



Suivi de l'état de santé de la flore des réserves forestières provinciales à proximité de l'usine de Vale Nouvelle-Calédonie

Bilan 2018



Macaranga alchorneoides à Forêt Nord

Vale Nouvelle-Calédonie
Juin 2019

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
1. LES PARCELLES PERMANENTES	3
1.1 Protocole de suivi	3
1.2 Objectifs et indicateurs	3
1.3 Localisation des parcelles permanentes	4
2. MÉTHODE DE SUIVI	7
2.1 Quantification de la structure floristique des parcelles permanentes	7
2.2 Mesures de la santé des plantes	8
2.3 Mesures chimiques du sol, de la litière et des feuilles des espèces communes	9
2.3.1 Analyses chimiques des échantillons	10
2.3.2 Analyses du soufre isotopique	10
2.4 Traitement des données	11
2.5 Fréquence d'échantillonnage et données disponibles	12
3. RÉSULTATS	14
3.1 Diversité floristique des stations	14
3.2 Evolution de l'indice de diversité Shannon Weiner	14
3.3 Structure végétale des parcelles	17
3.3.1 Evolution en diamètres des arbres sur les parcelles permanentes	18
3.4 Santé des parcelles en Forêt-Nord et au Pic du Grand Kaori	20
3.5 Caractéristiques chimiques du sol et de la litière des stations	26
3.6 Analyse de variance (ANOVA) de la teneur en éléments dans le sol, la litière et les espèces communes	36
3.7 Analyse de variance (ANOVA) de la teneur en Azote (N -%) et Soufre (S -%) entre les arbres communs à Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin (<i>Gardenia</i> , <i>Sparattosyce</i>)	50
3.8 Analyse de variance (ANOVA) des changements de teneurs en Soufre Isotopique $\delta^{34}\text{S}$ (‰) des litières à Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin entre 2017 and 2018	51
4. ANALYSE DES RESULTATS	52
4.1 Bilan générale des campagnes de suivies des parcelles permanentes	52
4.2 Diversité des forêts humides en Nouvelle-Calédonie	52
4.3 État de santé de la végétation des parcelles sur Forêt Nord et Pic du Grand Kaori et leurs systèmes de photosynthèse	53
4.4 Evaluation des impacts des cochons sur les Réserves forestières	54
4.5 Evolution de la condition chimique des sols, des litières et des végétaux communs	55
4.5.1 Evolution de la condition chimique des sols	55
4.5.2 Evolution de la condition chimique des litières	57
4.5.3 Evolution de la condition chimique des arbres	59
5. CONCLUSION	61
5.1 Etat de santé des parcelles	61
6. RÉFÉRENCES	63

TABLEAUX

Tableau 1 : Localisation et description des parcelles en Forêt-Nord (FN), au Pic du Grand Kaori (PGK) et au Pic du Pin (PP).....	5
Tableau 2 : Données disponibles pour le suivi des parcelles en 2018	13
Tableau 3 : Nombre individus et d'espèces ainsi que l'indice de diversité Shannon Weiner (H) et l'indice d'Equitabilité (EH) pour les parcelles de la strate arbres et arbustes - Forêt-Nord et Pic du Grand Kaori.....	14
Tableau 4 : Structure des strates arbres et arbustes – Forêt Nord	17
Tableau 5 : Structure des strates arbres et arbustes - Pic du Grand Kaori	17
Tableau 6 : Croissance en diamètre des arbres sur les parcelles à Forêt Nord.	18
Tableau 7 : Croissance en diamètre des arbres sur les parcelles à Pic du Grand Kaori.....	19
Tableau 8 : Fluorimétrie par espèce - Forêt-Nord.....	23
Tableau 9 : Fluorimétrie par espèce - Pic du Grand Kaori	25
Tableau 10 : Caractéristiques chimiques des échantillons de litière et de sol - Forêt-Nord (2007-2018)	26
Tableau 11 : Caractéristiques chimiques des échantillons de litière et de sol - Pic du Grand Kaori (2007-2009).....	27
Tableau 12 : Caractéristiques chimiques des échantillons de litière et de sol - Pic du Pin (2009)	28
Tableau 13 : Teneur foliaire des espèces communes - Forêt-Nord (2007-2018).....	30
Tableau 14 : Teneur foliaire des espèces communes - Pic du Grand Kaori (2007-2018).....	33
Tableau 15 : Teneur foliaire des espèces communes - Pic du Pin (2015- 2018).....	35
Tableau 16 : Les nombres de mesures, de prélèvements et d'analyses chimiques fait pour la campagne de suivi concernant la période janvier 2018 à avril 2018.	52
Tableau 17 : Le nombre d'arbres et arbustes total des parcelles permanentes ayant fait l'objet d'une mesure d'activités photosynthétiques en 2012, 2014, 2016 et 2018.	53
Tableau 18 : Caractéristiques chimiques des sols des formations du Grand massif du Sud (Read <i>et al</i> , 2006) et valeurs moyennes des stations (2007-2017) et 2018.....	56
Tableau 19 : Caractéristiques chimiques des litières des formations du Grand massif du Sud (Read <i>et al</i> , 2006) et valeurs moyennes des stations (2007-2009).....	57
Tableau 20 : Comparaison de la teneur foliaire en 2018 des espèces communes d'arbres avec les valeurs moyennes des espèces forestières et para-forestières décrites par Jaffré <i>et al</i> (1994)	59

FIGURES

Figure 1 :	Localisation des parcelles en Forêt-Nord, au Pic du Grand Kaori et au Pic du Pin	4
Figure 2 :	Mesures de la circonférence des arbres à Forêt Nord avec un ruban forestier	8
Figure 3 :	Plantes numérotées avec dispositif de clip pour les mesures de fluorimétrie	9
Figure 4 :	Mesure de fluorescence chlorophyllienne avec un fluorimètre portatif	9
Figure 5 :	Prélèvement manuel de feuilles pour sélectionner les différents stades de développement sur une échantillon.	9
Figure 6 :	<i>Gardenia aubreyi</i> (haut gauche), <i>Garcinia neglecta</i> (haut droit), <i>Sparattosyce dioica</i> (bas gauche), <i>Xylopi</i> cf. <i>veillardii</i> (bas droit).....	10
Figure 7 :	ANOVA des valeurs de diversité de l'indice de Shannon des placettes des arbustes à Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)	15
Figure 8 :	ANOVA des valeurs de diversité de l'indice de Shannon des placettes des arbustes à Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)	15
Figure 9 :	ANOVA des valeurs de nombre d'espèces d'arbustes des placettes des arbustes à Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)	16
Figure 10 :	ANOVA des valeurs de nombre d'espèces d'arbustes des placettes des arbustes à Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)	16
Figure 11 :	Moyenne et écartypes des mesures de fluorimétrie des strates arbuste et arbres à Forêt Nord entre 2012 et 2018.	20
Figure 12 :	Moyenne et écartypes des mesures de fluorimétrie des strates arbuste et arbres à Forêt Nord entre 2012 et 2018 par parcelle selon l'altitude (m).	20
Figure 13 :	Moyenne et écartypes des mesures de fluorimétrie des strates arbuste et arbres à Pic du Grand Kaori entre 2012 et 2018	21
Figure 14 :	Moyenne et écartypes des mesures de fluorimétrie des strates arbuste et arbres à Pic du Grand Kaori entre 2012 et 2018 par parcelle selon l'altitude (m).	21
Figure 15 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)	36
Figure 16 :	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Forêt-Nord	36
Figure 17 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Pic du Grand Kaori	37
Figure 18 :	ANOVA teneur en Carbone total (S-%) des sols - Pic du Grand Kaori	37
Figure 19 :	ANOVA teneur en Azote total (N %) des sols - Pic du Pin	38
Figure 20 :	ANOVA teneur en Soufre total (S %) des sols - Pic du Pin.....	38
Figure 21 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des litières - Forêt-Nord	39
Figure 22 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des litières - Pic du Grand Kaori	40
Figure 23 :	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des litières - Pic du Grand Kaori	40
Figure 24 :	ANOVA teneur en Azote total (N- %) des litières - Pic du Pin.....	41
Figure 25 :	ANOVA teneur en Soufre total (S- %) des litières - Pic du Pin	41
Figure 26 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Garcinia neglecta</i> (<i>Guttiferae</i>) - Forêt-Nord.....	42
Figure 27 :	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Garcinia neglecta</i> (<i>Guttiferae</i>)- Forêt-Nord.....	42
Figure 28 :	ANOVA teneur en Azote total (N- %) des feuilles de <i>Gardenia aubreyi</i> - Forêt-Nord	43
Figure 29 :	ANOVA teneur en Soufre total (S- %) des feuilles de <i>Gardenia aubreyi</i> - Forêt-Nord...	43
Figure 30 :	ANOVA teneur en Azote total (N- %) des feuilles de <i>Sparattosyce dioica</i> - Forêt-Nord	44
Figure 31 :	ANOVA teneur en Soufre total (S- %) des feuilles de <i>Sparattosyce dioica</i> - Forêt-Nord	44
Figure 32 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Xylopi</i> sp. - Forêt-Nord	45
Figure 33 :	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Xylopi</i> sp. - Forêt-Nord.....	45

Figure 34 :	ANOVA teneur en Azote total (N- %) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> – Pic du Grand kaori	46
Figure 35 :	ANOVA teneur en Soufre total (S- %) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> - Forêt-Nord ..	47
Figure 36 :	ANOVA teneur en Azote total (N - %) des feuilles de <i>Sparattosyce dioica</i> – Pic du Grand Kaori	47
Figure 37 :	ANOVA teneur en Soufre (S- %) des feuilles de <i>Sparattosyce dioica</i> – Pic du Grand Kaori	47
Figure 38 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Garcinia neglecta</i> - Pic du Pin	48
Figure 39 :	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Garcinia neglecta</i> - Pic du Pin....	48
Figure 40 :	ANOVA teneur en Azote (N- %)(gauche) et Soufre (S- %) (droit) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> - Pic du Pin	48
Figure 41 :	ANOVA teneur en Azote (N- %)(gauche) et Soufre (S- %) (droit) des feuilles de <i>Sparattosyce dioica</i> - Pic du Pin	49
Figure 42:	ANOVA teneur en Azote total (N-%) (gauche) et Souffre (S%) (droite) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> entre Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin.	50
Figure 43:	ANOVA teneur en Azote total (N-%) (gauche) et Souffre (S%) (droite) des feuilles de <i>Sparattosyce dioica</i> entre Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin	50
Figure 44:	ANOVA teneurs en Soufre Isotope (S‰) des litières de Pic du Pin.	51
Figure 45:	Trace de fouille ponctuelle recent de cochon sur la parcelle PGK 2 à 250m d'altitude au Pic du Grand Kaori.....	54
Figure 46 :	Traces de fouilles ponctuelles récentes de cochon sur la parcelle PGK 4 à 315 m d'altitude au Pic du Grand Kaori.	54
Figure 47 :	Des colonies de <i>Hachettea austrocaledonica</i> (Balanophoraceae) semblables à des champignons jaunes trouvées en Janvier 2018 sous les pieds des grands arbres et fougères des éboulis de FN2 à Forêt Nord à 243m d'altitude.	55
Figure 48 :	Schéma d'une topo-séquence du Grand Massif du Sud montrant l'emplacement des différents types de sol	56
Figure 49 :	Les teneurs en S total (%) et $\delta^{34}\text{S}$ isotopiques (‰) des litières des parcelles permanentes à Forêt Nord (diamant bleue), Pic du Grand Kaori (carré rouge) et Pic du Pin (Triangle vert).....	58
Figure 50 :	Teneur maximale en soufre (S%) des arbres des espèces communes (avec des valeurs >0,2%) en Forêt-Nord (2007-2018).....	60

INTRODUCTION

Vale Nouvelle Calédonie a mis en œuvre des plans de suivi des milieux vivants qui sont inscrits dans sa démarche pour la protection de la biodiversité. Ainsi, Vale Nouvelle-Calédonie réalise un programme de surveillance des écosystèmes terrestres pour suivre les effets de ses émissions atmosphériques sur la diversité biologique dans sa zone d'influence depuis 2006. Ce programme « suivi de l'état de santé de la végétation » se situe sur les plus grandes parcelles forestières proches de l'usine de Vale Nouvelle Calédonie qui ont un statut de Réserve Naturelle selon le Code de L'environnement (Province Sud).

Des parcelles permanentes ont été installées sur 3 stations de suivi au niveau des forêts humides sempervirentes de basse altitude des Réserves naturelles suivantes :

- Forêt-Nord - (Article 213-2) - Code de L'environnement (Province Sud)
- Pic du Grand Kaori - (Article 213-3) - Code de L'environnement (Province Sud)
- Pic du Pin - (Article 213-4) - Code de L'environnement (Province Sud)

Ces formations forestières de premier ordre ont été sélectionnées de par leur localisation dans la zone d'influence, leur richesse biologique et leur statut de Réserve patrimoniale à l'échelle du Grand Sud.

La surveillance des milieux terrestres au regard des émissions gazeuses industrielles n'a jamais été effectuée en Nouvelle-Calédonie et le programme proposé par Vale Nouvelle-Calédonie représente donc une première en la matière. L'étude de Vale Nouvelle-Calédonie s'appuie sur une méthodologie développée par le Professeur F. Murray de l'université de Murdoch en Australie occidentale. Cette approche a été utilisée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) pour suivre les effets des gaz, notamment industriels, sur la végétation australienne (Mulgrew, A & William, P. 2000). Le protocole est décrit dans les chapitres suivants.

1. LES PARCELLES PERMANENTES

1.1 Protocole de suivi

Vale Nouvelle-Calédonie a fait appel en 2005 au Professeur F. Murray de l'université de Murdoch en Australie occidentale, pour mettre en place une méthode de suivi de la santé des parcelles. Le protocole a pour objectif de fournir les informations nécessaires pour déterminer si les émissions atmosphériques de l'usine ont des effets directs ou indirects sur les formations forestières.

Le protocole se base sur les postulats suivants :

- Le risque d'exposition des arbres aux émissions atmosphériques varie en fonction de la distance par rapport à la source.
- Les polluants de l'air sont absorbés par les végétaux et s'accumulent dans les feuilles. L'analyse foliaire permet d'évaluer cette accumulation et de détecter les éventuelles anomalies physiologiques.

La réserve de la Forêt-Nord est localisée à environ 600 mètres dans le champ proche des sources d'émission atmosphérique de l'usine. Plus éloigné du site industriel, la réserve du Pic du Grand Kaori est situé à environ 5 km, dans le champ éloigné de la zone d'influence des émissions atmosphériques. La réserve du Pic du Pin est placée hors de la zone d'influence du site industriel et a été choisie comme site témoin pour permettre une comparaison des données de suivi des stations de la zone d'influence.

Ces trois formations forestières sont positionnées dans une direction Nord-ouest par rapport au site industriel et sont sous les vents du Sud-est. Ainsi, des parcelles permanentes ont été établies en Forêt-Nord et Pic du Grand Kaori, à proximité du chemin rural n° 7, pour évaluer l'effet des émissions immédiates provenant du trafic routier (poussières, gaz). Les parcelles sont placées en piedmont et en ligne de crête des réserves de Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori afin de détecter les effets potentiels des panaches d'émissions atmosphériques de l'usine dont la progression a été modélisée par la société Katestone en 2007.

1.2 Objectifs et indicateurs

Les objectifs du suivi des réserves depuis 2012 ont été modifiés suite à l'analyse des résultats de 2011 et des recommandations proposées par le Professeur Francis Murray lors de son évaluation en Décembre 2011 (Murray, 2012).

De ce fait, les objectifs de la campagne de surveillance de 2018 présentés dans ce rapport sont les suivant :

- Déterminer tout changement dans la composition des espèces forestières lié directement ou indirectement aux émissions atmosphériques industrielles. L'identification et quantification de la diversité des plantes des parcelles sont importantes pour évaluer l'évolution de la composition végétale.
- Déterminer tout changement dans la structure forestière lié directement ou indirectement aux émissions atmosphériques industrielles. L'impact des émissions atmosphériques peut se traduire par une simplification de la structure des forêts touchant en premier lieu les arbres. Il s'ensuit un éclaircissement et une réduction du nombre d'arbres et arbustes du sous-bois.
- Déterminer tout changement dans la santé des végétaux en lien direct ou indirect avec les émissions atmosphériques industrielles. La mesure de l'activité chlorophyllienne donne des informations sur l'état de stress des plantes dans l'écosystème.

Les mesures de concentration en S, N et métaux dans les feuilles des plantes, la litière et le sol permettent d'évaluer l'apport des polluants atmosphériques et leur absorption à différent niveau. Une analyse d'abondance du taux de soufre isotopique ($\delta^{34}\text{S}$) a été reconduit sur les échantillons de sols, litières et feuilles en 2018 pour mieux quantifier les apports des différents sources naturel et industriel de soufre des échantillons à Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin.

L'évaluation des changements en diversité, structure et état de santé chlorophyllienne en 2018 a focalisées sur les strates canopée d'arbres des parcelles permanentes de 5 x 80m et la strate des arbustes des placettes de 2 x 5m sur Forêt Nord et Pic du Grand Kaori qui sont les premier milieux récepteurs des changements venu des émissions depuis la mise en place des parcelles il y a plus de dix ans. Les dégâts importants de cochons constatés sur régénération des plantules des parcelles permanentes de Pic du Pin signalée en 2011 ont résulté dans l'abandon de mesures de santé sur la régénération sur ses parcelles. Néanmoins, une évaluation photographique a été faite sur la régénération de sous-bois aux parcelles permanentes de Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin pour documenter l'évolution des dégâts liée au cochon selon les milieux et altitudes

1.3 Localisation des parcelles permanentes

Au total, 10 parcelles ont été établies pour suivre l'état de santé de la flore de la Forêt-Nord (FN1, FN2, FN3, FN4), du Pic du Grand Kaori (PGK1, PGK2, PGK3, PGK 4) et du Pic du Pin (PP1, PP2). La localisation et la description de ces parcelles sont présentées à la figure 1 et au tableau 1.

