,4 individus par taxon, respectivement). Cette différence n'est pas surprenante étant donnée la différence de protocole et d'objectifs initiaux. Dans le réseau NC-PIPPN, la répétition est une donnée quantitative qui permet d'évaluer l'abondance des taxons, ce qui est inconnue au travers de l'analyse des récoltes de l'herbier. Par ailleurs, la pression d'observation ne s'exerce pas de la même manière pour les différents taxons puisque les données issues de l'herbier recouvrent tous les types biologiques alors que les données issues des parcelles sont restreintes aux seuls ligneux d'un diamètre supérieur ou égal à 5 cm.

3.2.1 PRESSIONS D'OBSERVATION

La distribution géographique des observations est très hétérogène. Seulement 13 unités de paysage sont évaluées par au moins une seule parcelle (Tableau 4 en annexe), alors que les observations d'herbiers portent sur 39 des 42 unités de paysage. Le massif de l'Aoupinié bénéficie d'un effort d'inventaire important au travers de 29 parcelles et 953 échantillons d'herbier ce qui aboutit à un total de 5464 observations pour une flore riche de 597 taxons dont 504 espèces. L'unité du Mt Panié est couverte par 18 parcelles soit 3251 individus et 1071 échantillons d'herbiers, soit 4336 observations pour une flore totale de 625 taxons dont 515 espèces. L'intégration des observations issues de Virot et du réseau NC-PIPPN aux unités de paysage illustre bien l'hétérogénéité spatiale de la connaissance de flore (Figure 9). Les unités de paysage l'Aoupinié et le Mt Panié sont de loin les mieux inventoriées et sont en parallèles celles qui comptent le plus d'espèces connues. Néanmoins l'unité de paysage Mandjelia/Balade compte un nombre élevé d'espèces avec pourtant près de 4 fois moins d'observations due à l'absence de parcelles (Figure 10).

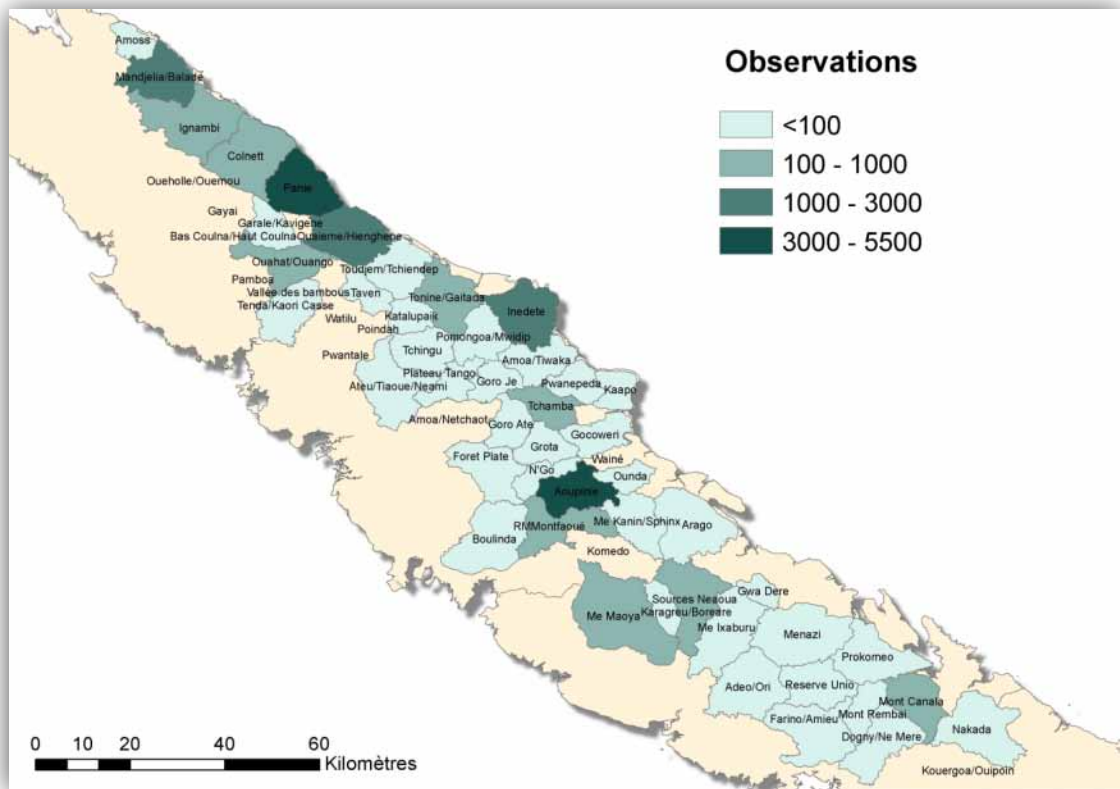


Figure 9 : Répartition par unités de paysage des 18031 observations « espèces » compilées depuis la base des herbiers (Virot) et le réseau des parcelles (NC-PIPPN).

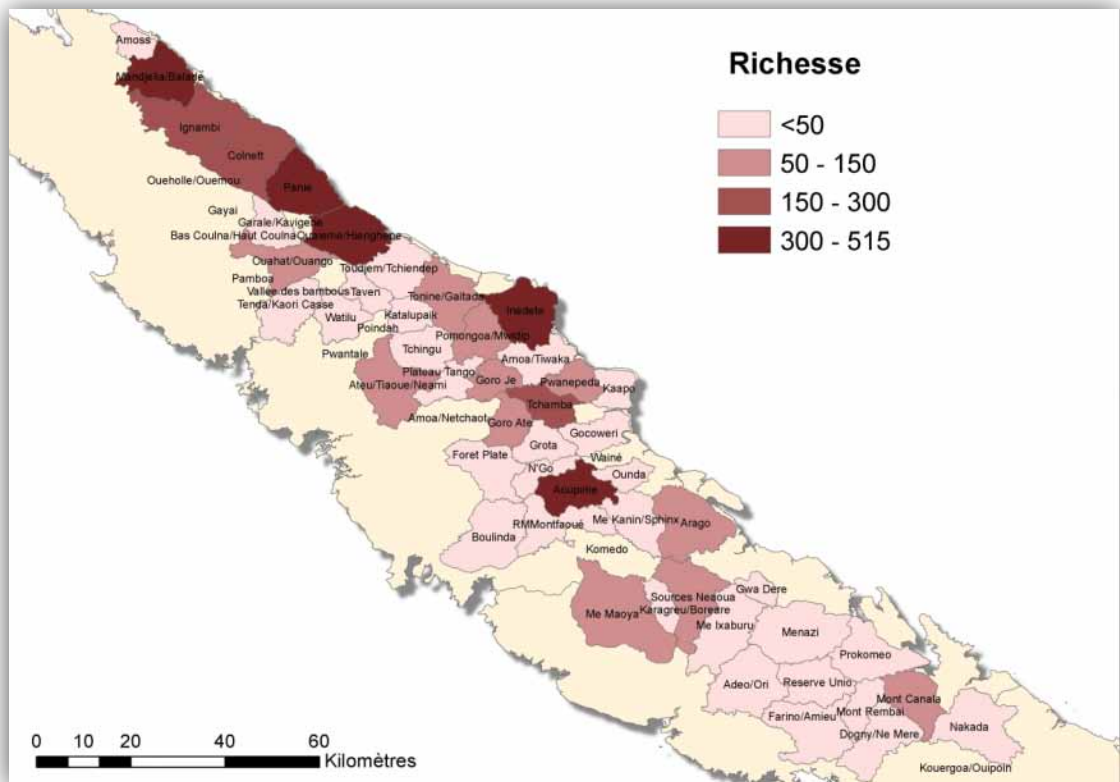


Figure 10 : Répartition du nombre de taxons par unités de paysage basée sur les 18031 observations « espèces » compilées depuis la base des herbiers (Virot) et le réseau des parcelles (NC-PIPPN).

En forêt dense humide, la richesse floristique totale évolue avec la pression d'observation en suivant une loi polynomiale qui reflète en réalité la forte hétérogénéité des méthodes utilisées et de leur répartition spatiale au sein des unités de paysage. Elle croît d'une manière plus rapide en suivant une régression linéaire avec la pression d'observation « herbiers » qu'avec la pression d'observation « parcelles » (Figure 11). Cette distinction rend incompatible l'utilisation du mode combinée pour mesurer avec précisions la connaissance taxinomique.

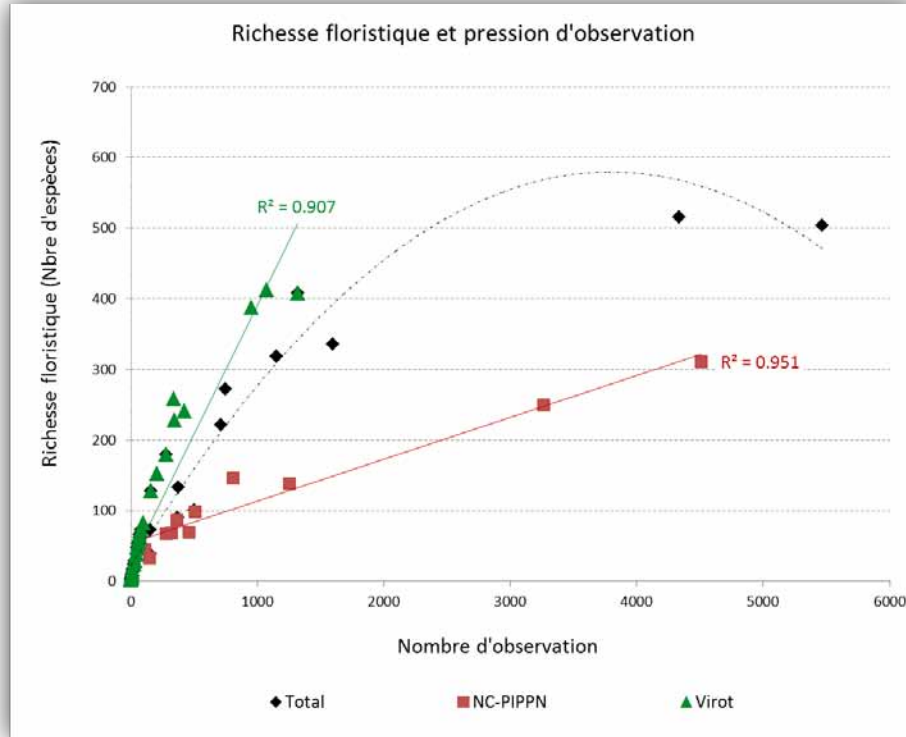


Figure 11 : Variation de la richesse floristique en forêt dense humide par unités de paysages selon le nombre et le type d'observation

La notion d'observation est utile pour compiler l'état de la connaissance floristique mais reflète une fausse image de la diversité floristique du fait du poids de la redondance dès lors que des parcelles sont intégrées. Ainsi, en termes de diversité floristique l'unité Mandjelia/Balade, qui ne comporte aucune parcelle, est la plus diversifiée. La présence de parcelles réduit la diversité floristique, du fait de l'augmentation des répétitions, ce qui ne reflète pas la réalité.