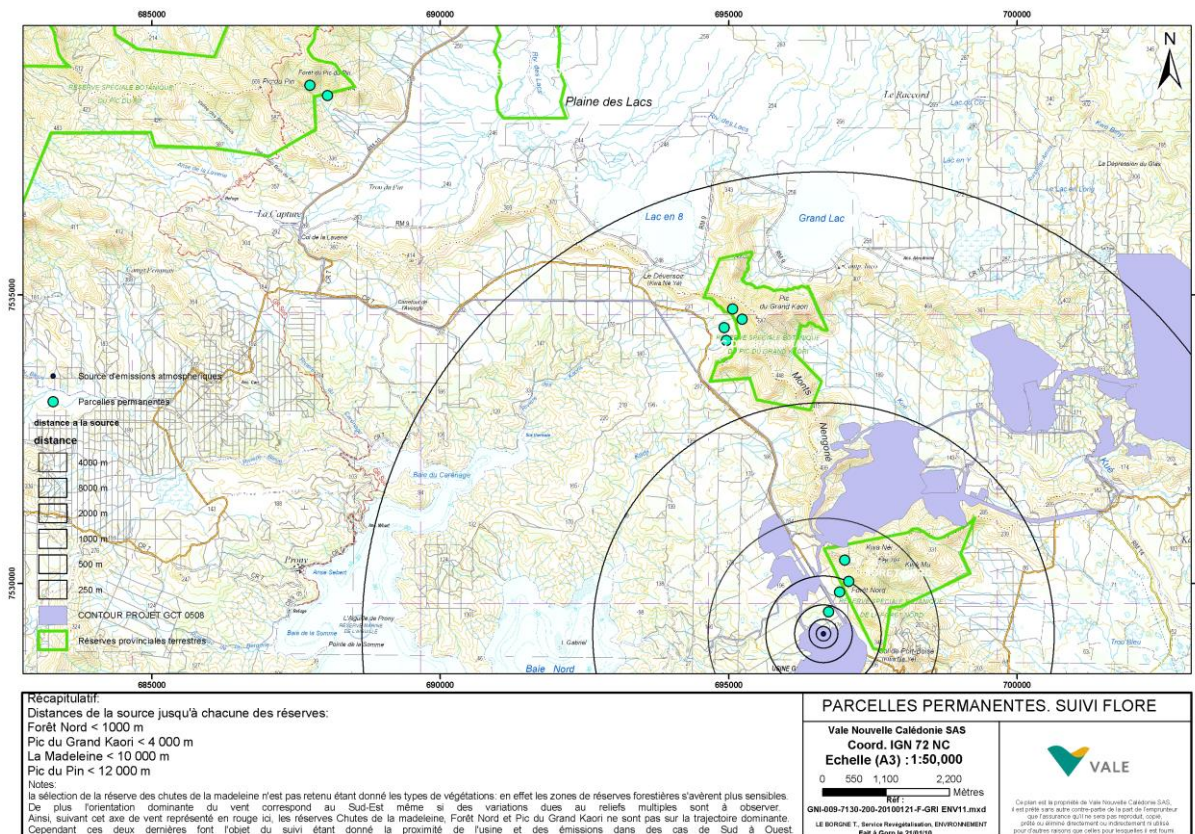


Figure 1 : Localisation des parcelles en Forêt-Nord, au Pic du Grand Kaori et au Pic du Pin

Nom	Position Topo	Altitude	Sol	Type de forêt	IGN 72 Est	IGN 72 Nord	RGNC Latitude	RGNC Longitude
FN1	Plaine	185m	Colluviale	Forêt Humide	696913	7529857	494280.700502	208621.914826
FN2	Piedmont	243m	Colluviale /éboulis	Forêt humide	697074	7530039	494437.801372	208809.148578
FN3	Pente	287m	Eboulis	Forêt humide à <i>Macaranga alc</i>	696979	7530409	494367.517709	209174.913238
FN4	Plaine	179m	Eboulis	Forêt humide à <i>Araucaria nem</i>	696726	7529511	494096.469222	208276.212386
PGK1	Plaine	240m	Colluviale	Forêt Humide à <i>Arillastrum</i>	694956	7534216	492293.373754	212968.095453
PGK2	Piedmont	250m	Colluviale/éboulis	Forêt Humide	694913	7534434	492253.672788	213189.7478
PGK3	Pente	330m	Eboulis	Forêt Humide	695226	7534577	492561.699401	213334.511953
PGK 4	Crete	315m	Eboulis	Forêt Humide	695064	7534758	492397.636887	213510.292511
PP1	Plaines	299m	Colluviale	Forêt Humide à <i>Nothofagus</i>	688460	7538653	485348.325723	217157.849409
PP2	Piedmont	313m	Colluviale	Forêt Humide	688385	7539456	485040.4024	217332.852416

Tableau 1 : Localisation et description des parcelles en Forêt-Nord (FN), au Pic du Grand Kaori (PGK) et au Pic du Pin (PP)

2. MÉTHODE DE SUIVI

2.1 Quantification de la structure floristique des parcelles permanentes

Quantification de la composition floristique et indice de diversité

Toutes les plantes étiquetées sur les placettes de 5 x 2m des arbustes et les parcelles de 5 x 80m d'arbres ont été identifiées selon la matière végétale disponible. Des échantillons végétatifs adultes (stériles ou fertiles) ont été vérifiés sur les parcelles par rapport aux noms retenus lors de la première collection de référence en 2007 des parcelles comparée dans l'herbier de l'IRD à Nouméa.

Les informations sur la composition floristique des parcelles ont été ensuite saisies dans une base de données pour générer un indice de diversité. L'indice de diversité adopté est l'indice de Shannon utilisé par Munzinger *et al* (2008) et Ibanez *et al* (2017) pour décrire la diversité taxonomique des formations forestières en Nouvelle-Calédonie. Cet indice permet de quantifier l'hétérogénéité de la biodiversité d'un milieu étudié et donc d'observer une évolution au cours du temps. Les valeurs vont de 0 à 4 en fonction de la diversité biologique croissante.

La formule de Shannon est la suivante :

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

H' : indice de biodiversité de Shannon

i : une espèce du milieu d'étude

p_i : Proportion d'une espèce i par rapport au nombre total d'espèces (S) dans le milieu d'étude (ou Richesse spécifique du milieu), qui se calcule de la façon suivante :

où n_i est le nombre d'individus pour l'espèce

$$p(i) = n_i / N$$

i et N sont l'effectif total

(les individus de toutes les espèces)

Il est possible de choisir arbitrairement la base du logarithme¹ et on trouve donc souvent dans la littérature scientifique *log* ou *log de base 2* à la place de *ln*.

Les valeurs de l'indice Shannon ont été comparées entre les parcelles des stations pour obtenir des valeurs quantitatives de leur biodiversité. Les valeurs de l'indice de Shannon ont été comparée entre ceux calculé des mesures des strates arbustes et arbres en 2018 et ceux lors de la mise en place des parcelles (2006/2007) pour quantifier des changements en diversité.

L'Indice d'équitabilité (EH) a aussi été déterminé pour les parcelles. Cette indice représente le rapport de H' à l'indice maximal théorique dans le peuplement (H_{max}). Cet indice peut varier de 0 à 1, il est maximal quand les espèces ont des abondances identiques dans le peuplement et il est minimal quand une seule espèce domine tout le peuplement. Insensible à la richesse spécifique, l'EH est très utile pour comparer les dominances potentielles entre stations et leur évolution au cours du temps.

Mesures de structure forestière

Les mesures de structure forestière des arbustes et arbres sur les placettes de 2 x 5m et parcelles de 5 x 80 ont été effectuée avec un pied à coulisse gradué en millimètres pour les individus < 10cm de diamètre et un ruban forestier gradué en centimètres pour les individus > 10 cm de diamètre tenu à 1,3m du sol (diamètre au niveau de la poitrine = diameter at breast height; d.b.h). Les informations sur les diamètres des tiges ont été ensuite rassemblées par placette et parcelle pour obtenir des calculs comparatifs de de changement en diamètre depuis le début de la mise en place des mesures à Forêt Nord et à Pic du Grand Kaori.



Figure 2: Mesures de la circonférence des arbres à Forêt Nord avec un ruban forestier

2.2 Mesures de la santé des plantes

Observations

Des maladies, malformations ou attaques d'éléments pathogènes sont observées sur le feuillage des individus étiquetés < 2m de hauteur. Cette évaluation visuelle est aussi faite au sol pour quantifier l'étendu des débris notables (branches, tronc) et les traces de fouilles des cochons sur les parcelles. Les feuilles sont également récoltées par échenilloir télescopique sur les arbres de diamètre > 10cm pour évaluer leur état de santé jusqu'à une hauteur max de 12m dans la canopée. Les informations recueillies ont été saisies dans la base de données et comparées avec les données de suivi annuel pour estimer leur évolution.

Mesures de stress des plantules par fluorescence chlorophyllienne (fluorimétrie)

La fluorescence est observée au niveau des feuilles de toutes les plantes : c'est une conséquence de la transformation par la plante de l'énergie lumineuse en matière végétale. L'émission de la fluorescence varie selon l'état de stress de la plante, et notamment selon ses carences en éléments nutritifs. Le diagnostic de la fluorescence de la plante permet de déterminer son stress.

Une mesure de fluorescence chlorophyllienne a été effectuée sur une feuille de chaque plante sur les placettes de strate arbuste de 5 x 2m et les parcelles d'arbres à Forêt-Nord et Pic du Grand Kaori pour donner une valeur numérique instantanée de leur état de vitalité. L'émission de fluorescence est directement liée au processus de photosynthèse sur lequel se répercute tout état de stress de la plante. La mesure de fluorescence chlorophyllienne est effectuée grâce à un fluorimètre portatif qu'on appelle "PLANT EFFICIENCY ANALYZER", ou PEA meter (Cambridge Scientifique). La mesure est effectuée de la manière suivante :

- **Une surface foliaire test** est placée dans l'obscurité par un « clip » durant 15 minutes. Sur le plan physiologique cette opération supprime la photosynthèse.
- **Un flash lumineux** est ensuite envoyé sur la surface test. L'énergie lumineuse excédant les possibilités de collecte des systèmes de photosynthèse est alors réémise sous forme de fluorescence, selon une cinétique particulière et numérisée par l'appareil (courbe de fluorescence).

La valeur numérique d'une plante saine est d'environ 0,8 et diminue en cas de stress (Krauss & Weiss, 1991; Kupper *et al*, 1996).



Figure 3 : Plantes numérotées avec dispositif de clip pour les mesures de fluorimétrie



Figure 4 : Mesure de fluorescence chlorophyllienne avec un fluorimètre portable

2.3 Mesures chimiques du sol, de la litière et des feuilles des espèces communes

Critères et techniques de prélèvement

5 échantillons de 100 grammes de sol et de litière sont récupérés de manière aléatoire à l'intérieur de chaque parcelle afin d'avoir une bonne représentation de l'hétérogénéité chimique de ces milieux. La litière est prélevée en surface et comprend les parties partiellement décomposées mais non minéralisées des végétaux. Une surface de 0 à 10 cm² d'échantillon de sol est ensuite prélevée à l'emplacement des prélèvements de litière sur une profondeur de 5cm. Les prélèvements de sols, de litière et de feuilles pour les analyses chimiques sont effectués à l'extérieur des placettes afin d'éviter tout impact sur les plantes dans un rayon de 10 m autour de chaque parcelle.



Figure 5 : Prélèvement manuel de feuilles pour sélectionner les différents stades de développement sur une échantillon.

5 échantillons de 50 grammes de feuilles à différent stades de développement sont récoltés sur 5 arbres des deux espèces d'arbres communs de chaque parcelle (figure 5). Ces prélèvements sont réalisés sur des arbres mesurant 6 à 12 m de haut à l'aide d'un échenilloir télescopique afin d'évaluer l'état de santé de la strate canopée et échantillonner cette milieu récepteur pour des éventuelles signes d'émissions atmosphériques. Les espèces retenues pour l'échantillonnage foliaire à Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin sont *Gardenia aubreyi*, *Garcinia neglecta*, *Sparattosyce dioica* et *Xylopia vieillardii* (figure 6) sont communs dans les canopées (Munzinger *et al*, 2008).



Figure 6 : *Gardenia aubreyi* (haut gauche), *Garcinia neglecta* (haut droit), *Sparattosyce dioica* (bas gauche), *Xylopia cf. veillardii* (bas droit).

2.3.1 Analyses chimiques des échantillons

Les échantillons séchés à 50°C pendant 4 jours sont envoyés au Laboratoire des analyses chimiques de l'Université de Queensland (Center for Minesite Rehabilitation) en Australie pour prétraitement et analyses chimiques. Le prétraitement consiste de broyer les échantillons des végétaux et sols à une granulométrie <500 microns. Les échantillons des végétaux sont ensuite dissous par microonde avant leur analyse. Les teneurs en métaux, Ca, Mg, Na, P, K et S totales sont fait avec un ICP-AES (Perkin Elmer Optima 8300 DV). Les teneurs totaux en azote et le carbone des échantillons de sol et végétaux ont été évaluée avec un LECO Truspec.

2.3.2 Analyses du soufre isotopique

Les rapports isotopiques stables de ^{34}S dans des échantillons solides sont mesurés à l'aide d'un spectromètre de masse de rapport isotopique Thermo Delta XP+. Les échantillons sont brûlés à 1150 ° C dans un réacteur. Immédiatement après la combustion, les gaz d'échantillonnage sont réduits à 880 ° C puis traversent un réacteur maintenu à 900 ° C. Le SO_2 et le CO_2 sont ensuite séparés par purge et piège, ce qui permet une séparation complète et une focalisation maximale. Après séparation, le piège d'adsorption SO_2 est chauffé et l'échantillon SO_2 passe directement au spectromètre de masse du rapport isotopique (Thermo Delta plus XP) pour la mesure. Au cours de l'analyse, les échantillons sont intercalés avec des répliques de matériaux de référence de laboratoire

pour surveiller et permettre la correction de toute variation potentielle de la dérive et de la linéarité. Les valeurs finales de $\delta^{34}\text{S}$ sont obtenues après ajustement des mesures provisoires de sorte que des valeurs correctes de $\delta^{34}\text{S}$ pour les matériaux d'assurance qualité de laboratoire sont obtenues. Les matériaux de référence de laboratoire ont été étalonnés directement en fonction des normes NIST. La reproductibilité à long terme est de $\pm 0.4 \text{ ‰}$ (Technical report Therma Delta XP+, 2014)

2.4 Traitement des données

Les mesures concernant la diversité et la structure (nombre), la santé (fluorimétrie) et les conditions chimiques des parcelles et placettes répliquées selon les recommandations du rapport Murray (2004) ont généré une base de données conséquente sur l'état de santé initial des stations. Cette information est présentée sous forme de tableau de synthèse par forêt composé de données exprimées en moyennes et en écarts-types selon l'altitude de la parcelle. Des moyennes et écarts-types sont choisis pour mieux décrire la variabilité des mesures entre parcelles et effectuer des comparaisons entre stations. Les tableaux de synthèse sont les suivants :

- Synthèse du nombre d'individus par strate pour la Forêt-Nord et le Pic du Grand Kaori.
- Synthèse de la diversité pour les placettes strate arbuste et les parcelles arbres pour la Forêt-Nord et le Pic du Grand Kaori.
- Synthèse du changement en diamètre des arbres à la Forêt-Nord et au Pic du Grand Kaori depuis la mise en place des parcelles et 2018.
- Synthèse de la santé (fluorimétrie) par espèce pour la Forêt-Nord et le Pic du Grand Kaori.
- Synthèse de la teneur des éléments des sols et litières échantillonnées sur la Forêt-Nord et le Pic du Grand Kaori et Pic du Pin.
- Synthèse de la teneur en éléments dans les feuilles des espèces échantillonnées la Forêt-Nord (2007-2018), Pic du Grand Kaori (2007-2018) et Pic du Pin (2015-2018).

Des analyses de variance multifactorielle (MANOVA) ont été appliquées aux bases de données avec le logiciel statistique JMP3 ou EXCELSTAT sur les mesures de nombre, de fluorimétrie et les analyses chimiques (sol, litière et feuilles). Les résultats de ces analyses sont présentés sous forme de graphiques pour les données comportant des différences significatives de la strate, l'année ou l'altitude. Les traitements statistiques effectués sont les suivants :

- Comparaison du changement de diversité selon l'indice de Shannon des strates arbustes et arbres de Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori entre leur mise en place des parcelles et 2018 MANOVA
- Comparaison du changement en nombre d'espèces d'arbustes des parcelles permanentes de Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori entre leur mise en place des parcelles et 2018 MANOVA
- Comparaison de la santé (fluorimétrie) par strate pour la Forêt-Nord et le Pic du Grand Kaori.
- Comparaison des teneurs en N % et S % des sols de Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori entre 2007 (T0) et 2018 MANOVA
- Comparaison des teneurs par élément en N % et S % des sols de Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori, selon l'altitude. MANOVA
- Comparaison des teneurs en N% et S% des sols de Pic du Pin entre 2009 et 2017. MANOVA
- Comparaison des teneurs en N% et S % des litières de Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori entre 2007 (T0) et 2018 MANOVA
- Comparaison des teneurs en N% et S% des litières de Pic du Pin entre 2009 et 2017. MANOVA
- Comparaison des teneurs en N% et S % des litières de Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori selon l'altitude. MANOVA
- Comparaison des teneurs en N% et S % dans les feuilles des espèces communes en Forêt-Nord du Pic et du Grand Kaori entre 2007 (T0) et 2018 MANOVA

- Comparaison des teneurs en N% et S% dans les feuilles des espèces communes de Pic du Pin entre 2015 et 2018 MANOVA.
- Comparaison des teneurs en N% et S% dans les feuilles des arbres de *Gardenia aubreyi* et *Sparattosyce dioica* communes aux parcelles permanentes entre Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin.

2.5 Fréquence d'échantillonnage et données disponibles

Le protocole établi selon les recommandations de Murray (2005) a été mis en place en novembre 2006 en Forêt-Nord et 2007 à Pic du Grand Kaori. Cette mise en œuvre a permis d'évaluer la durée et les moyens techniques nécessaires au suivi des parcelles. Le retour d'expérience du suivi de 2015/2016 de l'identification et la mesure de l'activité photosynthétique des parcelles à Forêt Nord et à Pic du Grand Kaori ont montré que il n'y avait ni de dégradation de l'état de santé photosynthétique des plantes et arbres des parcelles et placette ni mortalités avérées.

Vu que les mesures physiques sur les strates plantes et plantules sont délicates car sur des petites espaces de 1m² ou 4m² avec une concentration de plantes, la manipulation ou piétinement peut engendrer des dégâts des placettes indépendamment des impacts d'émission industrielle évalués. L'apparition de dégâts des cochons sur les placettes de sous-bois du Pic du Grand Kaori signalé en 2016 ainsi qu'aux dégâts des cyclones (Cook) et la sécheresse (Mai à Novembre) en 2017 ont orienté le suivi en 2018 à focaliser sur les mesures d'arbres et arbustes à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori pour :

- donner des informations sur l'évolution de leur croissance depuis la mise en place des parcelles permanentes il y a plus de 10 ans et
- l'état de santé chlorophyllienne de ses milieux qui sont les premiers récepteurs des effets des émissions atmosphériques.

Les dégâts des cochons encore trop importants en 2018 sur les sous-bois de Pic du Pin ont obligé à limiter l'évaluation de l'état de santé à l'évolution chimique de ses milieux pour les comparer à les autres Réserves forestières.