3.2.2 ABONDANCE ET DIVERSITE FLORISTIQUE

L'estimation de la diversité floristique se base sur l'abondance des taxons pour définir la richesse du mélange des espèces sur une surface donnée. D'autre part, les différents indices de diversité ne sont comparables que pour des surfaces d'échantillonnage équivalentes. Ainsi, seul le réseau des parcelles NC-PIPPN permet d'évaluer et de comparer la diversité floristique du fait d'une superficie standardisée (400 m²). Calculé selon l'indice de Simpson et la raréfaction de Hurlbert, la diversité floristique atteint son maximum dans les classes 600-700 m d'altitude puis décroît ensuite rapidement avec l'altitude (Figure 12).

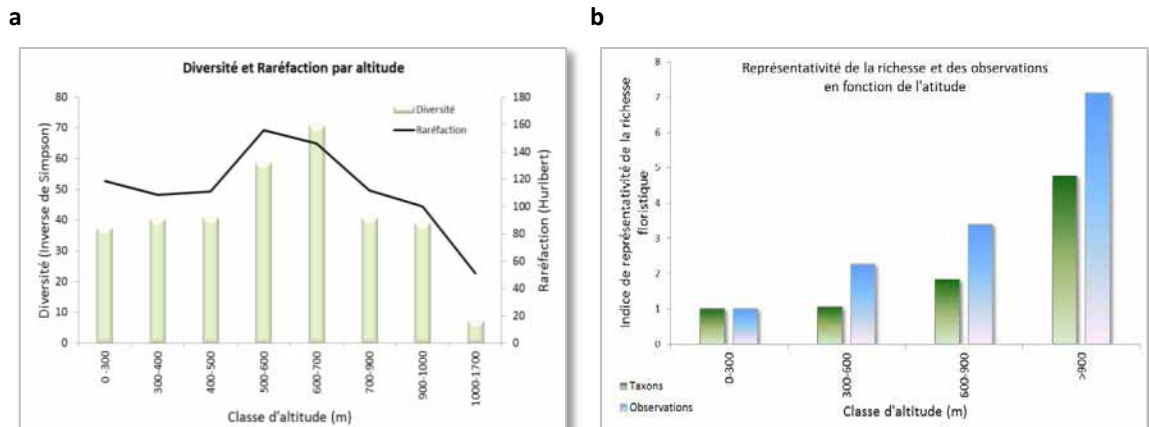


Figure 12 : a) Diversité et raréfaction calculées à partir des 89 parcelles du réseau NC-PIPPN et b) Richesse floristique (nombre de taxons) relative calculée à partir des 18031 observations et rapportée aux surfaces de forêts par classes d'altitude.

La réduction de la diversité spécifique dans les classes d'altitude au-delà de 600-700 m (Figure 12a) s'oppose pourtant à l'augmentation de la richesse floristique (nombre de taxons) calculée sur la totalité des observations (herbiers + inventaires) et rapportée à la surface relative des formations forestières (Figure 12b). L'indice utilisé pour estimer la richesse floristique repose sur une hypothèse de distribution homogène de la végétation. Il est calculé en pondérant le nombre de taxons observés sur la superficie effective de forêt dans la classe d'altitude considérée. Ainsi, bien que la superficie couverte par la forêt d'altitude (> 900 m) ne représente que 3,5 % de la surface de forêt totale, 555 taxons y sont référencés ce qui correspond à un indice relatif 4,8 fois plus élevé que ce qui est attendu sous cette hypothèse. Face à une telle asymétrie de la richesse floristique et de la diversité floristique mesurée dans les parcelles NC-PIPPN, trois hypothèses peuvent être émises :

- La richesse floristique est effectivement plus élevée mais la répartition spatiale est très homogène ce qui explique une faible diversité floristique par une redondance des taxons observés.
- La richesse floristique des taxons non-ligneux, non pris en compte dans les parcelles, est nettement supérieure dans les classes d'altitudes élevées (≥ 900 m).
- La pression de collecte relative aux échantillons d'herbiers est disproportionnée au profit des zones de plus haute altitude.

Cette troisième hypothèse semble plus pertinente ; le nombre de taxons étant toujours proportionnel au nombre de récoltes quelle que soit la classe d'altitude (figure 11).

L'inventaire complet des parcelles compte 13589 individus appartenant à 578 taxons différents dont 9 sont des familles, 74 des genres, 450 des espèces, 12 des sous-espèces, 16 des variétés et 36 sont des taxons considérées comme temporaires, c'est-à-dire non publiées. En ne considérant que le rang spécifique, ces inventaires comptent 12723 individus et 468 espèces dont les principaux rangs sont détaillés en annexe I. Cette répartition fait apparaître une franche inégalité de la composition floristique puisque 8 familles sur 86, 14 genres sur 192 et 35 espèces sur 468 regroupent respectivement plus de

50 % des individus (cf. Tableau 5, Tableau 6 et Tableau 7 en annexe). Cette asymétrie engendre une forte discrimination des parcelles du fait de la présence des espèces rares. Néanmoins cette rareté relève de facteurs variés difficilement comparables :

- A) L'agrégation géographique des taxons participe à cette rareté locale. Evalués à partir de l'indice de Morisita (Figure 13), plus de 80% des taxons se répartissent de manière agrégée; lorsqu'ils sont présents ils sont généralement abondants dans les inventaires. Cette rareté se répercute à l'échelle du paysage plutôt qu'à l'échelle de la parcelle.

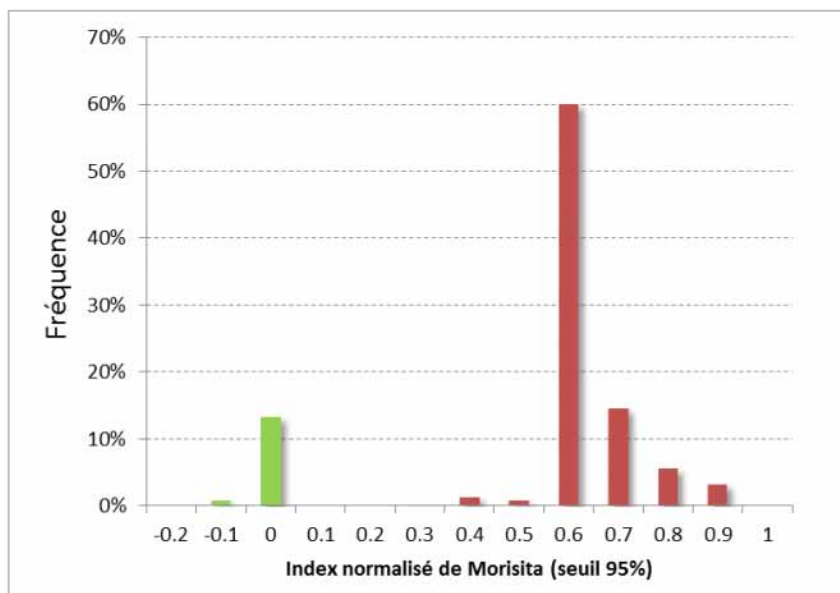


Figure 13 : Fréquence des espèces du réseau des parcelles (NC-PIPPN) selon l'index d'agrégation de Morisita (les valeurs inférieures à 0 expriment une répartition régulière, celles centrées sur 0 ont une répartition aléatoire tandis que celles > 0,5 sont des taxons à répartition agrégée)

Les espèces les plus agrégatives par ordre décroissant de l'index de Morisita sont : *Homalanthus repandus*, *Storthocalyx leioneurus*, *Barringtonia neocaledonica*, *Chambeyronia macrocarpa*, *Geissois balansae*, *Tapeinosperma oblongifolium*, *Ficus habrophylla*, *Rapanea lanceolata*, *Zygogynum comptonii*, *Sphaeropteris albifrons*, *Pandanus altissimus*, *Bocquillonia phenacostigma*. Cette répartition agrégative reflète dans certains cas, un comportement écologique d'espèces cicatriciennes (*H. repandus*, *F. habrophylla*), des plantes communes mais restreintes à certaines tranches altitudinales (*C. macrocarpa* ou *P. altissimus*) et dans d'autres cas une disparité de la détermination au sein de certains taxons mal décrits (*S. leioneurus*, *B. neocaledonica*).

Ce caractère agrégatif exerce un biais important dans la comparaison des parcelles entre-elles. Certains taxons très abondants localement auront une forte tendance à réunir les parcelles même si leur abondance reste faible au niveau de l'ensemble des inventaires. Il est ainsi difficile d'extraire une composante floristique qui ne reflète pas une stricte superposition entre la flore et les unités de paysages au travers d'une analyse factorielle (Figure 14). D'un point de vue floristique, quatre espèces principales réunissent certaines parcelles. Il s'agit de :

- *Hedycarya cupulata* qui, avec *Cupaniopsis petiolulata*, regroupe les parcelles de Wewec (02, 03, 04) et de Gohapin 03. Cette espèce semble très inféodée à des milieux récemment perturbés. Elle apparaît comme un bon indicateur des parcelles secondarisées
- *Alsophila vieillardii* qui regroupe fortement les parcelles de Tao 08 et Tao 09
- *Burretiokentia vieillardii* qui rassemble les parcelles de Mia 01, Mia 02 et qui plus globalement est très agrégative
- *Acropogon aoupiniensis* qui réunit les parcelles de Goa (09, 10, 11, 12) dans un ensemble centré sur l'Aoupinié

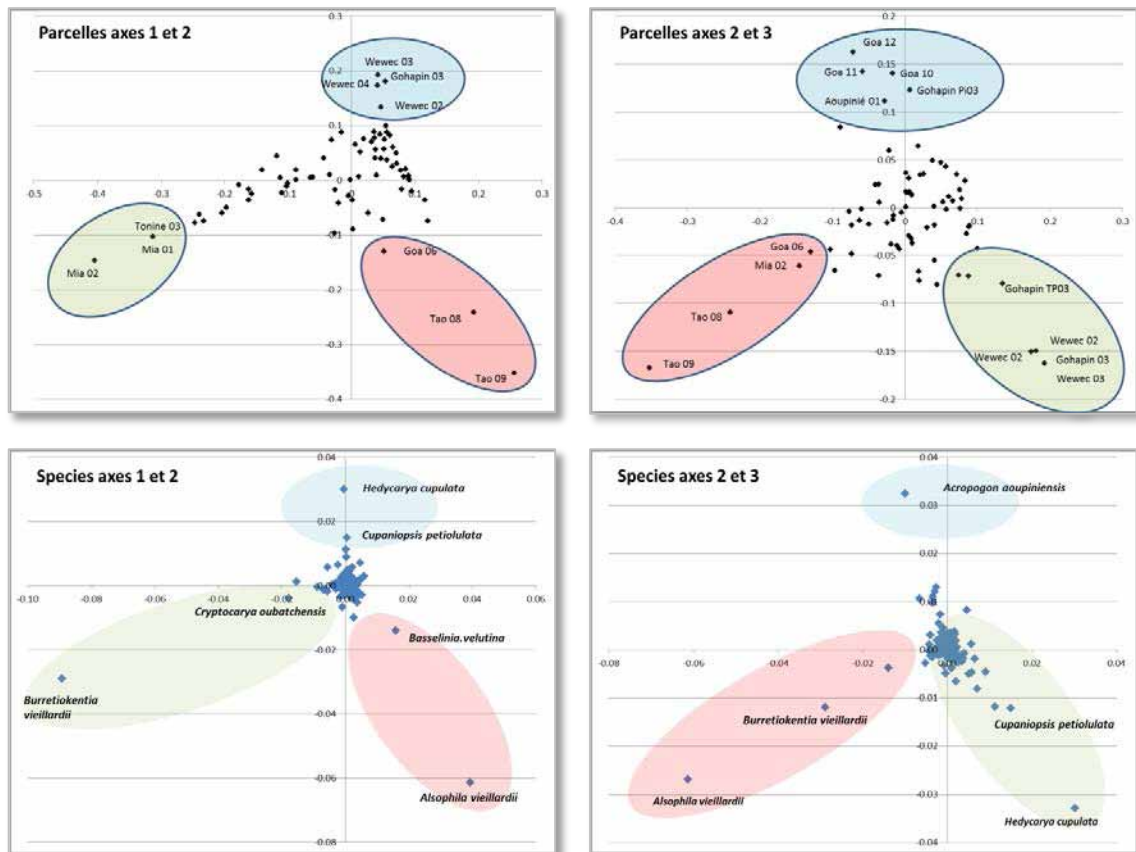


Figure 14 : Analyses en composantes principales des parcelles et des espèces pour les trois premiers axes

La rareté régionale regroupe les parcelles selon un cortège commun que l'on peut évaluer en fonction de la distance ou similitude floristique qui lie deux inventaires au travers de l'indice de Sørensen. Plus cette indice est proche de 1 plus les inventaires sont similaires. Appliquées au réseau NC-PIPPN, la similitude floristique de Sørensen est globalement indépendante de la distance géographique, cela signifie que deux parcelles situées à proximité ne sont pas significativement plus proches que deux parcelles distantes de plus de 150 kms (Figure 15).

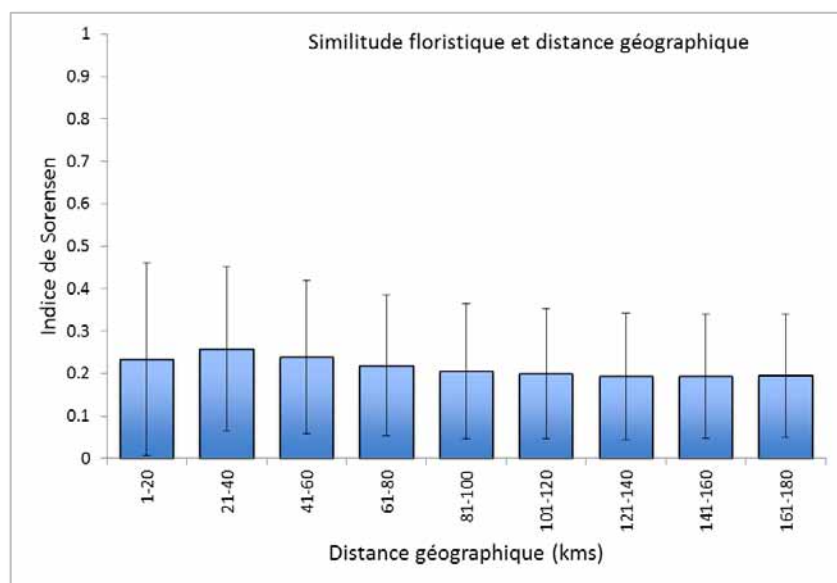


Figure 15 : Relation entre similitude floristique (Sorensen) et distance géographique

Le regroupement des parcelles par similitude floristique ne se superpose pas non plus aux unités géographiques. Il permet néanmoins de discriminer deux flores majeures (Figure 16) :

1. Une flore géographique « Mt Panié » dont les parcelles s'unissent vis-à-vis de l'altitude :
 - Les trois parcelles (Tao 04, Tao 05, Tao 06) de basse altitude (600 m)
 - Les trois parcelles (Tao 01, Tao 02, Tao 03) de moyenne altitude (900m) et la parcelle de La Guen (948 m)
 - Les trois parcelles (Tao 07, Tao 08, Tao 09) de haute altitude (1200m)
2. Une flore dynamique des zones secondarisées de basse altitude (300 et 600 m) :
 - les parcelles nommées Gohapin - Thomas 01 à 05 qui s'alignent selon un transect installé dans une lisière forestière
 - Les trois parcelles de Wewec (02, 03 et 04) dont les traces d'occupation humaine sont encore visibles
3. Un troisième groupe plus flou associant des ensembles très disparates tant d'un point de vue géographique qu'altitudinal dans lequel il est difficile d'extraire une cohérence géographique ou dynamique

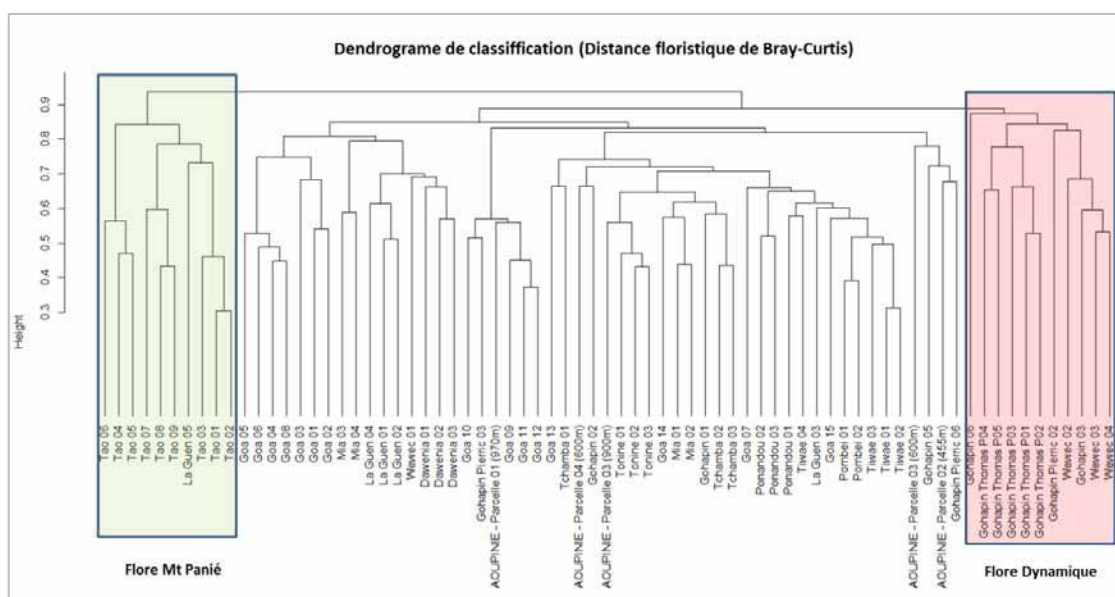


Figure 16 : Classification des distances floristiques entre les parcelles de la forêt humide

- B) Au regard de ces résultats, il convient de réaliser une analyse plus fine en distinguant les unités par types de sols, par ensemble géographique mais également en étudiant la pertinence d'utiliser toutes les classes de circonférences dans la comparaison des inventaires. La limite de 5 cm de DBH appliquée aux inventaires combine à la fois une flore de sous-bois et une flore juvénile qui sera en mesure de rejoindre, dans le futur, les strates supérieures de la forêt. Ce mélange implique donc des états variables de la dynamique difficiles à séparer de la flore véritablement structurante. L'abondance des petits arbres est implicitement sur-évaluée. Certaines espèces fréquentes (e.g. *Citronella sarmentosa*, *Acropogon schumannianus*, *Tarenna ignambiensis*, *Cleidion spathulatum*, *Coronanthera clarkeana*) resteront des petits arbres dont le diamètre maximal dépasse rarement la limite inférieure fixée par la méthode de l'inventaire. Dans la plus part des cas, ils sont filtrés par cette limite et n'apparaissent pas dans les inventaires. Néanmoins dans quelques cas exceptionnels ils franchissent ce diamètre minimal et participent alors à la composition floristique. Leur faible fréquence doit donc être évaluée vis-à-vis de la faible probabilité de rejoindre la classe de DBH minimal plutôt que représentative d'une réelle distribution. Dans le réseau actuel, 135 taxons ne dépassent jamais la classe [5-10 cm] de diamètre et 134 d'entre eux sont parallèlement représentés par moins de 20 individus. Environ 45 % de tous les taxons ne dépassent pas la classe de diamètre 15 cm ce qui recouvre en parallèle près de 85 % de l'effectif inventorié. Néanmoins la richesse floristique décroît presque linéairement entre les classes 5-

20 cm de diamètre passant respectivement de 468 à 202 espèces, soit moins de 40% de la richesse floristique totale (Figure 17).

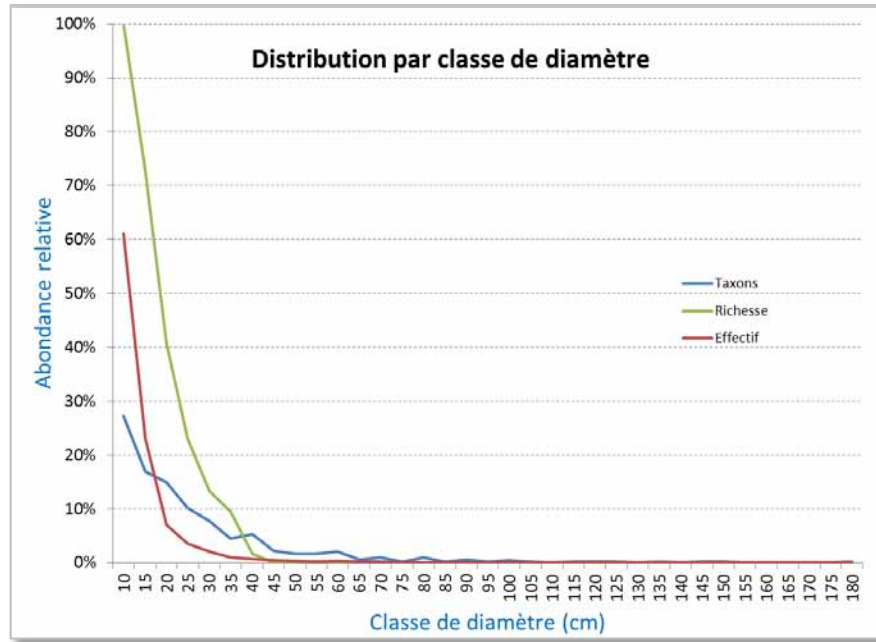


Figure 17 : Distribution relative des données par classe de diamètre (**Effectif** : Fréquence des individus ; **Taxons** : Fréquence des taxons dont le diamètre est maximal dans la classe; **Richesse** : Fréquence des taxons par seuillage de diamètre)

Cette évolution de la richesse floristique en fonction de la limitation de l'inventaire pose le problème fondamental de la représentativité de ces jeux de données vis-à-vis d'une question aussi large que l'analyse floristique des massifs forestiers de la Province Nord. Si d'un côté la capture d'un maximum de la richesse floristique est très dépendante du diamètre minimal de l'inventaire, de l'autre côté la flore contenue dans une parcelle de 400 m² ne permet pas de rapprocher des ensembles forestiers de même nature (substrat, sol, altitude). Nous pouvons raisonnablement faire l'hypothèse que la faiblesse des indices de similarité et leur relative indépendance vis-à-vis de la distance géographique sont liées à l'inadéquation entre la faible taille des parcelles et la grande richesse floristique mesurée.