L'analyse des teneurs en soufre isotopique des sols et litière ont été maintenues malgré leurs résultats variables pour confirmer les tendances.

Le tableau ci-dessous synthétise les données disponibles pour le suivi réalisé sur les parcelles pour la campagne de 2018.

Mesures ou analyses	FN Total	PGK Total	PP Total
Nombre de placettes et parcelles évaluées	36	36	
Nombre de arbres/arbustes mesurée évalué pour état santé visuel (maladies, dépérissement)	630	920	
Nombre de mesures d'activité chlorophyllienne	501	753	
Nombre d'échantillons de sols prélevées	20	20	10
Nombre d'éléments analysée (sol) (N, P, K, S, Ca, Mg, Mn, Na, Fe, Cr, Co, Ni, Al, Si, Zn, CEC, pH)	340	340	170
Nombre échantillons sol analysée pour soufre isotopique	4	4	2
Nombre d'échantillons de litières prélevées	20	20	10
Nombre d'éléments analysée (litières)(N, P, K, S, Na, Ca, Mg, Mn)	180	180	90
Nombre échantillons litière analysée pour soufre isotopique	10	10	5
Nombre d'espèces prélevées pour analyses foliaires	8	8	4
Nombre d'échantillons de feuilles prélevées dans la canope des arbres	40	40	20
Nombre d'éléments analysée (feuilles) (N, P, K, S, Na, Ca, Mg, Mn)	180	180	90
Total mesures ou analyses par Forêt	1835	2377	352

Tableau 2 : Données disponibles pour le suivi des parcelles en 2018

3. RÉSULTATS

3.1 Diversité floristique des stations

Forêt	Parcelle	Altitude	Substrat	Strate	Indice Shannon-Weiner	Ecartype	Equitabilité	Ecartype	N°arbres/arbustes	N° Espèce	Espèces communs
Forêt Nord	FN4	179m	Colluviale de plaine	Canopée	3,36		0,90		42	31	<i>Sarcomelicope simplicifolia</i> , <i>Agathis lanceolata</i>
				Arbuste	2,31	0,29	0,75	0,10	23	13	<i>Cleistanthus stipitatus</i> , <i>Archidendropsis granulosa</i>
	FN1	185m	Colluviale de plaine	Canopée	2,62		0,67		50	27	<i>Dysoxylum rufescens</i> var <i>dzumacensis</i> , <i>Syzygium crucigera</i>
				Arbuste	2,41	0,24	0,77	0,10	26	15	<i>Cleistanthus stipitatus</i> , <i>Cupaniopsis oedipoda</i> cf.
	FN2	243m	Eboulis de piedmont	Canopée	2,23		0,76		19	11	<i>Macaranga alchorneoides</i> , <i>Schefflera reginae</i>
				Arbuste	1,63	0,41	0,74	0,08	10	6	<i>Ficus nitidifolia</i> , <i>Macaranga alchorneoides</i>
	FN3	289m	Eboulis de pente	Canopée	3,14		0,80		52	31	<i>Calophyllum caledonicum</i> , <i>Garcinia neglecta</i>
				Arbuste	2,27	0,46	0,81	0,07	19	12	<i>Meryta coriacea</i> , <i>Garcinia neglecta</i>
Pic du Grand Kaori	FGK1	240m	Colluviale de plaine	Canopée	3,02		0,78		48	18	<i>Cordia sp. jaffrei</i> , <i>Apodytes clusifolia</i>
				Arbuste	2,44	0,56	0,85	0,05	20	14	<i>Alphitonia neocaledonica</i> , <i>Ochrosia balansae</i>
	FGK2	250m	Eboulis de piedmont	Canopée	3,19		0,83		46	30	<i>Cordia jaffrei</i> , <i>Archidendropsis granulosa</i>
				Arbuste	2,60	0,41	0,87	0,06	21	16	<i>Guettarda eximia</i> , <i>Meryta coriacea</i>
	FGK4	315m	Eboulis de pente	Canopée	3,13		0,85		39	25	<i>Calophyllum caledonicum</i> , <i>Sparattocyclops dioica</i>
				Arbuste	2,37	0,28	0,93	0,06	14	12	<i>Fissistigma punctulatum</i> , <i>Cryptocarya sp.</i>
	FGK3	330m	Eboulis de pente	Canopée	3,27		0,84		48	30	<i>Spiraeanthemum meridionale</i> , <i>Sparattosyce dioica</i>
				Arbuste	2,60	0,44	0,86	0,08	21	16	<i>Archidendropsis granulosa</i> , <i>Bocquillonia rhomboidea</i>

Tableau 3 : Nombre individus et d'espèces ainsi que l'indice de diversité Shannon Weiner (H) et l'indice d'Equitabilité (EH) pour les parcelles de la strate arbres et arbustes - Forêt-Nord et Pic du Grand Kaori.

L'évaluation de l'indice de diversité de Shannon et Equitabilité sont présentée dans le tableau 3 pour Forêt Nord et Pic du Grand Kaori. Les valeurs de l'indice de diversité Shannon Weiner (H), de l'indice d'Equitabilité (EH) de nombre d'individus et de nombre d'espèce pour chaque parcelle « strate arbuste » sont la moyenne des placettes pour montrer la variabilité des sous-bois. Les inventaires floristiques des parcelles indiquent qu'en général celles du Pic du Grand Kaori contiennent plus d'espèces que celles de la Forêt-Nord. Cette différence est marquante pour la strate d'arbres >1 cm<10cm dbh qui est en général deux fois plus riche en espèces au Pic du Grand Kaori. A l'échelle des stations, les valeurs du nombre d'espèces, les indices de Shannon-Weiner et d'Equitabilité montrent plusieurs tendances.

Pour la station de Forêt-Nord ces tendances sont les suivantes :

- La diversité, le nombre d'espèce et le nombre d'individus sont plus élevés sur les parcelles (FN4 et FN1) des zones colluviales hors périmètre de la Réserve de Forêt-Nord que sur les parcelles sur piedmont à des altitudes supérieures qui contiennent des affleurements d'éboulis.
- L'indice de Shannon-Weiner de la parcelle FN2 est moins élevé pour la strate arbuste que sur les autres parcelles en raison de la présence d'un grand nombre de *Macaranga alchorneoides*, ce qui est quasiment mono-spécifique sur ses sols d'éboulis.

Pour la station du Pic du Grand Kaori :

- Les différences de diversité, de nombre d'individus indice de Shannon Weiner et d'Equitabilité selon l'altitude sont moins apparentes qu'à Forêt-Nord.
- La diversité de la strate arbuste de FGK3 est plus bas que les autres parcelles et plus homogène sur les placettes comme témoigne le faible nombre espèce et individus et la valeur d'equitabilité plus proche de 1.

3.2 Evolution de l'indice de diversité Shannon Weiner

Une analyses de variance a été appliquée sur les valeurs de l'indice de diversité Shannon Weiner des placettes répliquées des strates arbuste de chaque forêt et comparées aux données d'origine lors de la mise en place des suivis afin d'évaluer si des différences significative été quantifiables à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori en 2018.

ANOVA des indices Shannon des parcelles sur Forêt Nord et à Pic du Grand Kaori

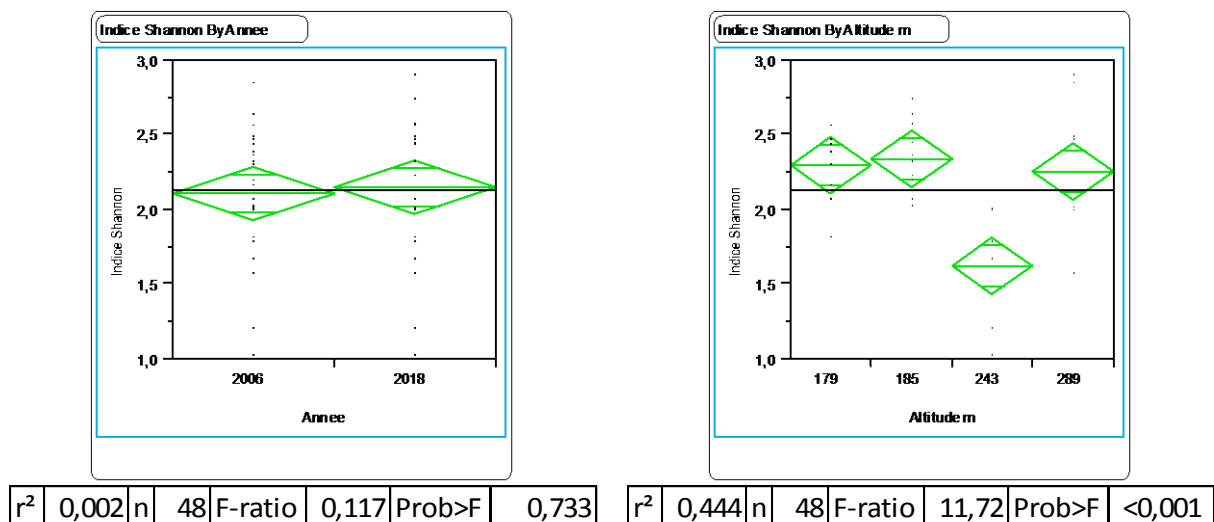


Figure 7 : ANOVA des valeurs de diversité de l'indice de Shannon des placettes des arbustes à Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

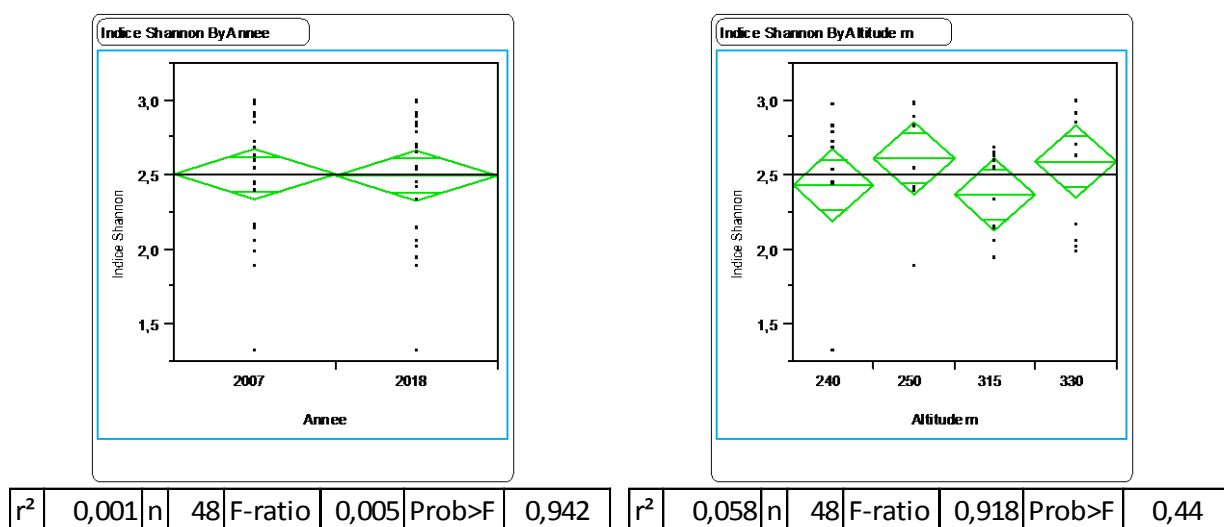
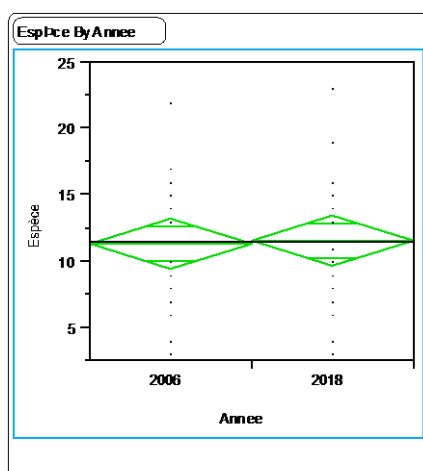
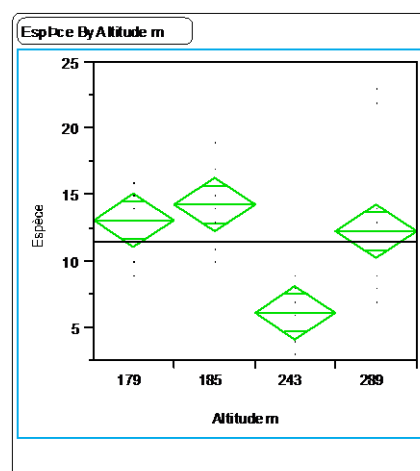


Figure 8 : ANOVA des valeurs de diversité de l'indice de Shannon des placettes des arbustes à Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

ANOVA des nombre d'espèces d'arbustes rencontrées sur les placettes à Forêt Nord et a Pic du Grand Kaori

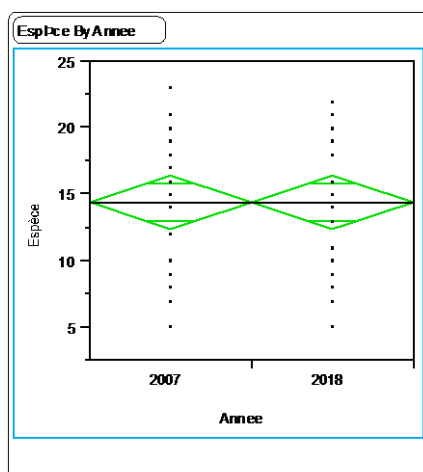


r^2	0,002	n	48	F-ratio	0,024	Prob>F	0,877
-------	-------	---	----	---------	-------	--------	-------

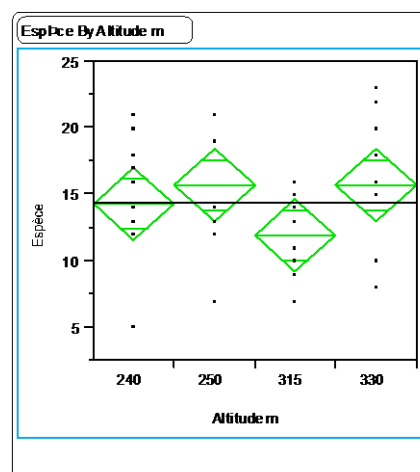


r^2	0,468	n	48	F-ratio	12,94	Prob>F	<0,001
-------	-------	---	----	---------	-------	--------	--------

Figure 9 : ANOVA des valeurs de nombre d'espèces d'arbustes des placettes des arbustes à Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)



r^2	0,0002	n	48	F-ratio	0,008	Prob>F	0,977
-------	--------	---	----	---------	-------	--------	-------



r^2	0,101	n	48	F-ratio	1,649	Prob>F	0,191
-------	-------	---	----	---------	-------	--------	-------

Figure 10 : ANOVA des valeurs de nombre d'espèces d'arbustes des placettes des arbustes à Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

3.3 Structure végétale des parcelles

Diamètre des arbres et arbustes à Forêt Nord

Parcelle	FN4	FN1	FN2	FN3
Altitude (m)	179	185	243	287
Arbres N° total	42	50	19	52
Circonférence max (cm)	153,7	132	377	155,7
Diamètre moyenne (cm)	18,01	18,83	40,35	16,43
Ecartype (cm)	8,75	8,94	32,24	8,30
Arbustes N° total	137	153	65	113
Diamètre moyenne (cm)	2,05	1,55	1,91	3,00
Ecartype (cm)	1,52	0,89	1,23	1,64

Tableau 4 : Structure des strates arbres et arbustes – Forêt Nord

Diamètre des arbres et arbustes à Pic du Grand Kaori

FGK	FGK1	FGK2	FGK4	FGK3
Altitude (m)	240	250	315	330
Arbres N° total	47	44	38	47
Circonférence max (cm)	176,4	129,2	186,5	125,6
Diamètre moyenne (cm)	22,55	20,13	22,87	19,17
Ecartype (cm)	9,77	8,38	11,73	7,03
Arbustes N° total	107	100	80	119
Diamètre moyenne (cm)	1,70	2,64	2,07	1,97
Ecartype (cm)	1,07	1,67	1,22	1,14

Tableau 5 : Structure des strates arbres et arbustes - Pic du Grand Kaori

L'ensemble des diamètres en moyenne des arbres sur les 4 parcelles permanentes de forêt Nord de 5 x 80 m sont présentés sur le tableau ci-dessous. Les mesures concernent les arbres > 10cm de diamètre (mesuré à 1,22m du sol).

Tableau 6 : Croissance en diamètre des arbres sur les parcelles à Forêt Nord.