Cette richesse décroît exponentiellement avec le DBH minimum utilisé. Il est ainsi possible d'estimer de manière robuste la richesse floristique totale à partir d'un inventaire dont le DBH minimum serait de 10, 20, 30 voire 40 cm (Figure 18). En se basant sur ce modèle, la richesse floristique du réseau de parcelles développé en Province Nord compterait un total de 650 espèces de ligneux pour toutes les classes de diamètre confondues.

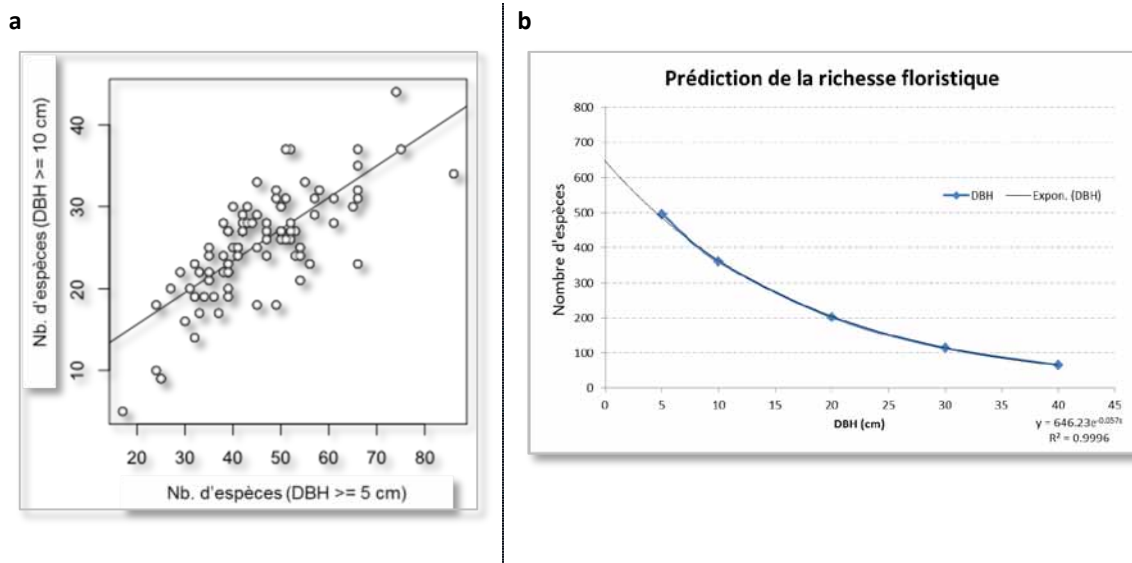


Figure 18 : a) Autocorrélation entre les classes de DBH, 5cm et 10cm et b) prédiction de la richesse biologique par classes de diamètre

Cette prédiction de la richesse s'applique également aux caractéristiques de la diversité floristique (indice de Simpson) qui prend en compte l'abondance des espèces dans les inventaires. Bien évidemment, cette diversité floristique décroît lorsque l'on augmente la taille minimale du diamètre pris en compte dans l'inventaire. Cependant, elle suit une corrélation linéaire notamment dans les premiers stades de la dégradation. La diversité floristique d'un inventaire des individus ayant un DBH ≥ 5 cm peut être estimée à partir de l'inventaire des individus dont le DBH est supérieur ou égal à 10 cm (Figure 19).

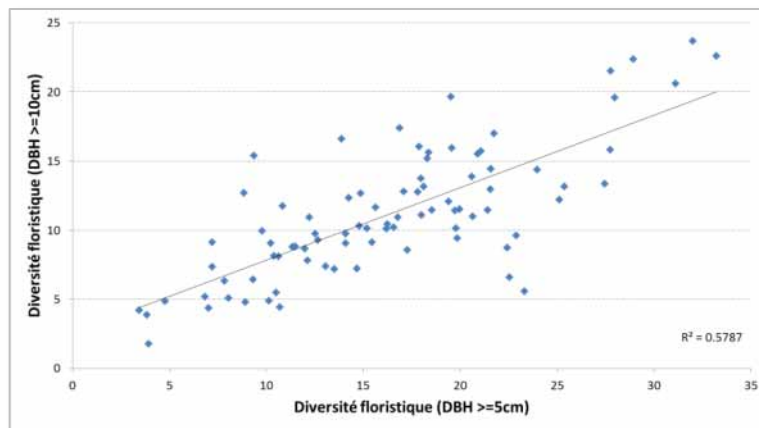


Figure 19 : Relation entre les indices de diversité calculés pour un inventaire filtré à un DBH de 5 cm et 10 cm.

Cette évolution de la corrélation diverge selon la tranche d'altitude (Figure 20). Lorsque l'altitude est inférieure à 300 m, la diversité floristique calculée à DBH ≥ 10 cm reste très corrélée à celle obtenue pour un DBH ≥ 5 cm ($R^2=0,89$). Cette corrélation 5-10cm décroît avec l'altitude et passe de 0,70 dans la classe 300-600 m à 0,43 dans la classe 600-900m puis chute à 0,38 au-delà de 900 m d'altitude.

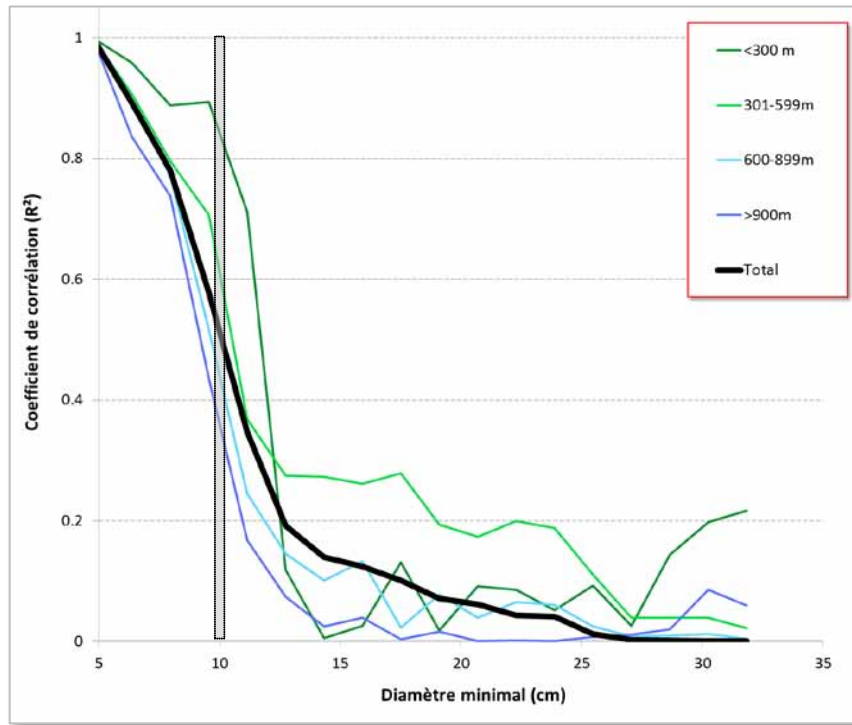


Figure 20 : Evolution de l'autocorrélation des indices de Simpson en fonction des diamètres minimaux pris en compte dans les inventaires et selon les classes d'altitude

Cette évolution de la richesse et de la diversité floristique est un élément fondamental à prendre en compte dans la mise en place des inventaires dans le but d'optimiser la pertinence des analyses au travers d'une meilleure adaptation du ratio entre la surface de l'inventaire et le diamètre minimal. Augmenter la superficie des parcelles au détriment d'un diamètre minimal plus élevé (e.g. 10 cm de DBH) permettrait d'intégrer une plus grande variabilité floristique du milieu. Pour un même effort d'échantillonnage, c'est-à-dire un même nombre d'individus inventoriés par parcelle, la superficie augmente d'un facteur proche de 3 en passant d'un diamètre minimal de 5 cm à 10 cm.

Ainsi les 89 parcelles qui représentent un total actuel de 3,56 ha pour un DBH minimal de 5 cm et un nombre total d'individus de 12833, correspondrait en théorie au même effort d'échantillonnage que près de 9 ha d'inventaire avec un DBH minimal de 10 cm. Sachant qu'en dehors des parcelles de haute altitude, il est possible d'inférer la richesse et la diversité floristique depuis un diamètre de 10 cm, ces nouvelles limites d'échantillonnage permettraient de couvrir une plus grande hétérogénéité floristique et ainsi être plus fidèles à la composition du massif étudié. Par ailleurs, un filtre appliqué à 10 cm sur une plus grande surface permet d'atteindre plus rapidement la surface minimale nécessaire à la connaissance de la flore de basse altitude (Figure 21).

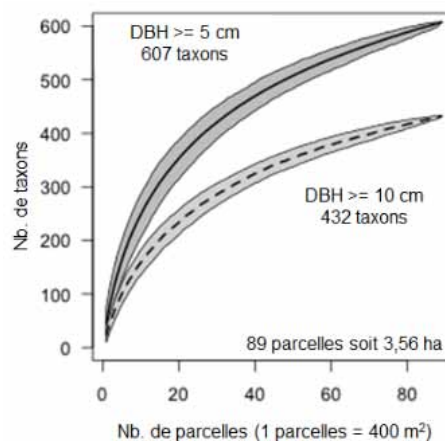


Figure 21: Courbe aire-taxa pour le réseau des parcelles selon un filtre de DBH minimal de 5 cm et 10 cm

3.2.3 STRUCTURE ET TYPOLOGIE

Les paramètres structuraux sont extraits de l'analyse des 89 parcelles de forêts denses humides. Comme vu précédemment, la distribution des diamètres montre un réel déséquilibre dans l'inventaire au profit des classes les plus basses avec plus de 60% de l'effectif compris dans la classe 5-10 cm. Ce déséquilibre génère un biais dans la comparaison floristique puisqu'il intègre le mélange sous-bois/jeunes arbres selon des taux variables en fonction de l'altitude.

La densité augmente avec l'altitude des parcelles, la plus dense se situant à La Guen à une altitude 948 m avec 332 tiges, la plus faible se situant à une altitude de 400 m à Gohapin. En parallèle, le diamètre moyen des individus tend à décroître avec l'altitude. Ces deux tendances combinées révèlent un fort accroissement de la densité associée à une forte diminution du diamètre moyen en fonction de l'altitude (Figure 22). La surface terrière est fortement dépendante de la présence d'un grand arbre. Il n'y a donc pas de compensation de la densité sur la biomasse globale du fait de la taille trop réduite des parcelles.