Diametre moyenne (cm) des arbres > 10cm dbh des parcelles permanentes											
Espèce	2007	2008	2018	Augmentation en 11 ans (cm)	Augmentation par an (cm)	Espèce	2007	2008	2018	Augmentation en 11 ans (cm)	Augmentation par an (cm)
<i>Agathis lanceolata</i>						<i>Gastrolepis austrocaledonica</i>					
FGK1 (Sol colluvionaire)	11,46	12,25	12,89	1,43	0,13	FGK1 (Sol colluvionaire)	22,76	23,08	23,52	0,76	0,07
FGK3 (Eboulis de pente)	35,65	33,42	36,61	0,95	0,09	FGK2 (Eboulis de pente)	40,43	40,58	41,13	0,70	0,06
<i>Alphitonia neocaledonica</i>						FGK3 (Eboulis de pente)	74,80		78,62	3,82	0,35
FGK2 (Eboulis de pente)	15,60	15,77	14,71	-0,89	-0,08	FGK4 (Eboulis de pente)	53,32	52,20	53,85	0,53	0,05
<i>Apodytes clusifolia</i>						<i>Geissos sp</i>					
FGK1 (Sol colluvionaire)	13,05	13,37	13,53	0,48	0,04	FGK1 (Sol colluvionaire)	17,83	17,83	17,51	-0,32	-0,03
FGK2 (Eboulis de pente)	14,32	14,55	14,80	0,48	0,04	<i>Guettarda eximia</i>					
FGK4 (Eboulis de pente)	25,46	27,06	26,55	1,08	0,10	FGK2 (Eboulis de pente)	11,46	11,84	11,84	0,38	0,03
<i>Archidendropsis granulosa</i>						FGK3 (Eboulis de pente)	14,09	14,24	13,95	-0,13	-0,01
FGK2 (Eboulis de pente)	17,61	17,73	18,26	0,65	0,06	<i>Guettarda sp.</i>					
FGK3 (Eboulis de pente)	21,49	21,57	22,30	0,81	0,07	FGK1 (Sol colluvionaire)		10,82		0,00	0,00
<i>Aristlastrum gummiferum</i>						FGK3 (Eboulis de pente)	11,06	12,25		-11,06	-1,01
FGK1 (Sol colluvionaire)	49,34	46,95	51,90	2,56	0,23	<i>Guiaa glauca</i>					
<i>Austrobusxus pauciflorus</i>						FGK2 (Eboulis de pente)	12,73	11,14		-12,73	-1,16
FGK3 (Eboulis de pente)	18,14	18,94	18,91	0,76	0,07	<i>Hibbertia lucens</i>					
FGK4 (Eboulis de pente)	19,42	19,74	20,05	0,64	0,06	FGK1 (Sol colluvionaire)			22,92	22,92	2,08
<i>Balanops sp.</i>						FGK2 (Eboulis de pente)	25,70	25,92	25,62	-0,08	-0,01
FGK4 (Eboulis de pente)	11,14	11,78	11,71	0,57	0,05	FGK3 (Eboulis de pente)			35,97	35,97	3,27
<i>Basselinia pancheri</i>						<i>Hibbertia sp</i>					
FGK2 (Eboulis de pente)	11,46	12,10	11,94	0,48	0,04	FGK1 (Sol colluvionaire)	27,69	27,69	33,68	5,98	0,54
<i>Beauprea montana</i>						<i>Homalium sp.</i>					
FGK2 (Eboulis de pente)	18,14	18,53	17,83	-0,32	-0,03	FGK4 (Eboulis de pente)	12,41	12,65	13,03	0,62	0,06
<i>Beauprea sp.</i>						<i>Myadocarpus fraxinifolius</i>					
FGK2 (Eboulis de pente)	13,05	13,43	13,59	0,54	0,05	FGK1 (Sol colluvionaire)			12,32	12,32	1,12
FGK3 (Eboulis de pente)	14,64	15,02	17,00	2,36	0,21	FGK3 (Eboulis de pente)			13,68	13,68	1,24
<i>Calophyllum caledonicum</i>						<i>Myadocarpus involvcratus</i>					
FGK3 (Eboulis de pente)	31,19	31,43	32,37	1,18	0,11	FGK4 (Eboulis de pente)	19,74		21,01	1,27	0,12
FGK4 (Eboulis de pente)	17,07	17,15	17,45	0,38	0,03	<i>Ochrosia sp</i>					
<i>Cerberiopsis candelabra</i>						FGK1 (Sol colluvionaire)	21,33	21,33	21,74	0,41	0,04
FGK2 (Eboulis de pente)	30,72	31,11	32,91	2,20	0,20	FGK3 (Eboulis de pente)	17,43	18,38	17,44	0,02	0,00
<i>Codia jaffrei</i>						<i>Piliocalyx sp</i>					
FGK1 (Sol colluvionaire)	28,83	26,95	28,73	-0,10	-0,01	FGK1 (Sol colluvionaire)		27,37	26,90	26,90	2,45
FGK2 (Eboulis de pente)	19,29	21,47	23,36	4,07	0,37	<i>Planchonella endichleri</i>					
FGK3 (Eboulis de pente)	18,54	19,74	21,87	3,33	0,30	FGK1 (Sol colluvionaire)	17,51	17,83	18,84	1,34	0,12
FGK4 (Eboulis de pente)	13,05	13,18	13,85	0,80	0,07	FGK2 (Eboulis de pente)	12,73	12,73	12,99	0,25	0,02
<i>Cryptocarya sp.</i>						FGK3 (Eboulis de pente)	16,55	16,87	18,37	1,81	0,16
FGK1 (Sol colluvionaire)	15,12	14,01	15,16	0,04	0,00	FGK4 (Eboulis de pente)	11,78	11,97	12,73	0,95	0,09
FGK2 (Eboulis de pente)	14,01	14,39	15,57	1,56	0,14	<i>Planchonella sp</i>					
FGK3 (Eboulis de pente)	17,83	18,22	18,27	0,45	0,04	FGK2 (Eboulis de pente)	14,96	14,16	15,22	0,25	0,02
FGK4 (Eboulis de pente)	13,05	13,37	14,88	1,83	0,17	FGK3 (Eboulis de pente)	19,18	19,27	19,81	0,64	0,06
<i>Cunonia cf. balansae</i>						<i>Planchonella wakere</i>					
FGK4 (Eboulis de pente)			12,25	12,25	1,11	FGK3 (Eboulis de pente)	24,67	21,80	21,52	-3,15	-0,29
<i>Cunonia sp</i>	21,49	21,52	20,37	-1,11	-0,10	<i>Pleurocalyptus pancheri</i>					
FGK4 (Eboulis de pente)	21,49	21,52	20,37	-1,11	-0,10	FGK2 (Eboulis de pente)	29,92	29,06	29,63	-0,29	-0,03
<i>Cunoniaceae sp</i>						FGK4 (Eboulis de pente)	24,35	24,35	24,83	0,48	0,04
FGK2 (Eboulis de pente)			11,30	11,30	1,03	<i>Polyscias dioica</i>					
<i>Delarbraea sp</i>						FGK3 (Eboulis de pente)	21,01		21,55	0,54	0,05
FGK1 (Sol colluvionaire)		11,78	12,41	12,41	1,13	<i>Polyscias sp</i>					
FGK3 (Eboulis de pente)	13,05	12,25		-13,05	-1,19	FGK2 (Eboulis de pente)	14,80	15,60	15,50	0,70	0,06
<i>Deplanchea speciosa</i>						<i>Rapanea sp</i>					
FGK1 (Sol colluvionaire)	15,28	15,28	14,96	-0,32	-0,03	FGK4 (Eboulis de pente)	19,10	19,74	19,23	0,13	0,01
FGK2 (Eboulis de pente)	11,78	12,51	12,81	1,03	0,09	<i>Rauvolfia balansae</i>					
FGK3 (Eboulis de pente)	28,65	28,65	29,41	0,76	0,07	FGK3 (Eboulis de pente)			11,90	11,90	1,08
FGK4 (Eboulis de pente)	22,28	22,28	22,60	0,32	0,03	<i>Scagea sp</i>					
<i>Diospyros olen</i>						FGK1 (Sol colluvionaire)	14,01	14,01	14,32	0,32	0,03
FGK1 (Sol colluvionaire)	18,78	18,78	18,05	-0,73	-0,07	<i>Schefflera gordonii</i>					
FGK3 (Eboulis de pente)	13,69	14,48	11,57	-2,12	-0,19	FGK4 (Eboulis de pente)	37,56		38,83	1,27	0,12
<i>Diospyros sp.</i>						<i>Schefflera sp</i>					
FGK2 (Eboulis de pente)	10,82	11,46	11,43	0,60	0,05	FGK3 (Eboulis de pente)	11,46	11,78	11,30	-0,16	-0,01
FGK3 (Eboulis de pente)	11,51	11,90	12,92	1,41	0,13	<i>Sebertia acuminata</i>					
<i>Dysoxylum rufescens</i>						FGK1 (Sol colluvionaire)	12,73	14,32	14,64	1,91	0,17
FGK1 (Sol colluvionaire)	19,10	19,10	19,48	0,38	0,03	<i>Sparattosyce dioica</i>					
<i>Elaeocarpus sp.</i>						FGK1 (Sol colluvionaire)	27,37	28,57	29,60	2,23	0,20
FGK1 (Sol colluvionaire)		14,32	17,83	17,83	1,62	FGK2 (Eboulis de pente)	19,10	18,94	19,70	0,60	0,05
FGK4 (Eboulis de pente)	13,05	13,27	13,21	0,16	0,01	FGK3 (Eboulis de pente)	19,47	18,75	18,88	-0,59	-0,05
<i>Elaeocarpus speciosus</i>						FGK4 (Eboulis de pente)	20,61	20,75	21,48	0,86	0,08
FGK3 (Eboulis de pente)	21,17	21,33	16,49	-4,68	-0,43	<i>Spiraeanthemum meridionale</i>					
<i>Elaeocarpus yatenis</i>						FGK2 (Eboulis de pente)	14,96	15,22	15,53	0,57	0,05
FGK4 (Eboulis de pente)	13,69	13,69	13,88	0,19	0,02	FGK3 (Eboulis de pente)	12,96	13,90	14,04	1,09	0,10
<i>Eugenia sp.</i>						<i>Stenocarpus sp</i>					
FGK1 (Sol colluvionaire)		12,73	12,54	12,54	1,14	FGK2 (Eboulis de pente)	14,32	13,69	13,94	-0,38	-0,03
<i>Euroschinus elegans</i>						FGK4 (Eboulis de pente)	33,10		34,70	1,59	0,14
FGK4 (Eboulis de pente)	39,15	32,79		-39,15	-3,56	<i>Styphelia cymbulae</i>					
<i>Euroschinus sp.</i>						FGK2 (Eboulis de pente)	15,60	15,98	17,92	2,32	0,21
FGK1 (Sol colluvionaire)	14,96	14,96	15,44	0,48	0,04	<i>Syzygium multipetalum</i>					
FGK3 (Eboulis de pente)	66,84	70,03		-66,84	-6,08	FGK1 (Sol colluvionaire)	14,96	14,96	15,31	0,35	0,03
<i>Flindersia fourmieri</i>						<i>Syzygium sp</i>					
FGK2 (Eboulis de pente)	12,41	12,76	14,01	1,59	0,14	FGK3 (Eboulis de pente)	23,55	21,96	24,19	0,64	0,06
<i>Garcinia sp.</i>						FGK4 (Eboulis de pente)	23,40	23,32	23,55	0,16	0,01
FGK2 (Eboulis de pente)	38,20	38,20	39,79	1,59	0,14	<i>Virotia neurophylla</i>					
FGK3 (Eboulis de pente)	28,01	28,01	29,22	1,21	0,11	FGK4 (Eboulis de pente)	37,24	37,24	25,31	-11,94	-1,09
FGK4 (Eboulis de pente)	18,14	18,46	27,22	9,07	0,82	<i>Virotia sp</i>					
						FGK4 (Eboulis de pente)	13,37		13,94	0,57	0,05
						<i>Vitex sp</i>					
						FGK3 (Eboulis de pente)	14,16	14,64	21,96	7,80	0,71
						Moyenne total				1,68	0,15

Tableau 7 : Croissance en diamètre des arbres sur les parcelles à Pic du Grand Kaori.

3.4 Santé des parcelles en Forêt-Nord et au Pic du Grand Kaori

Fluorimétrie de la végétation par strate sur les parcelles de la Forêt-Nord

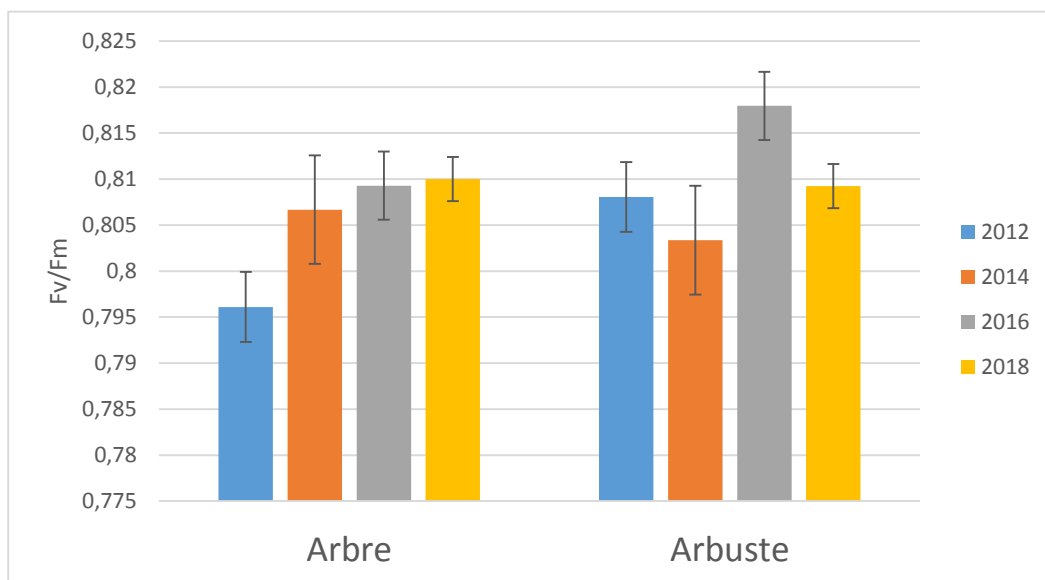


Figure 11 : Moyenne et écartypes des mesures de fluorimétrie des strates arbuste et arbres à Forêt Nord entre 2012 et 2018.

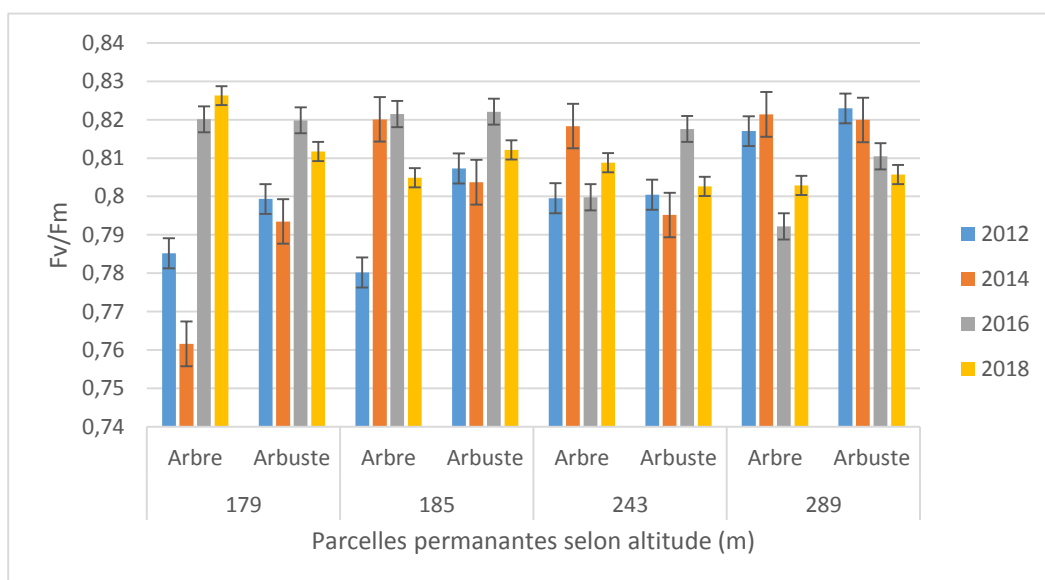


Figure 12 : Moyenne et écartypes des mesures de fluorimétrie des strates arbuste et arbres à Forêt Nord entre 2012 et 2018 par parcelle selon l'altitude (m).

Les mesures de fluorimétrie des parcelles selon la strate de végétation en Forêt-Nord ont montré une végétation en général en bonne santé, avec plusieurs similitudes et différences :

- Pas de changement de l'état de santé du système de photosynthèse par fluorimétrie des arbres entre 2016 et 2018 en Forêt-Nord.
- Une légère diminution l'état de santé du système de photosynthèse par fluorimétrie des arbustes entre 2016 et 2018 en Forêt-Nord.
- Le changement de l'état de santé du système de photosynthèse pour la strate arbuste est entre 2016 et 2018 est plus prononcée sur les parcelles à 185m et 243m d'altitude. Cette différence est certainement liée aux effets résiduels de la sécheresse de 2017 surtout sur FN2 (243m) qui se trouve sur des éboulis sans réserve en eau.

Fluorimétrie de la végétation par strate sur les parcelles du Pic du Grand Kaori

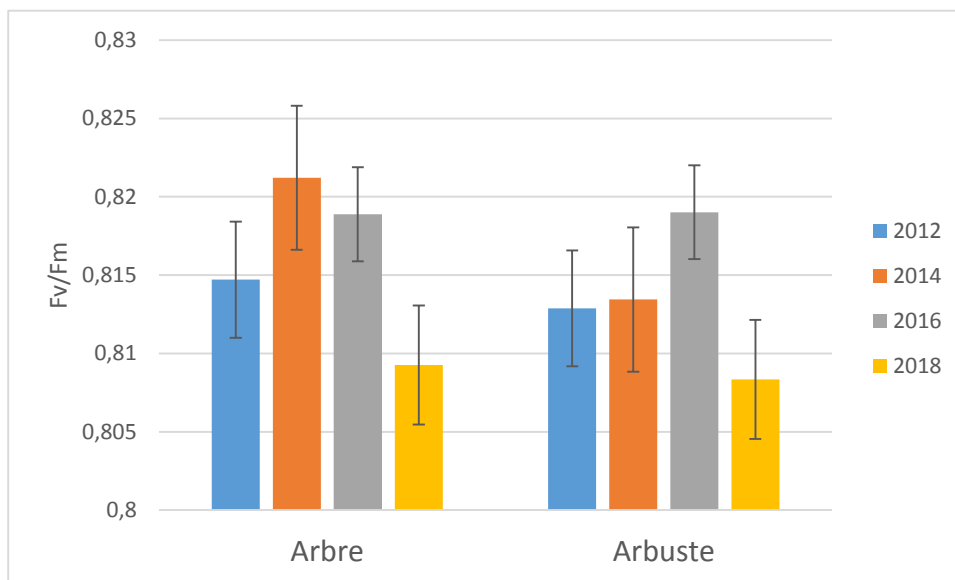


Figure 13 : Moyenne et écartypes des mesures de fluorimétrie des strates arbuste et arbres à Pic du Grand Kaori entre 2012 et 2018

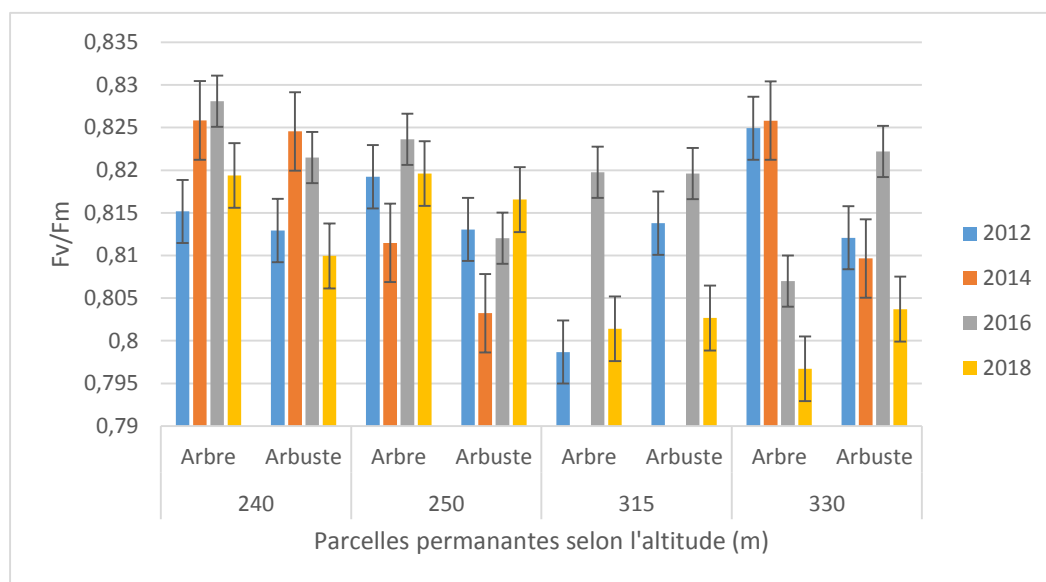


Figure 14 : Moyenne et écartypes des mesures de fluorimétrie des strates arbuste et arbres à Pic du Grand Kaori entre 2012 et 2018 par parcelle selon l'altitude (m).