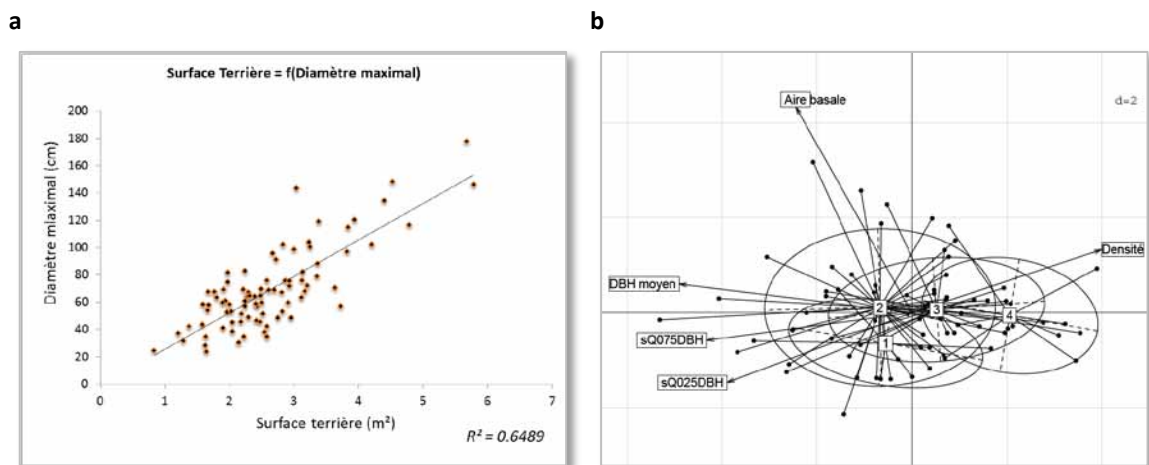


Figure 22 : a) Relation entre surface terrière et diamètre maximal et b) Gradient structural selon l'altitude des parcelles (1 <=300m ; 2=301-600m ; 3=601-900m ; 4>=901m)

L'évolution des paramètres structuraux avec les classes d'altitude constitue un paramètre fondamental dans la classification des unités de végétation. Au-delà de la comparaison floristique, la structure diamétrique apporte une représentation des états de la dynamique au sein d'une même classe d'altitude. Une parcelle en équilibre présente une décroissance régulière du nombre d'individus par classe de diamètre révélant ainsi un renouvellement du peuplement. A l'inverse, une parcelle déséquilibrée dont les jeunes classes sont sous-représentées dans l'effectif traduit un déséquilibre dans les états de la dynamique (Figure 23).

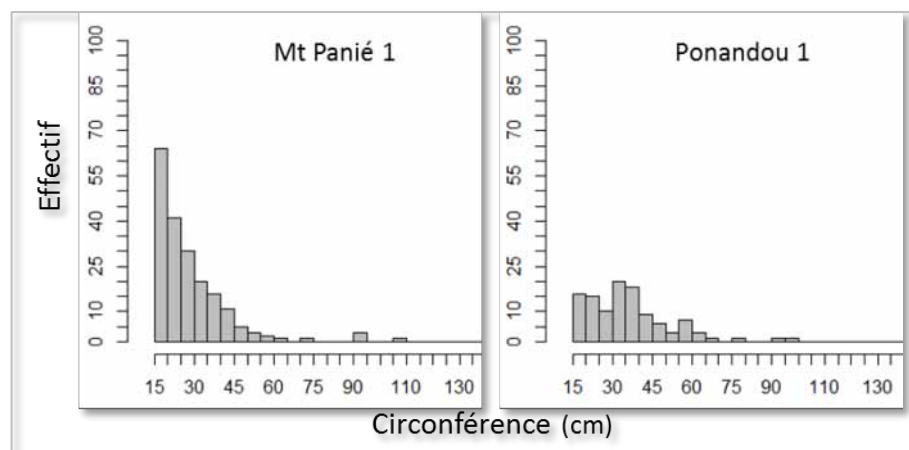


Figure 23 : Structures diamétriques équilibrée (Mt Panié 1) et déséquilibrée (Ponandou 1)

La connaissance de cet état dynamique est fondamentale pour permettre une comparaison des parcelles basée sur un état comparable de la succession forestière. Le premier niveau de distinction repose sur la présence d'espèces cicatricielles qui témoignent d'une fermeture récente de la forêt à la suite d'une perturbation. Ces espèces sont caractérisées par une croissance rapide en milieu ouvert. Une première analyse de croissance a été réalisée à partir des 11 parcelles les plus anciennes installées en 2005 et 2006 (T0). Ces parcelles ont été relues et le diamètre des arbres remesuré en 2012 (T1). La différence de la croissance entre T1 et T0 a été validée en utilisant les tests de Wilcoxon-Mann-Whitney (WMW) et d'Ansari-Bradley (AB). Douze espèces présentent une croissance significative entre T1 et T0 (Tableau 2). Onze des 12 espèces de ce groupe sont retrouvées en forêt et en lisière forestière (la présence de *Lethedon balansae* est incertaine en lisière forestière).

Espèces	Ecologie						Structure					
	Substrat			Formation			Altitude	N	Canop.	CMoy cm	CMax cm	Morisita imst
	VS	S	UM	F	LF	M	m					
<i>Macaranga corymbosa</i>	*	*	*	*	*		0-820	35		28.8	59	0.72
<i>Cupaniopsis macrocarpa</i>	*	*	*	*	*		0-860	24	oui	33.9	115	0.52
<i>Guioa ovalis</i>	*	*	*	*	*		0-860	22	oui	31.4	83.5	0.55
<i>Xylopia vieillardii</i>	*	*	*	*	*		0-680	21	oui	33	118	0.78
<i>Apodytes clusiifolia</i>	*	*	*	*	*		0-1430	23	oui	49.5	210	0.57
<i>Cryptocarya oubatchensis</i>	*	*	*	*	*		100-1200	27	oui	28.2	75	0.59
<i>Comptonella microcarpa</i>	*	*		*	*		0-1260	21		29.8	58	0.77
<i>Crossostylis multiflora</i>	*	*		*	*		250-1100	60	oui	49.7	237.5	0.56
<i>Cunonia pulchella</i>	*			*	*		400-1620	24	oui	38.75	238	0.76
<i>Cupaniopsis phalacrocarpa</i>	*			*	*		400-1100	20	oui	31.1	98	0.69
<i>Lethedon balansae</i>	*			*	?			31		24.4	38	0.64
<i>Piliocalyx wagapensis</i>	*		*	*	*			28	oui	33.9	144	0.57

Tableau 2: Les onze espèces qui présentent une croissance significative entre la mise en place des inventaires à T0 (2005/2006) et la relecture des diamètres à T1 (2011/2012). (**VS:** Volcano-sédimentaire; **S:** Serpentine; **UM:** Ultra-mafique; **F:** Forêt; **LF:** Lisière Forestière; **M:** Maquis ; **N:** Effectif; **Canop.:** Arbre de canopée; **CMoy:** Circonférence Moyenne; **Cmax:** Circonférence maximale; **Morisita:** Indice standardisé de dispersion de Morisita)

Du fait de la plasticité écologique de ces espèces, de leur mode agrégatif, de distribution et de leur croissance rapide, elles forment une cohorte qui témoigne d'une flore cicatricielle. Leur présence dans l'environnement est un marqueur d'une perturbation récente et leur abondance relative dans les parcelles permet d'inféoder un état dans la dynamique de succession (Tableau 3). Au-delà des caractéristiques de l'environnement (sol, unités de paysages, altitude, pluviométrie), le regroupement des espèces selon un trait fonctionnel (héliophilie, croissance rapide) qui témoigne d'une cicatrisation récente de la structure forestière, marque des différences importantes dans les états de la dynamique. La moitié des individus qui constituent la parcelle de l'Aoupinié (A1) appartient au groupe de ces héliophiles. Cette parcelle est donc dans un état initial de la succession forestière. En ce sens elle diffère fortement de celles situées à Ponandou ou à Tchamba. Leur rapprochement ou leur comparaison vis-à-vis d'une composition floristique ne présente donc pas de sens en écologie.

Site	Code Parcelle	Altitude (m)	N Héliophile (%)
Aoupinié	A1	970	43.09
	A2	455	22.50
Panié	MP1	900	13.64
	MP2	900	13.79
	MP3	900	25.22
Ponandou	P1	140	9.17
	P2	110	16.22
	P3	100	18.18
Tchamba	T1	400	6.49
	T2	550	10.38
	T3	530	16.31

Tableau 3 : Abondance relative des individus appartenant à la classe des espèces héliophiles identifiées au travers de paramètres de croissance et des traits fonctionnels

4 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude a permis de définir un socle solide pour replacer l'état de la connaissance taxinomique dans une analyse spatialisée. Le croisement entre la cartographie des unités de végétation et les observations issues de la base des herbiers (Viro) et du réseau des parcelles (NC-PIPPN) permet de proposer un tableau de bord essentiel au pilotage des études de conservation de la forêt dense humide mais également aux futures campagnes de prospection scientifique.

La définition des faciès forestiers au travers de la photo-interprétation et de la vérification terrain propose une image de la répartition du couvert forestier en Province Nord. La méthode de délimitation reste encore trop imprécise pour permettre une discrimination plus fine des sous-types forestiers. La photo-interprétation qui se base sur l'analyse de la canopée devra être affinée par une analyse quantitative de la structure du grain, c'est-à-dire de la structuration des éléments (arbres et trouées) dans l'espace. La mesure de la taille des trouées et celle des couronnes permettra une meilleure définition des structures. Les ensembles appartenant à la forêt dense humide dont la canopée est continue représentent des unités validées qui peuvent d'ores et déjà être considérées à haute valeur d'intérêt pour la conservation. Elles recouvrent des types de sols néanmoins distincts de sorte que leur flore ne peut pas être directement comparable. Le massif du Mont Panié est majoritairement recouvert de sols peu évolués (Regosols et leptosols) qui les distinguent de toutes les autres unités. En parallèle, la composition floristique de ce massif est très différente et toutes les analyses font état d'une flore qui ne se superpose pas à celle des autres unités de paysages.

Plusieurs unités de paysages, principalement dans la partie sud de la Province Nord, restent peu connues. Les unités de paysages des Sources Neaoua, de Me Ixaburu et Karagreu/Boreare et les unités voisines de Komedo, Menazi et Adeo/Ori forment un large ensemble forestier dont la validation a été essentiellement réalisée d'après photo. Il est important que les études à venir attachent plus d'importance à ces unités qui représentent de larges surfaces forestières.

Les grands ensembles forestiers définis au sein de cette cartographie présentent des niveaux de fragmentation plus ou moins importants. L'unité de paysage centrée autour du plateau de Tango regroupe deux sous-unités dans un état de fragmentation distinct. En effet, le secteur de Tchamba forme un ensemble continu alors que la partie ouest révèle une forêt extrêmement fragmentée sur laquelle il convient de porter une attention particulière en matière de conservation.