Les mesures de fluorimétrie des parcelles selon la strate de végétation à Pic du Grand Kaori ont montré une végétation en bonne santé générale (valeurs environs 0,8), avec plusieurs similitudes et différences :

- Une diminution des valeurs de fluorimétrie entre 2016 et 2018 pour les strates arbres et arbustes.
- Diminution de valeurs de l'activité photosynthétique entre 2016 et 2018 plus marquant sur les strates arbres et arbustes des parcelles à 315 et 330m se trouvant sur les fortes pentes. Cette diminution de l'activité mesurée en Février 2018 est certainement liée à un stress hydrique résiduel de la sécheresse de 2017 qui a continué à se manifester en 2018 sur les parcelles se trouvant sur des éboulis.

Fluorimétrie par espèce sur les parcelles de Forêt-Nord (2018)

Genre/Espèce	FN1		FN2		FN3		FN4		Nombre total Ind.	Moyenne FV/FM
	Nombre Ind.	FV/FM	Nombre Ind.	FV/FM	Nombre Ind.	FV/FM	Nombre Ind.	FV/FM		
<i>Agathis lanceolata</i>			1	0,790			2	0,828	3	0,815
<i>Agathis moorei</i>	1	0,813							1	0,813
<i>Alphitonia neocaledonica</i>					1	0,795			1	0,795
<i>Amphorogyne spicata</i>					1	0,803			1	0,803
<i>Apodytes clusifolia</i>					2	0,832			2	0,832
<i>Archidendrops granulosa</i>	1	0,800	5	0,839	2	0,806	5	0,823	13	0,825
<i>Atractocarpus pseudo-terminalis</i>	1	0,815							1	0,815
<i>Atractocarpus sp.</i>	1	0,821					3	0,804	4	0,808
<i>Austrobuxus pauciflorus</i>	1	0,825							1	0,825
<i>Balanops sp.</i>	7	0,800					1	0,818	8	0,802
<i>Basselinia pancheri</i>					1	0,798			1	0,798
<i>Bocquillonina rhomboidea</i>	8	0,810					9	0,811	17	0,810
<i>Calophyllum caledonicum</i>					8	0,802	1	0,783	9	0,800
<i>Canarium oleiferum</i>					1	0,793	3	0,827	4	0,819
<i>Casearia sp.</i>	1	0,807			3	0,803			4	0,804
<i>Cerberiopsis candelabra</i>					4	0,812			4	0,812
<i>Chambeyronia macrocarpa</i>							1	0,791	1	0,791
<i>Chionanthus brachystachys</i>	1	0,810					1	0,794	2	0,802
<i>Cleidion vieillardii</i>							3	0,822	3	0,822
<i>Cleistanthus stipitatus</i>	11	0,823					14	0,816	25	0,819
<i>Codia discolor</i>					2	0,779			2	0,779
<i>Codia jaffrei</i>					2	0,797			2	0,797
<i>Codia sp.</i>					5	0,810			5	0,810
<i>Comptonella sp.</i>							1	0,819	1	0,819
<i>Cordyline neocaledonica</i>	2	0,788	1	0,789	1	0,820	2	0,806	6	0,800
<i>Crossostylis grandiflora</i>	2	0,823	2	0,741					4	0,782
<i>Cryptocarya sp.</i>	9	0,781	2	0,788	1	0,769	16	0,801	28	0,793
<i>Cupaniopsis macrocarpa</i>	1	0,799							1	0,799
<i>Cupaniopsis oedipoda</i>	1	0,736							1	0,736
<i>Cupaniopsis sp.</i>	25	0,812	1	0,802	2	0,799	1	0,803	29	0,810
<i>Cyphokentia macrostachya</i>							1	0,825	1	0,825
<i>Delarbrea sp.</i>							2	0,797	2	0,797
<i>Deplanchea speciosa</i>					2	0,819			2	0,819
<i>Diospyros olen</i>							3	0,800	3	0,800
<i>Diospyros sp.</i>	1	0,836			5	0,802	2	0,817	8	0,810
<i>Dysoxylum minutiflorum</i>	4	0,796							4	0,796
<i>Dysoxylum rufescens</i>							1	0,844	1	0,844
<i>Dysoxylum rufescens subs</i>	3	0,814							3	0,814
<i>Dysoxylum sp.</i>			1	0,780	8	0,816	1	0,820	10	0,813
<i>Elaeocarpus sp.</i>	1	0,809							1	0,809
<i>Elaeocarpus yateensis</i>					2	0,804			2	0,804
<i>Euroschinus sp.</i>					3	0,810			3	0,810
<i>Ficus cf. prolixa</i>			1	0,826					1	0,826
<i>Ficus dzumacense</i>			1	0,844					1	0,844
<i>Ficus habrophylla</i>			1	0,807					1	0,807
<i>Ficus sp.</i>	1	0,819	9	0,807	4	0,802			14	0,806
<i>Flindersia fourrieri</i>							1	0,821	1	0,821
<i>Garcinia balansae</i>	1	0,816	1	0,793	1	0,786			3	0,798
<i>Garcinia neglecta</i>	2	0,804	1	0,783	5	0,813			8	0,807
<i>Garcinia sp.</i>	6	0,786	3	0,774	10	0,795	3	0,816	22	0,793
<i>Gardenia aubryi</i>					2	0,798	4	0,815	6	0,809
<i>Geissois pruinosa</i>							1	0,835	1	0,835
<i>Geissois sp.</i>							2	0,831	2	0,831
<i>Guettarda sp.</i>	5	0,806							5	0,806
<i>Guettarda wagapensis</i>	1	0,829					3	0,813	4	0,817
<i>Gymnostoma sp.</i>							1	0,854	1	0,854
<i>Halfordia kendac</i>							2	0,833	2	0,833
<i>Hedycarya parviflora</i>	1	0,760							1	0,760
<i>Hibbertia pancheri</i>					1	0,814			1	0,814

Genre/Espèce	FN1		FN2		FN3		FN4		Nombre total Ind.	Moyenne FV/FM
	Nombre Ind.	FV/FM	Nombre Ind.	FV/FM	Nombre Ind.	FV/FM	Nombre Ind.	FV/FM		
<i>Homalium sp.</i>	2	0,829			2	0,802	1	0,833	5	0,819
<i>Hugonia sp.</i>					1	0,805			1	0,805
<i>Ilex sebertii</i>							1	0,830	1	0,830
<i>Ixora montana</i>	9	0,819							9	0,819
<i>Ixora yahoensis</i>	3	0,830	1	0,830			1	0,801	5	0,824
<i>Lethedon sp.</i>	1	0,831					2	0,817	3	0,821
<i>Macaranga alchorneoides</i>			13	0,808					13	0,808
<i>Meryta sp.</i>	4	0,821			17	0,816	3	0,830	24	0,818
<i>Montrouzieria gabriellae</i>					1	0,810			1	0,810
<i>Morierina montana</i>							1	0,773	1	0,773
<i>Oxera sp.</i>	1	0,822							1	0,822
<i>Paglantha cerifera</i>	1	0,830			2	0,807	5	0,827	8	0,823
<i>Pandanus sp.</i>	1	0,766	2	0,783	1	0,792	2	0,807	6	0,790
<i>Parsonia sp.</i>							1	0,800	1	0,800
<i>Phyllanthus caudatus</i>	1	0,758							1	0,758
<i>Phyllanthus sp.</i>	3	0,814							3	0,814
<i>Pittosporum sp.</i>	2	0,808			3	0,808			5	0,808
<i>Planchonella endichleri</i>	1	0,800	1	0,811					2	0,806
<i>Planchonella pronyensis</i>					1	0,807			1	0,807
<i>Planchonella sp.</i>							2	0,835	2	0,835
<i>Planchonella thiensis</i>	5	0,820					1	0,843	6	0,824
<i>Planchonella wakere</i>					1	0,789			1	0,789
<i>Pleurocalyptus pancheri</i>					2	0,806			2	0,806
<i>Podocarpus lucienii</i>					1	0,761	2	0,834	3	0,809
<i>Polyalthia nitidissima</i>	3	0,812					2	0,809	5	0,811
<i>Polyscias sp.</i>	1	0,820							1	0,820
<i>Psychotria sp.</i>					5	0,794	1	0,810	6	0,797
<i>Pycnandra sp.</i>			4	0,827					4	0,827
<i>Sarcomelicope simplicifolia</i>							3	0,822	3	0,822
<i>Schefflera reginae</i>							1	0,832	1	0,832
<i>Schefflera sp.</i>	2	0,827			2	0,835			4	0,831
<i>Sloanea sp.</i>	1	0,813							1	0,813
<i>Smilax sp.</i>	1	0,822							1	0,822
<i>Sparattosyce dioica</i>	3	0,821	1	0,770	3	0,791			7	0,801
<i>Storckia pancheri</i>	1	0,834					1	0,832	2	0,833
<i>Storthocalyx chryseus</i>	3	0,821							3	0,821
<i>Storthocalyx leioneurus</i>	1	0,835							1	0,835
<i>Storthocalyx sp.</i>	1	0,840	1	0,786			9	0,816	11	0,815
<i>Styphelia cymbulæ</i>					1	0,841			1	0,841
<i>Syzygium multipetalum</i>					2	0,778			2	0,778
<i>Syzygium sp.</i>	5	0,806	3	0,792	1	0,826	2	0,818	11	0,806
<i>Tapeinosperma sp.</i>					2	0,771			2	0,771
<i>Tarenna sp.</i>							1	0,767	1	0,767
<i>Vitex sp.</i>							2	0,832	2	0,832
<i>Xylopia sp.</i>			5	0,802					5	0,802
<i>Xylopia vieillardii</i>	3	0,824							3	0,824
<i>Xylosma confusum</i>	1	0,828							1	0,828
<i>Xylosma sp.</i>	2	0,801					1	0,834	3	0,812
<i>Zygogynum sp.</i>							3	0,809	3	0,809
Total général	161	0,810	61	0,803	127	0,805	138	0,815	487	0,809

Tableau 8 : Fluorimétrie par espèce - Forêt-Nord

Fluorimétrie par espèce sur les parcelles du Pic du Grand Kaori (2018)

Espèce	FGK1		FGK2		FGK3		FGK4		Nombre total Ind.	Moyenne FV/FM
	Nombre Ind.	FV/FM	Nombre Ind.	FV/FM	Nombre Ind.	FV/FM	Nombre Ind.	FV/FM		
<i>Acropogon sp</i>			1	0,812					1	0,812
<i>Agatea longipedicellata</i>					1	0,702			1	0,702
<i>Agathis lanceolata</i>	1	0,825	1	0,836	2	0,823			4	0,827
<i>Alphitonia neocaledonica</i>	6	0,827							6	0,827
<i>Apodytes clusifolia</i>	2	0,816	4	0,816					6	0,816
<i>Archidendropsis granulosa</i>	1	0,821	4	0,828	8	0,814	2	0,826	15	0,820
<i>Arillastrum gummiferum</i>	2	0,822							2	0,822
<i>Arthrophyllum sp</i>			1	0,737					1	0,737
<i>Atractocarpus ngoyensis</i>					1	0,818			1	0,818
<i>Atractocarpus pseudo-terminalis</i>	1	0,774							1	0,774
<i>Atractocarpus pterocarpum</i>	3	0,804	1	0,814					4	0,807
<i>Atractocarpus sp.</i>	1	0,842	1	0,807	1	0,794			3	0,814
<i>Austrobuxus pauciflorus</i>	1	0,807			2	0,805	2	0,788	5	0,798
<i>Balanops pancheri</i>			1	0,788			1	0,779	2	0,784
<i>Beauprea montana</i>			2	0,819	1	0,812			3	0,817
<i>Beccariella longipetiolata</i>			1	0,832					1	0,832
<i>Beccariella sp.</i>	3	0,812							3	0,812
<i>Bikkia parviflora</i>					1	0,727			1	0,727
<i>Bocquillonia rhomboidea</i>			2	0,814	7	0,795	2	0,821	11	0,803
<i>Calophyllum caledonicum</i>			3	0,824	2	0,831	5	0,819	10	0,823
<i>Campecarpus fulcitus</i>			1	0,808					1	0,808
<i>Canarium oleiferum</i>							1	0,831	1	0,831
<i>Casearia montana</i>	6	0,826	1	0,842	1	0,769			8	0,821
<i>Casearia silvana</i>					3	0,801			3	0,801
<i>Casearia sp</i>	1	0,782	3	0,829	2	0,788	3	0,796	9	0,804
<i>Cerberiopsis candelabra</i>	1	0,834							1	0,834
<i>Chionanthus brachystachys</i>							1	0,819	1	0,819
<i>Cleidion vieillardii</i>	1	0,793	1	0,831	7	0,792	1	0,811	10	0,798
<i>Codia jaffrei</i>	4	0,842			1	0,820	2	0,822	7	0,833
<i>Codia sp</i>	2	0,832	6	0,833					8	0,833
<i>Comptonella sp</i>							1	0,841	1	0,841
<i>Cordyline neocaledonica</i>			1	0,818					1	0,818
<i>Coronanthra pulchra</i>			1	0,830					1	0,830
<i>Cryptocarya guillauminii</i>	1	0,780			1	0,815			2	0,798
<i>Cryptocarya sp.</i>	3	0,782	1	0,792	10	0,796	8	0,794	22	0,793
<i>Cunonia cf balansae</i>							2	0,794	2	0,794
<i>Cunonia sp</i>			1	0,839			2	0,797	3	0,811
<i>Cunoniaceae sp</i>			1	0,809	1	0,801			2	0,805
<i>Cupaniopsis sp</i>					3	0,806			3	0,806
<i>Cyclophyllum balansae</i>							1	0,808	1	0,808
<i>Cyphokentia macrostachya</i>			1	0,830			2	0,768	3	0,788
<i>Delarbrea sp</i>	2	0,834	1	0,849					3	0,839
<i>Deplanchea speciosa</i>	2	0,839	2	0,831	1	0,821	2	0,784	7	0,818
<i>Dicarpellum sp</i>					1	0,786			1	0,786
<i>Diospyros macrocarpa</i>					1	0,773	1	0,795	2	0,784
<i>Diospyros olen</i>	2	0,818	1	0,811	4	0,822	4	0,799	11	0,812
<i>Diospyros sp.</i>	2	0,828	4	0,813	1	0,803	1	0,811	8	0,815
<i>Dysoxylum rufescens ssp dzumacense</i>					1	0,827			1	0,827
<i>Dysoxylum sp.</i>	1	0,814							1	0,814
<i>Elaeocarpus sp.</i>	2	0,824			1	0,826	1	0,801	4	0,819
<i>Elaeocarpus speciosus</i>					1	0,632			1	0,632
<i>Elaeocarpus yateensis</i>							2	0,814	2	0,814
<i>Endiandra sp.</i>	1	0,833			3	0,804	2	0,818	6	0,813
<i>Eugenia sp.</i>	1	0,821	5	0,779	2	0,806	1	0,808	9	0,793
<i>Euroschinus elegans</i>					1	0,815			1	0,815
<i>Euroschinus sp.</i>	1	0,800							1	0,800
<i>Ficus asperula</i>					1	0,846			1	0,846
<i>Ficus nitidifolia</i>							2	0,834	2	0,834
<i>Ficus sp.</i>					4	0,821	1	0,792	5	0,815
<i>Fissistigma punctulatum</i>	1	0,767	1	0,850			4	0,777	6	0,788
<i>Flindersia fourieri</i>	5	0,820	1	0,812			1	0,817	7	0,819
<i>Garcinia balansae</i>	3	0,809			1	0,820			4	0,812
<i>Garcinia neglecta</i>							1	0,822	1	0,822
<i>Garcinia sp.</i>	2	0,819	1	0,770	5	0,808	1	0,779	9	0,803
<i>Gardenia aubryi</i>	4	0,808	1	0,807	3	0,787	2	0,800	10	0,800
<i>Gastrolepis austrocaledonica</i>	2	0,826	3	0,831	1	0,802	2	0,821	8	0,824

Genre/Espèce	FGK1		FGK2		FGK3		FGK4		Nombre total Ind.	Moyenne FV/FM
	Nombre Ind.	FV/FM	Nombre Ind.	FV/FM	Nombre Ind.	FV/FM	Nombre Ind.	FV/FM		
<i>Gea platycarpa</i>	2	0,800							2	0,800
<i>Geissois sp.</i>	2	0,813	2	0,826					4	0,820
<i>Geniostoma rupestre</i>							1	0,806	1	0,806
<i>Guettarda eximia</i>	4	0,808	7	0,825	4	0,769	4	0,821	19	0,809
<i>Guettarda sp.</i>	1	0,230					1	0,802	2	0,516
<i>Guioa villosa</i>					1	0,807			1	0,807
<i>Hibbertia lucens</i>	1	0,847	4	0,832					5	0,835
<i>Hibbertia sp.</i>	1	0,838							1	0,838
<i>Homalium sp.</i>			1	0,831			2	0,778	3	0,796
<i>Hugonia sp.</i>					2	0,811			2	0,811
<i>Hybanthus sp.</i>	5	0,822	1	0,788					6	0,816
<i>Ixora cauliflora</i>							1	0,780	1	0,780
<i>Ixora sp.</i>	1	0,835	1	0,819			1	0,827	3	0,827
<i>Lethedon sp.</i>	3	0,817							3	0,817
<i>Melicope vieillardii</i>	4	0,807					2	0,806	6	0,807
<i>Meryta sp.</i>			7	0,816	1	0,837			8	0,819
<i>Montrouzieria gabriellae</i>			1	0,827	3	0,772			4	0,786
<i>Myodocarpus fraxinifolius</i>	1	0,819	1	0,837	6	0,814			8	0,818
<i>Myodocarpus involucratus</i>							1	0,812	1	0,812
<i>Ochrosia balansae</i>	5	0,813							5	0,813
<i>Ochrosia sp.</i>	2	0,808			2	0,789	2	0,828	6	0,808
<i>Pagiontha cerifera</i>	3	0,821	4	0,816	3	0,802	1	0,789	11	0,811
<i>Periomphale balansae</i>					1	0,779			1	0,779
<i>Phelline billardieri</i>	2	0,811			1	0,819			3	0,813
<i>Phyllanthus sp.</i>	2	0,846	1	0,819	3	0,825			6	0,831
<i>Piliocalyx sp.</i>	1	0,807							1	0,807
<i>Pittosporum deplanchei</i>	1	0,824	1	0,841					2	0,833
<i>Pittosporum pronyense</i>	2	0,825							2	0,825
<i>Pittosporum sp.</i>	1	0,811	1	0,806			4	0,805	6	0,806
<i>Planchonella endichleri</i>	2	0,822	5	0,814	6	0,802	1	0,831	14	0,811
<i>Planchonella sp.</i>			1	0,818	5	0,792			6	0,797
<i>Planchonella wakere</i>	1	0,824	3	0,834	1	0,789			5	0,823
<i>Pleurocalyptus pancheri</i>			1	0,815			1	0,790	2	0,803
<i>Polyscias dioica</i>	3	0,822							3	0,822
<i>Polyscias sp.</i>			1	0,789					1	0,789
<i>Polyscias sp./ Fissistigma</i>	1	0,818							1	0,818
<i>Psychotria douarrei</i>	3	0,767					1	0,769	4	0,768
<i>Psychotria leratii</i>					2	0,820	1	0,804	3	0,814
<i>Psychotria semperflorans</i>							1	0,675	1	0,675
<i>Psychotria sp.</i>			3	0,784	1	0,786			4	0,784
<i>Rapanea sp.</i>							1	0,819	1	0,819
<i>Rauvolfia balansae</i>			3	0,825	1	0,823			4	0,824
<i>Rourea balanseana</i>					1	0,790			1	0,790
<i>Scagea sp.</i>	2	0,839							2	0,839
<i>Schefflera gordonii</i>					1	0,855			1	0,855
<i>Schefflera reginae</i>			1	0,829					1	0,829
<i>Schefflera sp.</i>					1	0,828			1	0,828
<i>Sebertia acuminata</i>	1	0,826	2	0,834	1	0,814			4	0,827
<i>Semecarpus sp.</i>					1	0,784			1	0,784
<i>Sparattosyce dioica</i>	2	0,803	2	0,818	4	0,786	2	0,800	10	0,798
<i>Spiraeanthemum meridionale</i>			1	0,828	5	0,828			6	0,828
<i>Stenocarpus sp.</i>			1	0,825					1	0,825
<i>Stenocarpus trinervis</i>					1	0,830			1	0,830
<i>Storthocalyx leioneurus</i>							1	0,813	1	0,813
<i>Storthocalyx sp.</i>	1	0,815	2	0,822	2	0,828			5	0,823
<i>Styphelia cymbulae</i>	1	0,829	1	0,756					2	0,793
<i>Syzygium multipetalum</i>	1	0,819	1	0,784			1	0,816	3	0,806
<i>Syzygium sp.</i>	1	0,822	1	0,794	1	0,713	1	0,798	4	0,782
<i>Tapelosperma sp.</i>							1	0,807	1	0,807
<i>Viotia neurophylla</i>							2	0,775	2	0,775
<i>Vitex sp.</i>					1	0,829			1	0,829
<i>Zygogynum sp.</i>	2	0,817	2	0,806			1	0,801	5	0,809
Total général	136	0,812	123	0,817	149	0,802	99	0,802	507	0,809

Tableau 9 : Fluorimétrie par espèce - Pic du Grand Kaori

3.5 Caractéristiques chimiques du sol et de la litière des stations

Caractéristiques chimiques des parcelles de Forêt-Nord

[illegible]

Tableau 10 : Caractéristiques chimiques des échantillons de litière et de sol - Forêt-Nord (2007-2018)

Les analyses chimiques des litières et des sols des parcelles de Forêt-Nord montrent plusieurs tendances :

- Les teneurs en Azote (N) et Carbone (C) sont en général plus élevées dans la litière que dans les sols de toutes les parcelles.
- Les teneurs en Soufre (S), Phosphore (P), Potasse (K), Calcium (Ca), Magnésium (Mg) et Manganèse (Mn) sont en général plus élevées dans le sol que dans la litière des parcelles.
- La différence de teneur de Sodium (Na) entre les horizons de litière et de sol varie indépendamment des facteurs horizons et parcelles.
- L'élément Fer (Fe) est le plus abondant des métaux dans le sol, suivi du Magnésium (Mg), du Chrome (Cr), du Manganèse (Mn), du Nickel (Ni), du Cobalt (Co), du Zinc (Zn), du Titane (Ti), du Cuivre (Cu) et de l'Aluminium (Al).
- Le Magnésium (Mg) est plus élevé sur la parcelle FN2 que sur les autres parcelles car recouvert d'éboulis de péridotite riche dans cet élément.

Caractéristiques chimiques des parcelles au Pic du Grand Kaori

LITIÈRE	Parcel		PGK1										PGK2										PGK4										PGK3													
	Altitude (metres)		240										250										315										330													
	Année		2007	2008	2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2007	2008	2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2007	2008	2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2007	2008	2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016	2017	2018
	Date		28/11/07	06/10/08	15/12/09	29/12/10	29/02/12	17/01/13	06/03/14	09/03/15	11/02/16	12/01/17	24/01/18	29/11/07	14/10/08	16/12/09	15/03/11	19/03/12	17/01/13	31/03/14	17/03/15	17/02/16	17/01/17	06/02/18	05/12/07	09/10/08	06/01/10	23/03/11	23/04/12	16/01/13	27/02/14	17/03/15	15/03/16	19/01/17	28/02/18	04/12/07	16/10/08	17/12/09	17/03/11	12/04/12	16/01/13	19/02/14	17/03/15	01/03/16	18/01/17	20/02/18
	Analyses	Element	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5		
			N %	0.92	1.09	1.21	1.20	1.06	1.06	0.83	0.54	1.41	0.71	0.83	0.85	0.95	1.00	1.04	1.07	1.07	0.81	0.59	0.98	0.71	0.81	0.58	0.71	0.83	1.03	1.13	1.13	1.02	0.55	1.17	0.74	0.65	0.93	1.01	0.97	1.03	1.16	1.16	0.83	0.43	1.11	0.73
	C %		48.97	50.35	46.27	51.55	51.55	49.57	47.76	44.73	47.06	46.58		49.63	47.76	48.05	50.56	50.56	51.05	46.67	42.81	46.09	39.33		46.52	46.99	46.13	48.98	48.98	48.82	45.91	43.31	44.20	40.37		44.47	35.53	46.13	48.94	48.94	50.39	45.24	42.09	43.48	38.98	
	S %	0.11	0.05	0.12	0.11	0.12	0.12	0.13	0.11	0.08	0.05	0.09	0.12	0.06	0.13	0.11	0.11	0.11	0.12	0.13	0.08	0.04	0.08	0.10	0.10	0.04	0.12	0.11	0.13	0.13	0.15	0.10	0.04	0.10	0.15	0.08	0.12	0.11	0.12	0.12	0.13	0.10	0.04	0.10		
	Ca %	1.44	1.44	1.47	1.35	1.04	1.04	1.36	0.91	0.77	0.41	0.70	1.82	1.52	1.63	1.29	1.17	1.17	1.31	1.44	0.92	0.53	0.73	1.46	1.69	1.97	1.52	1.59	1.59	1.99	1.45	1.08	0.74	1.09	1.50	1.32	1.55	1.52	1.36	1.67	1.28	1.43	0.64	0.83		
	Mg %	0.23	0.23	0.29	0.30	0.19	0.19	0.25	0.27	0.21	0.11	0.27	0.29	0.30	0.32	0.23	0.20	0.20	0.26	0.54	0.18	0.12	0.14	0.24	0.22	0.27	0.28	0.28	0.28	0.27	0.39	0.20	0.15	0.21	0.43	0.39	0.39	0.28	0.25	0.25	0.24	0.25	0.24	0.12	0.22	
Na %	0.08	0.01	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.01	0.03	0.07	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01	0.02	0.14	0.04	0.10	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01	0.07	
K %	0.16	0.05	0.13	0.07	0.09	0.09	0.09	0.13	0.06	0.05	0.05	0.12	0.06	0.08	0.04	0.06	0.06	0.05	0.11	0.05	0.02	0.03	0.07	0.03	0.07	0.03	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.09	0.04	0.02	0.04	0.12	0.07	0.15	0.06	0.07	0.05	0.12	0.05	0.03	0.18	
P ppm	161	155	159	108	78	78	119	160	79	103	73	222	198	212	71	55	55	90	149	83	85	77	82	84	99	78	81	81	112	157	130	83	89	259	284	168	78	81	85	141	203	84	125			
Mn ppm	910	1280	1178	1663	1019	1019	1311	2012	669	506	823	1606	1235	1518	1133	1131	1131	1385	2167	403	387	1261	333	429	407	1496	1453	1453	1523	783	1002	503	1360	269	328	104	1496	530	530	472	530	466	331	580		

SOL	Année		2007	2008	2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2007	2008	2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2007	2008	2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2007	2008	2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
	Date		28/11/07	06/10/08	15/12/09	09/12/09	29/02/10	17/01/13	06/03/14	09/03/15	11/02/16	12/01/17	24/01/18	29/11/07	14/10/08	16/12/09	15/03/11	19/03/12	17/01/13	31/03/14	17/03/15	17/02/16	17/01/17	06/02/18	05/12/07	09/10/08	06/01/10	23/03/11	23/04/12	16/01/13	27/02/14	17/03/15	15/03/16	19/01/17	28/02/18	04/12/07	16/10/08	17/12/09	17/03/11	12/04/12	16/01/13	19/02/14	17/03/15	01/03/16	18/01/17	20/02/18	
	Analyses	Element	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5		
	CHNS Humide	pH H2O				5,70	5,46	5,95	5,71	5,53	5,00	5,53	5,67				5,27	5,06	5,99	5,84	5,87	5,37	5,24	5,42				6,17	6,34	6,00	6,55	5,59	5,87	6,01	5,82					6,37	6,13	6,26	6,39	5,85	6,58	5,43	5,40
		N%	0,63	0,32	0,27	0,34	0,28	0,37	0,33	0,47	0,52	0,26	0,33	0,65	0,63	0,30	0,30	0,25	0,32	0,38	0,59	0,65	0,27	0,44	0,99	0,55	0,41	0,47	0,42	0,42	0,49	0,81	0,60	0,45	0,97	0,52	0,56	0,35	0,40	0,40	0,45	0,79	1,08	0,43	0,49	0,59	
		C%	13,32	4,68	4,88	5,27	5,46	6,17	4,92	10,72	6,75	3,75	21,40	13,08	12,92	5,30	5,76	4,57	5,06	6,84	12,36	10,48	40,49	20,87	9,41	6,12	6,22	6,79	4,95	8,17	11,83	8,97	7,33	92,59	8,53	8,37	5,75	6,59	6,23	6,57	11,74	10,85	4,71	7,93	53,69		
		S%	0,12	0,09	0,09	0,07	0,08	0,08	0,09	0,10	0,08	0,06	0,07	0,11	0,09	0,08	0,09	0,08	0,06	0,09	0,10	0,09	0,05	0,09	0,14	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,10	0,10	0,05	0,11	0,08	0,07	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09	0,07	0,05	0,08		
		még%	25	16	12	14	14	19	12	25	25	15	17	26	31	13	13	12	19	14	29	30	14	16	39	29	17	22	19	24	19	31	32	40	39	22	27	17	19	18	23	31	36	30	21	26	
	Capacité d'échange	Ca g/kg	2	1	1	2	1	2	1	1	7	0,4	0,6	3	3	1	2	1	1	1	2	20	0,5	0,7	7	3	3	4	3	3	4	2	20	1	4	3	3	2	2	2	3	7	3	13	1	2	
		Mg mg/kg	5547	11929	6068	16501	3575	20224	11925	1074	5140	4581	6397	10455	9550	8784	9962	7325	14192	11428	1458	4758	1143	1682	20695	21944	23796	20634	28815	27777	23552	6668	6821	7207	11192	14971	18484	12445	20725	19181	23563	19750	8432	6402	2538	3569	
		Na mg/kg	119	117	74	394	96	86	128	100	94	47	890	128	126	63	153	88	137	152	128	111	44	1039	152	136	301	241	120	106	218	120	101	53	1273	84	129	81	266	144	115	233	107	92	47	1010	
		K mg/kg	168	40	172	51	45	102	47	141	95	40	265	82	137	144	155	10	233	68	169	148	44	342	274	183	277	226	66	178	183	163	164	111	601	45	119	215	212	45	171	196	177	106	85	435	
		Fe g/kg	345	432	386	383	425	357	421	199	2108	170	244	339	334	365	371	396	339	396	178	1927	160	243	220	321	359	342	329	311	361	161	2084	130	155	368	347	391	353	369	326	278	166	1975	150	207	
		Co mg/kg	579	703	662	827	836	675	922	59	75		602	901	676	915	1130	956	914	1209	313	179		452	671	1053	1106	1269	1118	951	1414	233	216		518	1103	1101	901	1116	1149	1064	1086	150	127		732	
		Cr mg/kg	20805	13870	17766	19096	17651	25544	22762	5904	5199	6471	41556	24258	21714	18727	24250	21511	32329	32615	5620	5731	7190	43438	18510	22373	20286	17758	19097	27313	24538	3324	4125	3525	42539	19746	23564	17129	19292								

Caractéristiques chimiques des parcelles du Pic du Pin

LITIÈRE	Altitude (m)		299					313				
	Annee		2009	2011	2015	2017	2018	2009	2011	2015	2017	2018
	Date		29/06/2009	30/03/2011	28/04/2015	29/04/2017	06/03/2018	01/07/2009	05/04/2011	28/04/2015	29/04/2017	06/03/2018
	Analyses	Element	Moyenne n= 10	Moyenne n= 10	Moyenne n= 5	Moyenne n= 5	Moyenne n= 5	Moyenne n= 10	Moyenne n= 10	Moyenne n= 5	Moyenne n= 5	Moyenne n= 5
LITIÈRE	CHNS Humide	N %	0,96	1,07	0,51	0,91	0,74	1,03	0,88	0,84	0,74	0,73
		C %	48,47	48,61	46,76	45,84	38,29	49,28	52,84	46,33	45,32	43,94
	Attaque totale acide/fusion alcaline	S %	0,11	0,10	0,11	0,04	0,08	0,10	0,11	0,13	0,04	0,08
		Ca %	1,19	1,06	1,21	0,57	1,01	1,21	1,14	1,50	0,57	0,87
		Mg %	0,24	0,28	0,24	0,13	0,18	0,25	0,21	0,28	0,12	0,16
		Na %	0,05	0,03	0,04	0,01	0,03	0,05	0,03	0,06	0,02	0,03
		K %	0,06	0,08	0,10	0,02	0,04	0,06	0,06	0,07	0,03	0,10
		P ppm	110,60	105,80	189,11	91,39	99,60	91,40	92,80	124,11	87,27	65,37
		Mn ppm	1381,70	2032,01	2099,78	912,80	1662,90	1675,90	1993,30	1547,31	608,07	952,70
SOL	pH	ph H2O			6,09	6,07	5,78			5,72	5,82	5,48
		N%	0,28	2,38	0,32	0,31	0,49	0,19	1,90	0,35	0,32	0,27
	CHNS Humide	C%	53,97	38,94	3,86	5,48	10,62	37,50	36,12	5,26	4,94	7,97
		S%	0,08	0,07	0,06	0,05	0,09	0,09	0,09	0,08	0,07	0,10
	Conductivité	Cond.	17,51	10,93	13,71	18,85	13,80	9,75	6,63	13,42	19,07	16,37
		Ca-g/kg	0,61	0,79	0,35	0,33	1,13	0,32	0,33	1,28	0,69	1,23
	Attaque totale acide/fusion alcaline	Mg-mg/kg	8449,13	11628,94	2154,37	1440,42	1466,08	7607,06	4723,90	542,71	445,37	413,08
		Na-mg/kg	161,12	251,64	51,10	44,58	1543,14	295,60	53,08	52,89	37,69	1606,81
		K-mg/kg	196,03	110,04	50,75	51,16	535,54	154,58	111,03	41,72	49,52	512,56
		Fe-g/kg	377,56	362,38	183,25	15,32	210,74	451,38	427,28	215,88	18,34	266,29
		Co-mg/kg	695,11	973,49	189,55		718,90	622,61	622,39	9,13		374,93
		Cr-mg/kg	1598,33	2189,04	4702,91	5666,23	43177,44	1508,83	1859,85	6170,67	7544,11	42374,22
		Mn-mg/kg	8364,53	9667,12	7850,58	6744,85	6944,29	5507,72	6217,80	3688,69	3983,81	3052,78
		Ni-mg/kg	5337,04	7029,18	5023,59	2660,44	3806,40	6112,55	4837,94	3436,59	2086,06	3475,40
		Al-g/kg	26,52	29,65	14,72	14,69	18,66	25,72	26,32	15,02	15,29	17,34
		Cu-mg/kg	13,63	21,67	22,77	25,92		13,54	21,86	23,77	29,17	
		P-mg/kg	93,11	106,84	109,48	106,85	114,06	86,79	100,11	112,46	88,38	73,51
		Zn-mg/kg	190,28	307,93	195,01	233,77	230,41	270,88	321,85	193,08	263,15	254,57

Tableau 12 : Caractéristiques chimiques des échantillons de litière et de sol - Pic du Pin (2009)

L'analyse chimique des litières et des sols du Pic du Pin montrent plusieurs tendances :

- Les teneurs en Azote (N), Soufre (S) et Phosphore (P) sont en général plus élevées dans la litière que dans le sol de toutes les parcelles.
- Les teneurs en Carbone (C), Magnésium (Mg), Sodium (Na) et Manganèse (Mn) sont en général plus élevées dans le sol que dans la litière.
- La différence des teneurs de Calcium (Ca) et Potasse (K) entre les horizons de litière et de sol sont aléatoires entre les horizons et les parcelles.
- L'élément Fer (Fe) est le plus abondant des métaux dans le sol, suivi du Magnésium (Mg), Chrome (Cr), Manganèse(Mn), Nickel (Ni), Cobalt (Co), Titane (Ti), Zinc (Zn), Aluminium (Al) et Cuivre (Cu).