La compilation des observations provenant des herbiers et des parcelles fournit une projection de la répartition de la connaissance taxinomique dans les forêts denses humides de la Province Nord. Si cet ensemble permet de calculer la richesse floristique par unité de paysages, la diversité floristique, qui

dépend de mesures d'abondances des taxons, ne peut être estimée qu'à partir des observations du du réseau NC-PIPPN. Les observations d'herbiers quant à elles sont plus efficaces pour évaluer la richesse floristique (moins de répétition par taxons) mais ne peuvent être utilisées que dans le cadre d'une analyse de la présence/absence d'un taxon. A l'inverse, le réseau des parcelles fournit une mesure précise de l'abondance mais la restriction aux seuls ligneux dont le DBH est supérieur ou égal à 5 cm exerce un filtre sur les types biologiques et par conséquent, sur la flore réelle.

Les pressions d'observation sont hétérogènes et se différencient autant par unités de paysage (les ensembles du Mt Panié et de l'Aoupinié représentent les forêts les mieux connues et les mieux prospectées) que par classe d'altitude (les forêts d'altitude seraient possiblement sur-échantillonnées). Dans l'état actuel de notre connaissance, les forêts de moyenne altitude (600-700 m) qui représentent moins de 15 % de la superficie forestière totale, ressortent comme les forêts les plus diversifiées. Parallèlement les unités de paysages situées au sud de la Province Nord bénéficient d'une faible pression d'observation. Ces secteurs se superposent aux faciès forestiers qui restent dans un état indéterminé. Une fois encore, les secteurs centrés autour des unités de paysages du Me Ixaru, Sources Neaoua, Adeo/Ori, Menazi, Forêt plate ou N'Go restent peu connus autant en ce qui concerne la couverture forestière que la composition floristique. Il convient de porter un effort supplémentaire de prospection, de récoltes et d'inventaire sur ces secteurs et plus généralement sur les forêts de moyennes altitudes.

Les méthodes d'inventaire fondées sur un diamètre minimal d'inventaire de 5 cm engendrent un biais dans la distribution des taxons en incluant dans la catégorie des espèces rares certaines espèces de sous-bois qui n'atteignent qu'exceptionnellement un tel diamètre. La rareté de ces essences dans les classifications devrait être pondérée en considérant leur probabilité d'atteindre chaque classe de diamètre. Par ailleurs, la similitude floristique entre les parcelles n'est pas corrélée à la distance géographique ce qui signifie que deux parcelles diffèrent de la même manière, qu'elles soient proches ou éloignées. Cette absence de corrélation révèle que la taille réduite des parcelles ne permet pas d'embrasser toute la variabilité floristique d'un massif forestier. La position d'une parcelle dans un massif forestier détermine la composition floristique ce qui réduit considérablement l'extrapolation sur une surface plus étendue. La définition des unités de forêts, des massifs ou des écosystèmes au travers de la composition floristique se heurte aujourd'hui à la faible représentativité du réseau des parcelles, à sa superficie restreinte et au diamètre minimal utilisé. Si le dispositif DBH minimum ≥ 5 cm et surface d'échantillonnage = 400 m² reste pertinent pour analyser la diversité au-delà de 900 m voire 1000 m d'altitude, il pourrait être modifié pour les altitudes inférieures en privilégiant des parcelles plus grandes (e.g., Surface = 1 ha) inventoriées à partir d'un diamètre plus élevé (e.g., DBH ≥ 10 cm). Pour un même effort d'échantillonnage, ce type d'inventaire intégrerait une plus forte variabilité sans dégrader les informations de richesse et de diversité floristique. Au-delà, un rapport de 1 ha inventorié pour un DBH minimal de 10 cm permettrait d'inscrire le réseau NC-PIPPN dans les dispositifs internationaux de parcelles permanentes. A titre de comparaison, en Guyane française la densité de tiges de DBH ≥ 10 cm évolue dans l'intervalle 500-800 individus/ha. Calculée à partir des parcelles du réseau NC-PIPPN, la projection de la densité évolue en Nouvelle-Calédonie entre 700 et 2700 individus / ha. Néanmoins la biomasse est probablement plus en accord avec ces forêts tropicales de plaine du fait de structures divergentes, notamment d'une hauteur de canopée et d'un diamètre maximal nettement plus élevés en Guyane Française. Ces densités élevées de tiges sont incomparables avec les autres, elles constituent une caractéristique des forêts calédoniennes déjà citée sur les sols ultramafiques (Jaffré et Veillon, 1995).

L'hétérogénéité de la pression d'observation dirige en parallèle l'évaluation actuelle de la rareté ou l'abondance des taxons au sein des unités de paysage. La majorité des espèces ressortent comme ayant une distribution spatiale agrégative. Or rien ne permet aujourd'hui de considérer une espèce rare sans prendre en compte à la fois sa pression d'observation et la surface considérée. Cette étude nous montre que certains taxons, tels que *Acropogon aoupiniensis* est rare si l'on considère l'intégralité des zones forestières de la Province Nord et très abondante si on se restreint à l'unité de paysage de l'Aoupinié.

Dans l'état actuel de la connaissance, en compilant les herbiers et les inventaires, le sous-échantillonnage des zones de moyenne altitude et l'hétérogénéité spatiale de la pression d'observation, les espèces rares apparaissent principalement liées à une trop faible représentativité de la connaissance spatiale. Le présent travail permettra de mieux orienter les nouvelles récoltes et inventaires en fixant comme objectif principal de combler les lacunes spatiales et taxinomiques.

Par ailleurs si les facteurs environnementaux sont mis en avant pour expliquer la diversification de la flore originelle, les activités humaines actuelles ou passées (mine, feux, exploitation forestière, espèces exotiques envahissantes...) ont également contribué à la constitution actuelle des écosystèmes sans qu'il ne soit pour autant possible d'en évaluer l'impact réel. Une étude récente centrée sur le suivi de la dynamique forestière de 11 parcelles du réseau NC-PIPPN révèle que la croissance des individus varie fortement d'une parcelle de forêt à l'autre selon les espèces. Plusieurs groupes d'espèces héliophiles ont ainsi permis de positionner ces parcelles les unes par rapport aux autres en fonction de la dynamique de croissance de leur peuplement. La parcelle située sur le massif de l'Aoupinié, à 950m d'altitude apparaît ainsi dans un état très dynamique du fait d'une concentration élevée d'individus appartenant à des taxons héliophiles et contribuant à la cicatrization de la canopée de cette zone exploitée récemment. Il nous semble que l'aspect dynamique, souvent oublié de la composante de la végétation, peut en réalité s'avérer très important pour distinguer ou au contraire rapprocher des unités de végétation.

Ces premiers résultats issus des analyses structurales et floristiques contribuent à l'élaboration d'une typologie des forêts qui repose sur des critères reproductibles. Certains groupes floristiques favorisent le rapprochement ou la discrimination des unités de paysages indépendamment du rang taxonomique. On distingue ainsi :

- Une flore « **géographique** » restreinte à certains secteurs et qui sépare par exemple immédiatement les unités du Panié (*Agathis montana*) ou de l'Aoupinié (*Acropogon aoupiniensis*)
- Une flore « **bioclimatique** » qui permet de distinguer des groupements en lien avec des conditions spécifiques de l'environnement (e.g. *Phyllanthus bourgeoisii* commun en bord de rivière, *Trimenia neocaledonica* commun au-delà de 900 m, *Dicksonia baudouini* exclusivement au-delà de 1000 m)
- Une flore « **structurelle** » qui s'inscrit dans une structure de végétation en relative indépendance des conditions de l'environnement (e.g. *Burretiokentia vieillardii* exclusivement en forêt, *Cunonia lenormandii* et *Purpureostemon ciliatus* exclusivement en maquis)
- Une flore « **transgressive** » qui se caractérise par une très forte plasticité écologique et qui regroupe des unités sans lien marqué avec les paramètres de l'environnement (e.g. *Carpolepis laurifolia* forêt-savane, basse ou haute altitude, arbre/arbuste/étrangleur ou *Glochidion billardierei* buisson ou arbre, forêt ou savane)
- Une flore « **cicatricielle** » qui témoigne d'une phase de la succession forestière et qui regroupe les parcelles selon leur état dynamique (e.g. *Macaranga corymbosa* qui caractérise les zones de chablis récents, *Geissois racemosa*, *Guioa villosa*... pionnière à vie longue en bord de lisière et dans les phases initiales de la succession forestière)

La classification des espèces selon des traits fonctionnels ou biogéographiques semble nettement plus pertinente pour rassembler ou discriminer des ensembles floristiques que la taxonomie qui repose davantage sur des traits morphologiques (Cornelissen et al. 2003). Un des enjeux importants sera de poursuivre les travaux sur la définition de ces groupes fonctionnels pour passer progressivement d'une connaissance taxonomique de la flore à une connaissance écologique au travers de l'identification de structure, d'espèces ou de groupes floristiques indicateurs d'un état des habitats forestiers (e.g. Gourlet-Fleury et al. 2005). A l'issue de cette étude, les paramètres structuraux semblent d'emblée plus pertinents pour caractériser d'une manière objective les différences en lien avec les critères de l'environnement tels que l'altitude. Le croisement de ces paramètres structuraux et de ces groupements

fonctionnels permettra de progresser vers la mise en œuvre d'une typologie rationnelle des ensembles forestiers. Le principal objectif d'une telle démarche est de promouvoir à terme l'utilisation d'un système applicable à l'échelle de l'ensemble du territoire. Le but d'une classification est de répartir l'échantillon en groupes d'observations homogènes, chaque groupe étant bien différencié des autres. Un travail préliminaire visant à établir une classification hiérarchique standard a été initié en suivant les principes suivants :

- ✓ Les types de végétation sont définis sur la base des caractéristiques de la structure, forme de croissance et couverture de la végétation
- ✓ La classification est hiérarchique pour contenir un petit nombre de catégories au niveau supérieur et de plus en plus de catégories à ses niveaux inférieurs (Classe, Sous-classe, Groupe, Sous-groupe et Formation)
- ✓ L'application de la classification est reproductible et constante
- ✓ Quand cela est possible, la classification utilise une terminologie simple
- ✓ La classification est applicable sur l'ensemble du territoire
- ✓ La classification est basée sur les conditions végétales pendant leur meilleur temps de croissance
- ✓ Les niveaux supérieurs de la classification sont basés sur la physionomie de la végétation : forme de vie, structure, type de feuille, pas sur les espèces
- ✓ La classification est compatible, quand cela est possible, avec d'autres classifications standard d'occupation des sols
- ✓ La classification doit pouvoir être établie sans connaissance approfondie de la flore, sans connaissance du type de sol et sans *a priori* sur les positions géographique et altitudinale

L'approche d'une telle typologie est exclusivement physionomique. Le climat et d'autres conditions environnementales sont utilisés pour aider l'organisation mais la physionomie reste la seule ligne directrice. La floristique est une composante de cette classification mais ne peut pas être une classe. Au final il faudrait être en mesure de spécifier qu'une classe de végétation se retrouve sur certains types de sol, certains gradients altitudinaux, certaines zones environnementales et qu'elle peut comporter plusieurs mélanges floristiques. L'approche de haut en bas (de la structure, aux groupes fonctionnels puis à la floristique) permet l'utilisation de distinctions physionomiques pour cartographier la végétation sans pour autant avoir besoin des informations taxinomiques précises ni environnementales (sols, climat, température, zonation géographique) pour délimiter des unités de végétation.