Caractéristiques chimiques des végétaux communs sur les parcelles de Forêt-Nord

Espèces par année et altitude (m)	N		P		K		Ca		Mg		Na		Mn		S	
	%	Écart	ppm	Écart	%	Écart	%	Écart	%	Écart	%	Écart	ppm	Écart	%	Écart
<i>Garcinia-neglecta</i>	1,11	0,27	400	134	0,54	0,25	1,90	0,73	0,32	0,32	0,15	0,11	692	639	0,17	0,05
2007	0,93	0,22	358	135	0,54	0,13	2,11	0,76	0,36	0,13	0,18	0,05	962	870	0,17	0,03
184	1,10	0,07	480	49	0,47	0,12	2,70	0,23	0,46	0,06	0,17	0,05	1569	871	0,18	0,02
287	0,75	0,16	236	47	0,61	0,09	1,52	0,62	0,26	0,10	0,18	0,05	356	146	0,17	0,04
2008	1,00	0,33	350	147	0,51	0,20	1,87	0,57	0,33	0,13	0,10	0,07	859	976	0,16	0,04
184	1,31	0,09	483	70	0,39	0,16	2,40	0,18	0,43	0,11	0,11	0,10	1437	1127	0,15	0,03
287	0,70	0,06	217	30	0,64	0,16	1,35	0,21	0,23	0,03	0,10	0,03	282	92	0,17	0,05
2009	0,99	0,36	372	184	0,51	0,10	1,82	0,57	0,28	0,10	0,14	0,07	534	533	0,16	0,04
184	1,33	0,09	528	127	0,47	0,10	2,28	0,41	0,36	0,07	0,15	0,08	746	706	0,15	0,04
287	0,64	0,02	217	30	0,55	0,09	1,36	0,22	0,20	0,03	0,13	0,06	323	86	0,18	0,03
2010	1,18	0,05	448	71	0,38	0,08	2,12	0,68	0,38	0,06	0,39	0,28	1142	511	0,17	0,03
184	1,18	0,05	448	71	0,38	0,08	2,12	0,68	0,38	0,06	0,39	0,28	1142	511	0,17	0,03
287																
2011	1,11	0,24	374	159	0,48	0,12	2,02	0,69	0,28	0,09	0,09	0,04	424	327	0,19	0,04
184	1,32	0,06	514	60	0,46	0,11	2,41	0,59	0,34	0,07	0,09	0,03	549	404	0,19	0,03
287	0,90	0,13	235	76	0,50	0,14	1,63	0,57	0,21	0,06	0,10	0,04	299	174	0,20	0,06
2012	1,33	0,22	477	69	0,51	0,08	2,50	0,79	0,41	0,15	0,11	0,05	753	525	0,20	0,07
179	1,26	0,18	443	45	0,52	0,09	2,38	0,90	0,32	0,13	0,13	0,06	716	424	0,20	0,09
184	1,41	0,25	511	77	0,51	0,08	2,63	0,74	0,50	0,10	0,09	0,05	790	661	0,19	0,04
2014	1,29	0,22	549	71	0,64	0,12	2,22	0,42	0,47	0,06	0,24	0,11	1083	569	0,17	0,04
179	1,48	0,13	509	64	0,69	0,14	1,95	0,27	0,45	0,06	0,30	0,11	1095	416	0,15	0,04
185	1,09	0,04	588	58	0,59	0,09	2,50	0,38	0,50	0,07	0,17	0,06	1071	744	0,18	0,05
2015	1,10	0,11	466	78	0,68	0,20	2,16	1,16	0,25	0,05	0,17	0,07	367	304	0,20	0,04
179	1,03	0,08	425	77	0,62	0,16	3,12	0,78	0,24	0,06	0,15	0,07	557	332	0,18	0,04
185	1,17	0,10	507	60	0,74	0,23	1,20	0,33	0,25	0,05	0,18	0,08	176	80	0,21	0,04
2016	1,27	0,05	362	40	1,43	0,07	0,79	0,11	0,22	0,03	0,19	0,03	26	8	0,15	0,01
179	1,24	0,13	442	80	0,54	0,20	1,26	0,37	0,33	0,05	0,10	0,05	405	340	0,12	0,02
185	1,26	0,09	402	73	0,98	0,49	1,02	0,35	0,27	0,07	0,15	0,06	215	302	0,13	0,02
2017	1,08	0,18	362	54	0,34	0,14	1,45	0,33	0,27	0,06	0,10	0,04	593	233	0,13	0,03
179	1,19	0,10	329	58	0,44	0,12	1,31	0,34	0,24	0,05	0,11	0,04	440	86	0,13	0,02
185	0,96	0,17	394	26	0,23	0,05	1,59	0,29	0,30	0,06	0,08	0,03	746	239	0,14	0,03
2018	1,11	0,27	335	63	0,97	0,20	1,23	0,42	0,29	0,29	0,24	0,07	116	43	0,16	0,03
179	0,92	0,21	314	64	1,02	0,15	0,89	0,23	0,25	0,25	0,19	0,03	85	18	0,17	0,04
185	1,30	0,16	355	61	0,93	0,25	1,58	0,21	0,33	0,33	0,29	0,05	147	37	0,14	0,02
<i>Gardenia-aubreyi</i>	1,42	0,55	371	110	1,25	0,62	1,11	0,41	0,31	0,31	0,35	0,14	110	150	0,20	0,13
2007	1,39	0,10	356	22	1,43	0,28	1,18	0,13	0,32	0,03	0,49	0,10	65	10	0,16	0,01
179	1,39	0,10	356	22	1,43	0,28	1,18	0,13	0,32	0,03	0,49	0,10	65	10	0,16	0,01
2008	3,11	0,17	648	38	3,05	0,29	0,82	0,20	0,53	0,11	0,43	0,12	418	202	0,61	0,12
179	3,11	0,17	648	38	3,05	0,29	0,82	0,20	0,53	0,11	0,43	0,12	418	202	0,61	0,12
2009	1,55	0,08	339	22	1,20	0,18	1,19	0,17	0,36	0,05	0,46	0,09	72	15	0,18	0,01
179	1,55	0,08	339	22	1,20	0,18	1,19	0,17	0,36	0,05	0,46	0,09	72	15	0,18	0,01
2010	1,49	0,06	315	33	0,98	0,09	1,03	0,11	0,30	0,05	0,35	0,03	75	36	0,15	0,01
179	1,49	0,06	315	33	0,98	0,09	1,03	0,11	0,30	0,05	0,35	0,03	75	36	0,15	0,01
2011	1,31	0,10	404	30	1,25	0,17	0,99	0,13	0,34	0,04	0,46	0,11	97	58	0,20	0,02
179	1,31	0,10	404	30	1,25	0,17	0,99	0,13	0,34	0,04	0,46	0,11	97	58	0,20	0,02
2012	1,26	0,15	342	77	1,11	0,40	1,04	0,13	0,31	0,04	0,29	0,08	48	25	0,18	0,02
179	1,29	0,08	398	59	1,33	0,42	1,01	0,14	0,29	0,05	0,24	0,07	61	31	0,19	0,02
287	1,22	0,21	286	43	0,90	0,27	1,07	0,12	0,33	0,04	0,34	0,07	35	6	0,16	0,01
2014	1,46	0,27	410	109	1,40	0,27	1,03	0,12	0,33	0,04	0,32	0,05	39	7	0,18	0,03
179	1,66	0,20	491	98	1,58	0,20	0,97	0,06	0,30	0,02	0,28	0,01	42	8	0,20	0,04
287	1,25	0,12	328	30	1,21	0,17	1,09	0,14	0,36	0,04	0,37	0,04	35	4	0,17	0,02
2015	1,01	0,13	369	110	1,02	0,38	1,41	0,85	0,25	0,04	0,39	0,17	31	11	0,16	0,02
179	1,10	0,13	429	110	1,22	0,41	0,90	0,25	0,26	0,04	0,26	0,11	36	14	0,16	0,02
287	0,91	0,03	308	76	0,82	0,24	1,92	0,95	0,24	0,03	0,52	0,11	26	4	0,16	0,01
2016	1,19	0,20	342	52	0,82	0,21	1,60	0,25	0,29	0,11	0,25	0,16	256	266	0,14	0,03
179	1,37	0,09	370	56	0,65	0,14	1,64	0,22	0,24	0,09	0,14	0,14	421	299	0,16	0,03
287	1,01	0,03	313	30	1,00	0,10	1,57	0,30	0,35	0,10	0,35	0,10	92	44	0,12	0,02
2017	1,12	0,18	268	48	0,82	0,22	0,63	0,12	0,20	0,04	0,22	0,10	25	7	0,11	0,01
179	1,23	0,19	303	44	0,95	0,18	0,60	0,13	0,17	0,01	0,15	0,07	27	8	0,12	0,01
287	1,00	0,07	233	13	0,69	0,19	0,66	0,11	0,23	0,03	0,29	0,07	22	6	0,11	0,01
2018	1,11	0,29	364	108	0,77	0,20	1,23	0,37	0,33	0,33	0,29	0,07	105	34	0,13	0,02
179	1,11	0,39	414	105	0,66	0,19	1,51	0,26	0,40	0,40	0,30	0,09	131	25	0,13	0,03
287	1,11	0,20	313	94	0,87	0,18	0,96	0,23	0,27	0,27	0,29	0,03	78	14	0,13	0,02

Espèces par année et altitude (m)	N		P		K		Ca		Mg		Na		Mn		S	
	%	Écart	ppm	Écart	%	Écart	%	Écart	%	Écart	%	Écart	ppm	Écart	%	Écart
<i>Sparattosyce-dioica</i>	1,28	0,16	389,63	93,13	0,80	0,37	1,71	0,68	0,36	0,36	0,35	0,16	74,64	35,11	0,12	0,02
2007	1,12	0,08	348,63	29,90	0,72	0,21	2,27	0,26	0,48	0,07	0,68	0,10	89,63	22,10	0,11	0,00
287	1,12	0,08	348,63	29,90	0,72	0,21	2,27	0,26	0,48	0,07	0,68	0,10	89,63	22,10	0,11	0,00
2008	1,25	0,06	353,75	36,88	1,00	0,15	2,27	0,46	0,26	0,04	0,32	0,07	73,38	20,53	0,10	0,01
287	1,25	0,06	353,75	36,88	1,00	0,15	2,27	0,46	0,26	0,04	0,32	0,07	73,38	20,53	0,10	0,01
2009	1,18	0,08	342,13	34,20	1,18	0,16	2,20	0,46	0,31	0,08	0,38	0,08	101,50	24,12	0,10	0,01
287	1,18	0,08	342,13	34,20	1,18	0,16	2,20	0,46	0,31	0,08	0,38	0,08	101,50	24,12	0,10	0,01
2010																
287																
2011	1,44	0,10	370,13	30,95	0,90	0,23	1,95	0,32	0,37	0,09	0,34	0,12	121,25	46,96	0,12	0,02
287	1,44	0,10	370,13	30,95	0,90	0,23	1,95	0,32	0,37	0,09	0,34	0,12	121,25	46,96	0,12	0,02
2012	1,37	0,14	404,00	89,12	0,87	0,27	1,77	0,24	0,39	0,12	0,29	0,11	77,80	26,21	0,13	0,01
243	1,39	0,18	476,40	65,03	0,82	0,33	1,78	0,34	0,47	0,10	0,27	0,16	62,40	4,98	0,13	0,01
287	1,36	0,10	331,60	23,18	0,91	0,24	1,76	0,14	0,30	0,05	0,30	0,05	93,20	30,47	0,13	0,01
2014	1,39	0,20	417,90	88,92	1,03	0,21	2,01	0,32	0,52	0,10	0,37	0,07	88,00	25,01	0,13	0,01
243	1,24	0,13	491,00	56,10	1,09	0,23	1,78	0,22	0,59	0,06	0,38	0,08	79,00	27,88	0,13	0,01
287	1,54	0,12	344,80	35,80	0,98	0,19	2,23	0,22	0,45	0,07	0,36	0,07	97,00	20,68	0,13	0,00
2015	1,17	0,09	411,25	51,10	0,77	0,35	3,02	2,04	0,48	0,11	0,46	0,18	66,69	15,88	0,12	0,01
243	1,21	0,05	421,55	20,03	0,65	0,31	3,38	2,96	0,47	0,13	0,35	0,12	63,60	15,97	0,12	0,01
287	1,12	0,11	400,96	72,17	0,90	0,39	2,66	0,46	0,49	0,09	0,57	0,16	69,78	16,99	0,12	0,01
2016	1,36	0,06	389,02	137,73	0,84	0,20	0,91	0,12	0,28	0,04	0,29	0,07	27,81	13,56	0,15	0,02
243	1,37	0,07	515,82	31,60	0,80	0,19	0,94	0,10	0,29	0,03	0,25	0,05	30,06	19,42	0,16	0,03
287	1,36	0,06	262,23	38,60	0,88	0,21	0,87	0,14	0,27	0,04	0,33	0,06	25,57	4,91	0,14	0,01
2017	1,28	0,12	409,18	145,92	0,76	0,20	0,97	0,30	0,26	0,05	0,19	0,06	40,17	28,33	0,10	0,03
243	1,37	0,10	521,56	118,13	0,67	0,19	0,71	0,11	0,28	0,06	0,19	0,07	18,58	3,21	0,13	0,02
287	1,19	0,06	296,79	48,80	0,85	0,19	1,22	0,17	0,25	0,04	0,19	0,07	61,75	25,12	0,08	0,02
2018	1,11	0,29	363,70	107,65	0,77	0,20	1,23	0,37	0,33	0,33	0,29	0,07	104,59	33,63	0,13	0,02
243	1,11	0,39	414,11	104,64	0,66	0,19	1,51	0,26	0,40	0,40	0,30	0,09	130,85	24,89	0,13	0,03
287	1,11	0,20	313,29	93,65	0,87	0,18	0,96	0,23	0,27	0,27	0,29	0,03	78,32	14,14	0,13	0,02
<i>Xylopia-sp.</i>	1,40	0,22	565,22	102,05	0,80	0,23	1,18	0,34	0,36	0,08	0,26	0,10	101,70	161,25	0,17	0,04
2007	1,21	0,09	566,75	36,21	0,82	0,19	1,21	0,15	0,43	0,06	0,39	0,08	36,75	11,84	0,16	0,02
243	1,21	0,09	566,75	36,21	0,82	0,19	1,21	0,15	0,43	0,06	0,39	0,08	36,75	11,84	0,16	0,02
2008	1,39	0,06	507,63	27,22	0,76	0,18	1,27	0,15	0,38	0,04	0,29	0,05	87,00	77,77	0,17	0,05
243	1,39	0,06	507,63	27,22	0,76	0,18	1,27	0,15	0,38	0,04	0,29	0,05	87,00	77,77	0,17	0,05
2009	1,58	0,07	615,75	22,55	0,80	0,08	1,09	0,11	0,40	0,05	0,32	0,04	32,38	6,16	0,16	0,02
243	1,58	0,07	615,75	22,55	0,80	0,08	1,09	0,11	0,40	0,05	0,32	0,04	32,38	6,16	0,16	0,02
2010	1,63	0,07	578,75	32,25	0,75	0,11	1,08	0,12	0,40	0,03	0,38	0,08	32,38	7,69	0,16	0,02
243	1,63	0,07	578,75	32,25	0,75	0,11	1,08	0,12	0,40	0,03	0,38	0,08	32,38	7,69	0,16	0,02
2011	1,57	0,18	649,88	77,79	0,80	0,11	1,00	0,11	0,37	0,06	0,23	0,07	30,00	5,88	0,16	0,01
243	1,57	0,18	649,88	77,79	0,80	0,11	1,00	0,11	0,37	0,06	0,23	0,07	30,00	5,88	0,16	0,01
2012	1,57	0,10	647,70	72,54	0,89	0,16	1,05	0,11	0,28	0,04	0,17	0,06	84,40	90,25	0,19	0,03
184	1,54	0,10	647,00	65,59	0,89	0,17	1,10	0,13	0,27	0,06	0,18	0,07	144,80	95,76	0,20	0,03
243	1,61	0,09	648,40	86,81	0,89	0,16	1,00	0,06	0,29	0,03	0,17	0,05	24,00	6,16	0,18	0,01
2014	1,30	0,08	667,80	33,22	1,12	0,20	1,21	0,20	0,36	0,07	0,23	0,09	131,10	141,24	0,21	0,04
185	1,28	0,10	677,40	23,20	1,17	0,15	1,28	0,27	0,34	0,09	0,18	0,09	232,60	138,28	0,24	0,03
243	1,31	0,06	658,20	41,41	1,06	0,25	1,13	0,05	0,38	0,04	0,28	0,05	29,60	2,70	0,19	0,02
2015	1,04	0,28	498,69	103,48	0,59	0,17	1,37	0,66	0,32	0,05	0,20	0,06	302,14	383,76	0,15	0,03
185	0,79	0,06	426,36	81,75	0,44	0,06	1,69	0,79	0,31	0,06	0,14	0,02	578,10	375,40	0,15	0,05
243	1,30	0,07	571,02	65,81	0,74	0,05	1,05	0,32	0,32	0,04	0,25	0,04	26,18	7,73	0,15	0,02
2016	1,47	0,09	466,45	51,49	0,88	0,27	1,25	0,50	0,34	0,12	0,20	0,11	115,69	87,34	0,16	0,05
185	1,47	0,10	495,59	45,55	0,79	0,08	0,89	0,07	0,26	0,06	0,14	0,06	173,91	92,60	0,20	0,02
243	1,47	0,10	437,32	42,05	0,97	0,36	1,61	0,47	0,43	0,10	0,27	0,11	57,47	10,72	0,11	0,01
2017	1,32	0,09	471,34	138,56	0,59	0,27	1,18	0,49	0,31	0,12	0,20	0,10	107,19	77,29	0,15	0,07
185	1,31	0,11	565,72	125,91	0,62	0,28	0,98	0,27	0,23	0,06	0,13	0,04	164,61	71,29	0,24	0,03
243	1,32	0,07	376,95	71,22	0,55	0,29	1,39	0,61	0,40	0,09	0,28	0,06	49,77	10,76	0,15	0,02
2018	1,42	0,16	500,91	47,48	0,61	0,16	0,87	0,16	0,24	0,24	0,17	0,06	137,27	80,36	0,19	0,06
185	1,52	0,11	472,09	43,84	0,56	0,08	0,93	0,15	0,19	0,19	0,13	0,05	197,68	71,58	0,24	0,03
243	1,32	0,14	529,72	32,79	0,67	0,21	0,81	0,16	0,29	0,29	0,20	0,05	76,85	16,80	0,15	0,02

Tableau 13 : Teneur foliaire des espèces communes - Forêt-Nord (2007-2018)

L'analyse foliaire des espèces communes des parcelles en Forêt-Nord montrent plusieurs tendances :

- Les teneurs en P, K et S sont plus bas que pour les autres éléments mesurées pour l'ensemble des espèces.
- Toutes les espèces possèdent des teneurs en Calcium (Ca) supérieures aux concentrations de Magnésium (Mg).
- Les teneurs en N, S et Ca sont les plus élevées dans les échantillons de *Garcinia neglecta* suivi de *Gardenia aubreyi*, de *Sparattosyce dioica* et *Xylopiya cf. veillardii*.