5 ANNEXES

Tableau 4: Répartition des formations végétales par unité de paysage. Les surfaces sont exprimées en hectares.

Surface (ha)														
Unités de paysage	Forêt à mousse	Forêt dense humide	Forêt en mutation invasive	Forêt en mutation naturelle	Forêt rivulaire	Formation arborée indéterminée	Maquis arbustif	Maquis buissonnant	Maquis ligno-herbace	Marais	Savane	Sol nu	Zone anthropisée	Total général
Adeo/Ori		2697		22			90				38			2847
Amoa/Netchaot		2465	113	281							11			2870
Amoa/Tiwaka		3375	838	58							58			4329
Amoss		125				531								656
Aoupinie		7896		190							81			8167
Arago		8924	246	804							205			10179
Ateu/Tiaoue/Neami		4883	113	421										5417
Bas Coulna/Haut Coulna		875		21										896
Bogota		510		0			1578	506	810				4008	7412
Boulinda	493	2144		6119	8	53	2638	3970	2604	2	16	422	69	18538
Colnett		1143		84		126								1353
Dogny/Ne Mere		5486		25							685			6196
Dothio		280		157			337	197	597				1345	2913
Farino/Amieu		882									39			921
Foret Plate		5769	129	357					1		664			6920
Garale/Kavigene		2810		11		6					6			2833
Gayai		473		265		0	120							858

Gocoweri		3148	122	619							87			3976
Goro Ate		4427	120	593							5			5145
Goro Je		1574	2403	15							19			4011
Grota		4559		563							5			5127
Gwa Dere		1673		156			5				20			1854
Houailou		329	112	623			41	100	37				1377	2619
Ignambi		7601		19		579								8199
Inedete		6704	656	842							13			8215
Kaapo		157	366	951										1474
Karagreu/Boreare		161	2112	238										2511
Katalupaik		2531		71				0			9			2611
Komodo		2912		1068							35			4015
Koniambo		253		3430			4395	29	3356				1644	13107
Kopeto		1169		1415			717	248	3614			292	346	7801
Koua		499		161			1340	153	827				2120	5100
Kouaoua		384					1681	1381	1188				2069	6703
Kouergoa/Ouipoin		741									61			802
Lebris		561		60			314	80	515				1012	2542
Mandjelia/Balade		3273				1449								4722
Me Ixaburu		6109	1771	120							366			8366
Me Kanin/Sphinx		6021	4	513							350			6888
Me Maoya		177	833	1007										2017
Menazi		4816		897			2835	896	2804		113		2910	15271
Moneo		117		18			325	222	132				839	1653
Mont Canala		5433	47	99							454			6033
Mont Kaala		569		836			117	911	287				442	3162
Mont Rembai		3521		258							198			3977

Nakada		5946		221						269			6436
N'Go		2981		437						216			3634
Ouahat/Ouango		3579		1270		44				29			4922
Ouaieme/Hienghene		6748	91	538						44			7421
Oueholle/Ouemou		1477		332		0							1809
Ounda		2096		641						5			2742
Pamboa		1667		150		91							1908
Panie		1019		94		20							1133
Plateau Tango		125	1743										1868
Poindah		142		245			489	62			33		971
Pomongoa/Mwidip		5125	430	179						4			5738
Poro		903		187			1137	926	930			3977	8060
Poum				42			621	1608				8	2279
Prokomeo		2350		161			2232	1108	1476	249		3155	10731
Pwanepeda		3682	164	309						14			4169
Pwantale		1048	12	251								5	1316
Reserve Unio		6104		307						229			6640
RMMontfaoué		4902		788			173	11	99	201	9		6183
Sources Neaoua		4125	3075	1300						134			8634
Taom_Ouazangou		286		1824			2838	1213	1000			522	7683
Taven		2698		291			42	7					3038
Tchamba		4566	318	162								23	5069
Tchingu	7	3409	146	206			161	10	2158	1	24		6122
Tenda/Kaori Casse		630		1870									2500
Thiebaghi		62		1133			2027	3591	324			882	8019
Tonine/Gaitada		7209	0	241						7			7457
Toudjem/Tchiendep		4822		478						4			5304

Vallée des bambous		1217		280										1497
Wainé		781		295										1076
Watilu		989		1593		1283	912	65						4842
Total général	500	200844	15964	39212	8	2899	27531	18146	22824	2	4944	780	26753	360407

Tableau 5 : Les principales familles qui représentent plus de 50 % de l'effectif des 89 parcelles du réseau NC-PIPPN déployé en Province Nord

Familles dominantes	N	%
Arecaceae Schultz	1342	10.55%
Sapindaceae Juss.	1266	9.95%
Meliaceae Juss.	838	6.59%
Lauraceae Juss.	704	5.53%
Monimiaceae Juss.	685	5.38%
Myrtaceae Juss.	646	5.08%
Cyatheaceae Kaulf.	605	4.76%
Clusiaceae Lindl.	453	3.56%
Sous-total >50%	6539	51.40%
...		
Total	12723	100%

Tableau 6 : Les principaux genres qui représentent plus de 50 % de l'effectif des 89 parcelles du réseau NC-PIPPN déployé en Province Nord

Familles	Genres dominants	N	%
Arecaceae Schultz	Burretiokentia Pichi-Sermolli	838	6.59%
Meliaceae Juss.	Dysoxylum Blume	755	5.93%
Sapindaceae Juss.	Cupaniopsis Radlk.	744	5.85%
Lauraceae Juss.	Cryptocarya R.Br.	702	5.52%
Monimiaceae Juss.	Hedycarya J.R.Forst. & G.Forst.	581	4.57%
Cyatheaceae Kaulf.	Alsophila R.Br.	439	3.45%
Clusiaceae Lindl.	Garcinia L.	395	3.10%
Sapotaceae Juss.	Pycnandra Benth.	331	2.60%
Dicksoniaceae M.R. Schomb.	Dicksonia L'Hér.	314	2.47%
Arecaceae Schultz	Basselinia Vieillard	294	2.31%
Malvaceae Juss.	Acropogon Schltr.	292	2.30%
Primulaceae Batsch ex Borkh.	Tapeinosperma Hook. f.	287	2.26%
Rhizophoraceae Pers.	Crossostylis J.R.Forst. & G.Forst.	254	2.00%
Myrtaceae Juss.	Syzygium Gaertn.	250	1.96%
Sous-total >50%		6476	50.90%
...			
Total		12723	100%

Tableau 7 : Les principales espèces qui représentent plus de 50 % de l'effectif des 89 parcelles du réseau NC-PIPPN déployé en Province Nord

Familles	Espèces dominantes	N	%
Arecaceae Schultz	<i>Burretio kentia vieillardii</i> (Brongn. & Gris) Pic. Serm.	838	6.59%
Cyatheaceae Kaulf.	<i>Alsophila vieillardii</i> (Mett.) R.M.Tryon	436	3.43%
Monimiaceae Juss.	<i>Hedycarya cupulata</i> Baill.	382	3.00%
Lauraceae Juss.	<i>Cryptocarya oubatchensis</i> Schltr.	307	2.41%
Meliaceae Juss.	<i>Dysoxylum roseum</i> C. DC.	302	2.37%
Dicksoniaceae M.R. Schomb.	<i>Dicksonia thyrsopteroides</i> Mett.	245	1.93%
Rhizophoraceae Pers.	<i>Crossostylis multiflora</i> Brongn. & Gris	231	1.82%
Meliaceae Juss.	<i>Dysoxylum kouiriense</i> Virot	217	1.71%
Calophyllaceae J. Agardh	<i>Calophyllum caledonicum</i> Vieill. ex Planch. & Triana	208	1.63%
Sapindaceae Juss.	<i>Cupaniopsis petiolulata</i> Radlk.	206	1.62%
Sapindaceae Juss.	<i>Cupaniopsis macrocarpa</i> Radlk.	206	1.62%
Malvaceae Juss.	<i>Acropogon aoupiniensis</i> Morat	189	1.49%
Sapindaceae Juss.	<i>Cupaniopsis sylvatica</i> Guillaumin	165	1.30%
Arecaceae Schultz	<i>Basselinia velutina</i> Becc.	161	1.27%
Euphorbiaceae Juss.	<i>Codiaeum peltatum</i> (Labill.) P.S.Green	156	1.23%
Monimiaceae Juss.	<i>Hedycarya engleriana</i> S. Moore	151	1.19%
Sapotaceae Juss.	<i>Pycnandra comptonii</i> (S. Moore) Vink	150	1.18%
Cyatheaceae Kaulf.	<i>Sphaeropteris novaecaledoniae</i> (Mett.) R.M.Tryon	143	1.12%
Icacinaceae (Benth.) Miers	<i>Apodytes clusiifolia</i> (Baill.) Villiers	139	1.09%
Sapindaceae Juss.	<i>Storthocalyx chryseus</i> Radlk.	126	0.99%
Meliaceae Juss.	<i>Dysoxylum macranthum</i> C. DC.	118	0.93%
Rubiaceae Juss.	<i>Psychotria collina</i> Labill.	112	0.88%
Oleaceae Hoffmanns. & Link	<i>Chionanthus brachystachys</i> (Schltr.) P.S. Green	110	0.86%
Meliaceae Juss.	<i>Dysoxylum rufescens</i> Vieill. ex Pancher & Sebert	106	0.83%
Monimiaceae Juss.	<i>Kibaropsis caledonica</i> (Guillaumin) Jérémie	104	0.82%
Sapindaceae Juss.	<i>Cupaniopsis phalacrocarpa</i> Adema	101	0.79%
Myrtaceae Juss.	<i>Piliocalyx wagapensis</i> Brongn. & Gris	92	0.72%
Annonaceae Juss.	<i>Xylopia vieillardii</i> Baill.	90	0.71%
Primulaceae Batsch ex Borkh.	<i>Tapeinosperma nitidum</i> Mez	89	0.70%
Ebenaceae Gürke	<i>Diospyros olen</i> Hiern	87	0.68%
Sapindaceae Juss.	<i>Guioa ovalis</i> Radlk.	82	0.64%
Clusiaceae Lindl.	<i>Garcinia vieillardii</i> Pierre	82	0.64%
Meliaceae Juss.	<i>Anthocarapa nitidula</i> (Benth.) T. D. Penn. ex Mabb.	82	0.64%
Clusiaceae Lindl.	<i>Garcinia amplexicaulis</i> Vieill.	77	0.61%
Clusiaceae Lindl.	<i>Garcinia puat</i> Guillaumin	77	0.61%
Sous-Total >50%		6367	50.04%
...			
Total		12723	100%

- Barrière R., Dagostini G., Rigault F. & Munzinger J. (2007). Caractérisation et cartographie de la végétation des milieux miniers de la côte nord-ouest, 62p. IRD, rapport de convention DDEE Province Nord, N°32/2007.
- Barrière R., Nigote, W., Dagostini G., Rigault F. & Munzinger J. (2008). Caractérisation et cartographie des végétations des milieux ultramaïques de la côte est de la Province Nord, 38 p. IRD, rapport de convention DDEE Province Nord, N°162/2006.
- Bernard, A. (1895). L'Archipel de la Nouvelle-Calédonie. Hachette, 458 pages (<http://www.archive.org/stream/larchipeladelano00bernqooq#page/n230/mode/2up>).
- Bonvallet J., Gay J.-C., Habert E. (2012). Atlas de la Nouvelle Calédonie. Marseille (FRA) ; Nouméa : IRD ; Congrès de la Nouvelle-Calédonie. Chartendraul V. et N. Barré (2005). Etude du statut et de la distribution des oiseaux menacés de la province Nord de Nouvelle-Calédonie. *IAC*. 374p.
- Cornelissen J. H. C., Lavorel S., Garnier E., Diaz S., Buchmann N., Gurvich D. E., Reich P. B., ter Steege H., Morgan H. D., van der Heijden M. G. A., Pausas J. G. & Poorter H. (2003) A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Aust. J. Bot.* **51**, 335-80.
- Dartis, C. (2010). Cartographie des forêts denses humides sur formation volcano-sédimentaire en Province Nord. Rapport méthodologique de production de la donnée. Nouméa, IRD : 16p.
- Gourlet-Fleury S, Blanc L, Picard N, Sist P, Dick J, Nasi R, Swaine MD, Forni E (2005) Grouping species for predicting mixed tropical forest dynamics: looking for a strategy. *Annals of Forest Science* **62** (8), 785-796.
- FAO (1998). World Reference Base for Soil Resources. *World Soil Resources Reports* 84, FAO, Rome.
- Forster, G. (1786). *Florulae Insularum Australium Prodrromus*. Göttingen.
- Gillespie, T. W. and T. Jaffré (2003). Tropical dry forest in New Caledonia. *Biodiversity and Conservation* **12**: 1687-1697.
- Guillaumin, A. (1921). *Essai de géographie botanique de la Nouvelle-Calédonie*. Nova Caledonia, Botanique.
- Hoff, M. (1983). Quelques aspects des forêts de Nouvelle-Calédonie et de leurs structures. *Bulletin de liaison de la SEPANRIT*(12): 113-118.
- Hoff, M. and J. M. Veillon (1981). Etude floristique et écologique du massif de la Tiébaghi, de quelques sites voisins et propositions de protection. *Nouméa, ORSTOM* : 19 p.
- IUSS Working Group WRB (2006). World Reference Base for Soil Resources. *World Soil Resources Reports* No. 103. FAO, Rome : 128 p.
- Jaffré, T. (1969a). La végétation du massif de Kouaoua. *Nouméa, ORSTOM*: 19 p.
- Jaffré, T. (1969b). Recherches sur la végétation des roches ultrabasiqes en Nouvelle-Calédonie : I. Expérimentation en vases de végétation ; II. Etude des variations des teneurs en éléments minéraux de différentes espèces. *Nouméa, ORSTOM*: 21 p.
- Jaffré, T. (1970). Les groupements végétaux des sols miniers de basse altitude du Sud de la Nouvelle-Calédonie, *ORSTOM*: 21 p.
- Laboratoire de Botanique et d'Ecologie Végétale Appliquées : www.botanique.nc*

- Jaffré, T. (1974). La végétation et la flore d'un massif de roches ultrabasiqes de Nouvelle-Calédonie : le Koniambo. *Candollea* 29: 427-456.
- Jaffré, T. (1980). Etude écologique du peuplement végétal des sols dérivés de roches ultrabasiqes en Nouvelle-Calédonie. Paris, *ORSTOM*.
- Jaffré, T. (1992). Floristic and Ecological diversity of the vegetation on ultramafic rocks in New Caledonia. The Vegetation of Ultramafic (Serpentine) Soils. A. J. M. Baker, J. Proctor and R. D. Reeves. *Intercept Ltd. Andover, U.K.*: 101-107.
- Jaffré, T. (1996). Etude comparative des formations végétales et des flores des roches ultramafiques de Nouvelle-Calédonie et d'autres régions tropicales du monde. *Phytogéographie tropicale, réalités et perspectives*. J. L. Guillaumet, M. Belin and H. Puig. Paris, *ORSTOM*: 137-149.
- Jaffré, T. and M. Latham (1974). Contribution à l'étude des relations sol-végétation sur un massif de roches ultrabasiqes de la côte Ouest de la Nouvelle-Calédonie : le Boulinda. *Adansonia* 14(3): 311-336.
- Jaffré, T., P. Morat, J. M. Veillon and H. S. Mackee (1987). Changements dans la végétation de la Nouvelle-Calédonie au cours du tertiaire : la végétation et la flore des roches ultrabasiqes. *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat., B*,
- Jaffré, T., P. Morat and J. M. Veillon (1993). Etude floristique et phytogéographique de la forêt sclérophylle de Nouvelle-Calédonie. *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat., B, Adansonia, 4è sér.* 15: 107-147.
- Jaffré, T. and J. M. Veillon (1995). Structural and floristic characteristics of a rain forest on schist in New Caledonia : a comparaison with an ultramafic rain forest. *Adansonia*, 1995, 17 (3-4), p. 201-226.
- Jaffré, T., J. M. Veillon and J. C. Pintaud (1997). Comparaison de la diversité floristique des forêts denses humides sur roches ultramafiques et sur substrats différents en Nouvelle-Calédonie. *Ecologie des milieux sur roches ultramafiques et des sols métallifères : actes de la 2ème Conférence internationale sur l'Ecologie des milieux serpentiniqes*. T. Jaffré, R. D. Reeves and T. Becquer. Nouméa, *ORSTOM*: 163-170.
- Jaffré, T., F. Rigault and J. Munzinger (2008). Identification and characterization of floristic groups in dry forests relicts of a West Coast region of New Caledonia. *Pacific Conservation Biology* 14(2): 128-145.
- Jaffré, T. and L. L'Huillier (2010). La végétation des roches ultramafiques ou terrains miniers. *Mines et Environnement en Nouvelle-Calédonie : Les milieux sur substrats ultramafiques et leur restauration*. L. L'Huillier, T. Jaffré and A. Wulff. Nouméa Nouvelle-Calédonie, *Editions IAC*: 45-103.
- Kier, G., H. Kreft, T. M. Lee, W. Jetz, P. L. Ibsch, C. Nowicki, J. Mutke and W. Barthlott (2010). A global assessment of endemism and species richness across island and mainland regions. *PNAS* 106(23): 9322-9327.
- Mittermeier, R. A., P. Robles Gil, M. Hoffman, J. Pilgrim, T. Brooks, C. G. Mittermeier, J. Lamoreux and G. A. B. da Fonseca (2004). *Hotspots Revisted*. Chicago, Chicago University Press.
- Morat, P. (1993). Our knowledge of the flora of New Caledonia: endemism and diversity in relation to vegetation types and substrates. *Biodiversity Letters* 1: 72-81.
- Morat, P., T. Jaffré, J. M. Veillon and H. S. MacKee (1981). Végétation : carte et notice (planche 15). *Atlas de la Nouvelle-Calédonie et Dépendances*. Paris, *ORSTOM*.
- Morat, P., J. M. Veillon and H. S. MacKee (1984). Floristic relationships of New Caledonian rain forest phanerogams. *Biogeography of the Tropical Pacific*. F. J. Radovsky, P. H. Raven and S. H. Sohmer. Honolulu, Bernice P. Bishop Museum.

- Morat, P., T. Jaffré, J. M. Veillon and H. S. MacKee (1986). Affinités floristiques et considérations sur l'origine des maquis miniers de la Nouvelle-Calédonie. *Bull. Mus. Natl. Hist. Nat., B, Adansonia 4è sér.*, 8(2): 133-182.
- Morat, P., T. Jaffré and J. M. Veillon (2001). The flora of New Caledonia's calcareous substrates. *Adansonia*, sér. 3 23(1): 109-127.
- Morat P., T. Jaffré, F. Tronchet, J. Munzinger, Y. Pillon, J. M. Veillon and M. Chalopin (2012). The taxonomic database « FLORICAL » and characteristics of the indigenous flora of New Caledonia. *Adansonia sér. 3 34(1)*: in press.
- Myers, N. (1988). Threatened biotas: "hot spots" in tropical forests. *Environmentalist* 8(3): 187-208.
- Myers, N., R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. B. da Fonseca and J. Kent (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Nasi, R., T. Jaffré and J. M. Sarrailh (2002). Les forêts de montagnes de Nouvelle-Calédonie. *Bois et Forêts des Tropiques* 274: 5-17.
- Pélessier, R., S. Dray, et P. Couteron (2002). User's manual to CA-richness and NSCA-Simpson strategies. Université Claude Bernard-Lyon1, *Topic Documentation of ADE-4 software*, 3.9, 12 pp.
- Pélessier, R., P. Couteron, S. Dray, et D. Sabatier (2003). Consistency between ordination techniques and diversity measurements: two strategies for species occurrence data. *Ecology*, 84(1): 242-251.
- Sarlin, P. (1954). Bois et forêts de la Nouvelle-Calédonie. Nogent-sur-Marne, *Centre Technique Forestier Tropical*.
- Schmid, M. (1967a). Aperçu sur les liaisons entre la composition de la couverture végétale et les caractères pétrographiques des terrains de la partie Nord Occidentale de la Grande Terre (Secteurs Gomen, Koumac, Paagoumène, Arama). *Nouméa, ORSTOM*: 13 p.
- Schmid, M. (1967b). La végétation et les conditions édaphiques en zone intertropicale. *Nouméa, ORSTOM*: 29 p.
- Schmid, M. (1979). Les écosystèmes forestiers mélanésiens (Nouvelle Calédonie, Nouvelles-Hébrides, Fidji et îles Salomon). *Ecosystèmes forestiers tropicaux*. Paris UNESCO. 14: 709-740.
- Thorne, R. F. (1965). Floristic relationships of New Caledonia. *Stud. Nat. Hist. Iowa Univ.* 20: 1-14.
- Thorne, R. F. (1969). Floristic Relationships Between New Caledonia and the Solomon Islands. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 255: 595-602.
- Van Balgooy, M. M. J. (1966). Pacific Plant Maps. *Blumea* (supplement) 5: 190-192.
- Veillon, J. M. (1973). La flore néo-calédonienne. Son originalité, sa vulnérabilité face aux problèmes de dégradation et de pollution. Colloque régional sur la protection de la nature. Récifs et lagons. Actes et communications. Nouméa : *Commission du Pacifique Sud*: 145-150.
- Virot, R. (1951). Associations végétales de la Nouvelle-Calédonie et leur protection. *Journal de la Société des océanistes* 7: 263-269.
- Virot, R. (1956). La végétation canaque. *Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle, Sér. B, Botanique* 7: 1-400.