Caractéristiques chimiques des végétaux communs sur les parcelles de Pic du Grand Kaori

Espèces par année et altitude (m)	N			P			K			Ca			Mg			Na			Mn			S		
	%	Écart		ppm	Écart		%	Écart		%	Écart		%	Écart		%	Écart		ppm	Écart		%	Écart	
Gardenia-aubryi	1,09	0,20		268	49		0,842	0,351		1,00	0,37		0,33	0,09		0,36	0,36		67	239		0,15	0,03	
2007	1,03	0,16		266	40		0,801	0,295		1,40	0,64		0,37	0,07		0,44	0,12		60	42		0,17	0,05	
240	1,15	0,09		281	26		0,911	0,185		1,07	0,21		0,33	0,06		0,53	0,08		46	11		0,19	0,03	
250	1,12	0,08		289	31		1,000	0,139		1,06	0,23		0,40	0,08		0,46	0,05		83	68		0,15	0,02	
315	1,04	0,07		275	43		0,928	0,183		1,04	0,07		0,39	0,03		0,51	0,08		28	11		0,11	0,03	
330	0,81	0,06		220	14		0,364	0,055		2,45	0,19		0,35	0,07		0,26	0,03		83	23		0,22	0,03	
2008	1,09	0,11		268	31		0,953	0,209		0,97	0,15		0,35	0,05		0,47	0,08		40	26		0,15	0,04	
240	1,15	0,09		281	25		0,950	0,219		0,93	0,17		0,34	0,07		0,52	0,05		60	30		0,18	0,05	
250	1,06	0,05		242	14		0,781	0,143		0,96	0,14		0,36	0,07		0,44	0,05		50	23		0,12	0,04	
315	0,99	0,12		256	27		0,984	0,167		1,00	0,20		0,37	0,03		0,47	0,09		14	3		0,14	0,01	
330	1,15	0,10		294	27		1,098	0,198		0,98	0,07		0,34	0,04		0,44	0,10		35	14		0,16	0,02	
2009	1,20	0,37		259	25		0,922	0,171		1,19	0,21		0,37	0,07		0,46	0,09		36	20		0,16	0,02	
240	0,69	0,03		241	15		0,905	0,152		0,99	0,11		0,43	0,05		0,55	0,11		29	24		0,16	0,02	
250	1,56	0,20		261	24		1,054	0,097		1,25	0,10		0,37	0,06		0,45	0,09		29	8		0,16	0,01	
315	1,20	0,37		259	25		0,922	0,171		1,19	0,21		0,37	0,07		0,46	0,09		36	20		0,16	0,02	
330	1,35	0,08		284	31		0,690	0,215		1,16	0,18		0,38	0,08		0,36	0,07		30	17		0,15	0,02	
2010	1,30	0,10		273	30		0,833	0,236		1,02	0,31		0,34	0,08		0,34	0,05		44	54		0,15	0,03	
240	1,35	0,08		284	31		0,690	0,215		1,16	0,18		0,38	0,08		0,36	0,07		30	17		0,15	0,02	
250	1,28	0,13		266	19		0,868	0,209		0,89	0,16		0,31	0,07		0,33	0,03		52	18		0,14	0,02	
315	1,25	0,10		258	34		0,782	0,301		1,09	0,56		0,38	0,09		0,33	0,05		63	107		0,17	0,04	
330	1,31	0,09		284	32		0,991	0,096		0,97	0,11		0,30	0,04		0,34	0,05		32	9		0,14	0,02	
2012	1,10	0,13		291	38		1,094	0,287		0,99	0,14		0,36	0,09		0,35	0,10		52	29		0,16	0,02	
240	1,22	0,10		317	37		1,106	0,181		0,92	0,10		0,36	0,07		0,35	0,10		70	30		0,17	0,02	
250	1,18	0,07		312	20		1,410	0,222		0,99	0,13		0,26	0,03		0,23	0,06		72	23		0,17	0,02	
315	0,99	0,06		253	24		0,945	0,229		1,00	0,14		0,42	0,08		0,41	0,08		28	18		0,14	0,01	
330	1,01	0,10		282	35		0,916	0,234		1,04	0,17		0,40	0,09		0,39	0,05		40	19		0,16	0,02	
2013	1,01	0,13		298	41		0,957	0,199		0,99	0,17		0,34	0,06		0,33	0,10		37	21		0,18	0,03	
240	1,04	0,10		330	13		0,888	0,191		0,99	0,28		0,36	0,08		0,32	0,07		24	9		0,18	0,01	
250	1,08	0,21		300	54		1,029	0,214		1,02	0,20		0,30	0,05		0,29	0,09		53	22		0,18	0,02	
315	0,95	0,05		264	20		0,856	0,204		0,96	0,08		0,38	0,05		0,45	0,10		32	23		0,17	0,01	
330	0,99	0,09		298	41		1,055	0,165		0,98	0,11		0,31	0,02		0,26	0,07		41	21		0,19	0,05	
2014	1,02	0,16		277	36		1,009	0,212		1,05	0,15		0,37	0,10		0,41	0,09		37	13		0,17	0,02	
240	1,04	0,21		308	13		1,096	0,265		1,05	0,13		0,30	0,03		0,37	0,09		38	16		0,18	0,02	
250	1,06	0,22		248	29		1,093	0,157		0,96	0,07		0,35	0,11		0,37	0,05		39	13		0,15	0,02	
315	0,94	0,06		282	45		0,937	0,255		1,02	0,20		0,41	0,07		0,40	0,06		31	7		0,16	0,01	
330	1,05	0,11		270	26		0,908	0,124		1,20	0,10		0,45	0,11		0,53	0,07		40	17		0,18	0,02	
2015	1,00	0,11		244	84		0,766	0,414		0,90	0,46		0,26	0,07		0,26	0,14		309	859		0,13	0,02	
240	1,25	0,06		298	48		1,055	0,270		0,71	0,15		0,25	0,03		0,29	0,05		28	6		0,14	0,01	
250	1,03	0,11		297	58		1,111	0,208		0,61	0,13		0,28	0,05		0,23	0,05		28	16		0,13	0,02	
315	1,17	0,06		340	53		1,091	0,199		0,91	0,12		0,27	0,02		0,24	0,07		38	45		0,14	0,01	
330	1,13	0,09		315	25		0,849	0,179		0,83	0,05		0,30	0,06		0,32	0,06		32	19		0,13	0,01	
2016	1,15	0,11		312	47		1,026	0,226		0,76	0,16		0,28	0,05		0,27	0,07		31	24		0,13	0,02	
240	1,17	0,06		340	53		1,091	0,199		0,91	0,12		0,27	0,02		0,24	0,07		38	45		0,14	0,01	
250	1,13	0,09		315	25		0,849	0,179		0,83	0,05		0,30	0,06		0,32	0,06		32	19		0,13	0,01	
315	1,15	0,11		312	47		1,026	0,226		0,76	0,16		0,28	0,05		0,27	0,07		31	24		0,13	0,02	
330	1,11	0,20		269	47		0,939	0,251		1,13	0,44		0,38	0,14		0,38	0,12		42	33		0,15	0,04	
2017	1,03	0,17		228	40		0,609	0,176		0,60	0,12		0,24	0,06		0,24	0,08		39	58		0,10	0,02	
240	1,14	0,04		265	40		0,696	0,160		0,66	0,09		0,22	0,05		0,30	0,11		30	7		0,12	0,02	
250	0,95	0,22		224	32		0,639	0,164		0,56	0,11		0,23	0,05		0,24	0,06		43	37		0,12	0,01	
315	1,07	0,17		222	13		0,656	0,161		0,48	0,07		0,22	0,05		0,19	0,07		69	112		0,08	0,01	
330	0,97	0,16		202	46		0,444	0,148		0,68	0,09		0,29	0,07		0,22	0,04		16	8		0,09	0,02	
2018	0,93	0,18		212	57		0,76907	0,23991		0,76	0,28		0,26	0,08		0,21	0,21		115	115		0,11	0,02	
240	1,00	0,27		241	69		0,79312	0,18988		0,71	0,41		0,24	0,07		0,29	0,29		92	29		0,12	0,03	
250	0,90	0,18		211	19		0,89941	0,17922		0,79	0,18		0,30	0,11		0,19	0,19		109	60		0,12	0,02	
315	0,86	0,15		235	46		0,82458	0,12262		0,81	0,29		0,26	0,08		0,19	0,19		88	27		0,12	0,03	
330	0,97	0,08		150	51		0,50667	0,32889		0,70	0,28		0,23	0,03		0,18	0,18		187	253		0,10	0,01	

Espèces par année et altitude (m)	N		P		K		Ca		Mg		Na		Mn		S	
	%	Écart	ppm	Écart	%	Écart	%	Écart	%	Écart	%	Écart	ppm	Écart	%	Écart
<i>Sparattosyce dioica</i>	1,28	0,17	349	84	0,953	0,270	1,29	0,41	0,40	0,13	0,24	0,09	86	49	0,11	0,03
2013	1,33	0,11	372	45	1,087	0,221	1,54	0,22	0,40	0,13	0,24	0,08	101	64	0,13	0,01
240	1,41	0,14	396	46	1,061	0,235	1,61	0,23	0,35	0,05	0,27	0,07	72	33	0,13	0,01
250	1,28	0,10	361	36	1,137	0,223	1,44	0,14	0,50	0,15	0,23	0,08	84	21	0,13	0,01
315	1,25	0,06	340	22	0,874	0,084	1,70	0,29	0,44	0,15	0,30	0,07	141	118	0,14	0,00
330	1,36	0,08	389	56	1,276	0,122	1,40	0,08	0,31	0,08	0,18	0,07	106	29	0,14	0,01
2014	1,28	0,26	369	43	1,110	0,243	1,67	0,33	0,51	0,15	0,30	0,09	111	41	0,13	0,01
240	1,24	0,43	374	57	1,115	0,127	1,58	0,33	0,60	0,06	0,25	0,05	89	43	0,12	0,01
250	1,17	0,21	333	36	1,191	0,335	1,53	0,35	0,45	0,20	0,23	0,04	134	45	0,12	0,01
315	1,30	0,12	381	27	1,207	0,224	1,59	0,12	0,38	0,05	0,31	0,05	109	36	0,13	0,01
330	1,40	0,17	385	34	0,929	0,201	1,98	0,32	0,60	0,10	0,42	0,08	113	41	0,15	0,01
2015	1,21	0,07	347	61	0,859	0,233	1,26	0,30	0,40	0,11	0,28	0,08	86	43	0,12	0,02
240	1,25	0,09	308	32	0,756	0,064	0,91	0,24	0,31	0,05	0,33	0,08	70	65	0,14	0,01
250	1,18	0,06	353	51	1,156	0,157	1,29	0,16	0,36	0,12	0,23	0,05	111	49	0,11	0,01
315	1,23	0,05	351	54	0,713	0,228	1,52	0,17	0,41	0,12	0,31	0,06	86	25	0,12	0,01
330	1,18	0,05	375	89	0,814	0,155	1,34	0,28	0,51	0,05	0,26	0,09	78	22	0,13	0,02
2016	1,42	0,09	407	112	1,036	0,222	1,23	0,24	0,39	0,10	0,20	0,05	81	44	0,11	0,01
240	1,43	0,11	351	86	0,861	0,149	1,28	0,24	0,35	0,08	0,21	0,06	85	68	0,12	0,02
250	1,46	0,07	514	98	1,102	0,212	1,14	0,24	0,44	0,09	0,17	0,04	88	37	0,09	0,01
315	1,41	0,06	466	60	1,228	0,170	1,35	0,24	0,39	0,13	0,24	0,04	69	23	0,11	0,01
330	1,39	0,11	298	34	0,952	0,199	1,16	0,24	0,40	0,11	0,20	0,06	82	51	0,10	0,01
2017	1,16	0,14	252	45	0,672	0,153	0,76	0,25	0,32	0,10	0,17	0,05	48	18	0,07	0,01
240	1,25	0,07	272	39	0,568	0,157	1,03	0,26	0,37	0,07	0,22	0,04	59	27	0,08	0,01
250	1,13	0,11	276	37	0,777	0,155	0,75	0,09	0,37	0,10	0,13	0,02	53	13	0,07	0,01
315	1,20	0,10	225	63	0,685	0,132	0,72	0,17	0,23	0,09	0,18	0,06	39	8	0,07	0,01
330	1,07	0,21	234	16	0,658	0,133	0,55	0,22	0,31	0,10	0,18	0,04	42	17	0,06	0,01
2018	1,278	0,2198	248	42	0,652	0,169	1,0028	0,2765	0,3413	0,1217	0,1986	0,0771	148	47	0,101	0,0134
240	1,28	0,10	233	50	0,537	0,081	1,07	0,46	0,35	0,12	0,21	0,08	140	39	0,10	0,0068
250	1,27	0,34	233	32	0,755	0,197	0,95	0,24	0,34	0,11	0,17	0,05	144	51	0,09	0,0131
315	1,36	0,13	239	45	0,630	0,228	0,94	0,17	0,34	0,12	0,19	0,10	171	55	0,10	0,015
330	1,22	0,26	280	27	0,679	0,104	1,04	0,24	0,34	0,16	0,22	0,08	139	48	0,10	0,0155

Tableau 14 : Teneur foliaire des espèces communes - Pic du Grand Kaori (2007-2018)

L'analyse foliaire des espèces communes des parcelles du Pic du Grand Kaori montrent plusieurs tendances :

- Les teneurs en P, K et S sont plus bas que pour les autres éléments mesurées pour l'ensemble des espèces.
- Toutes les espèces possèdent des teneurs en Calcium (Ca) supérieures aux concentrations de Magnésium (Mg).
- Les teneurs en N, S et Ca sont les plus élevées dans les échantillons de *Gardenia aubreyi* suivi de *Sparattosyce dioica*.

Caractéristiques chimiques des végétaux communs sur le Pic du Pin en 2015-2018

Espèces par année et altitude (m)	N		P		K		Ca		Mg		Na		Mn		S	
	%	Écart.	ppm	Écart.	%	Écart.	%	Écart.	%	Écart.	%	Écart.	ppm	Écart.	%	Écart.
Garcinia spp	0,98	0,21	204,65	51,72	0,39	0,19	0,70	0,47	0,22	0,15	0,18	0,12	475,46	473,46	0,13	0,05
2015	0,86	0,11	176,48	13,19	0,31	0,06	0,30	0,13	0,08	0,04	0,11	0,04	664,41	310,26	0,19	0,04
299	0,93	0,06	169,92	9,77	0,34	0,04	0,22	0,03	0,05	0,01	0,11	0,04	713,33	334,11	0,18	0,02
313	0,78	0,09	183,03	13,72	0,28	0,07	0,38	0,14	0,11	0,04	0,12	0,04	615,49	314,61	0,19	0,06
2017	1,11	0,23	232,07	42,55	0,45	0,19	0,86	0,39	0,34	0,16	0,20	0,11	188,48	174,88	0,09	0,03
299	1,32	0,04	258,92	23,77	0,56	0,15	0,68	0,13	0,46	0,13	0,21	0,12	147,45	106,26	0,09	0,03
313	0,89	0,04	205,22	41,32	0,34	0,16	1,04	0,50	0,22	0,07	0,18	0,11	229,51	230,90	0,10	0,02
2018	0,98	0,21	205,42	70,11	0,39	0,25	0,94	0,52	0,23	0,08	0,23	0,16	573,49	673,51	0,11	0,04
299	0,88	0,19	209,72	100,25	0,18	0,10	1,29	0,56	0,24	0,11	0,09	0,03	1018,80	723,67	0,11	0,06
313	1,08	0,19	201,12	31,04	0,60	0,14	0,60	0,09	0,23	0,04	0,38	0,04	128,19	34,58	0,11	0,02
Gardenia aubryi	1,03	0,13	216,30	52,01	0,58	0,30	0,77	0,68	0,19	0,11	0,20	0,07	234,03	341,03	0,13	0,04
2015	1,00	0,11	185,74	32,79	0,78	0,34	0,14	0,04	0,08	0,01	0,20	0,07	45,44	31,66	0,15	0,02
313	1,00	0,11	185,74	32,79	0,78	0,34	0,14	0,04	0,08	0,01	0,20	0,07	45,44	31,66	0,15	0,02
2017	1,10	0,09	258,16	68,88	0,63	0,24	0,66	0,31	0,21	0,07	0,25	0,08	120,38	141,90	0,11	0,03
313	1,10	0,09	258,16	68,88	0,63	0,24	0,66	0,31	0,21	0,07	0,25	0,08	120,38	141,90	0,11	0,03
2018	0,99	0,18	205,00	11,48	0,32	0,11	1,50	0,59	0,29	0,11	0,16	0,06	536,29	459,48	0,13	0,06
313	0,99	0,18	205,00	11,48	0,32	0,11	1,50	0,59	0,29	0,11	0,16	0,06	536,29	459,48	0,13	0,06
Sparattosyce dioica	1,18	0,15	240,29	58,43	0,54	0,32	0,84	0,57	0,31	0,19	0,18	0,10	430,20	359,65	0,11	0,05
2015	1,25	0,09	184,00	25,08	0,88	0,24	0,16	0,04	0,12	0,02	0,24	0,08	205,02	200,71	0,13	0,02
299	1,25	0,09	184,00	25,08	0,88	0,24	0,16	0,04	0,12	0,02	0,24	0,08	205,02	200,71	0,13	0,02
2017	1,05	0,11	243,07	57,47	0,26	0,08	1,27	0,46	0,27	0,06	0,07	0,03	813,51	347,83	0,13	0,05
299	1,05	0,11	243,07	57,47	0,26	0,08	1,27	0,46	0,27	0,06	0,07	0,03	813,51	347,83	0,13	0,05
2018	1,24	0,15	293,81	21,61	0,47	0,23	1,10	0,23	0,54	0,11	0,22	0,08	272,08	114,74	0,09	0,05
299	1,24	0,15	293,81	21,61	0,47	0,23	1,10	0,23	0,54	0,11	0,22	0,08	272,08	114,74	0,09	0,05
Total général	1,04	0,19	216,47	54,61	0,47	0,27	0,75	0,55	0,23	0,16	0,19	0,10	403,79	422,60	0,13	0,05

Tableau 15 : Teneur foliaire des espèces communes - Pic du Pin (2015-2018)

L'analyse foliaire des espèces communes des parcelles du Pic du Pin montre plusieurs tendances :

- Les teneurs en P, K et S sont plus bas que pour les autres éléments mesurés pour l'ensemble des espèces.
- Toutes les espèces possèdent des teneurs en Calcium (Ca) supérieures aux concentrations de Magnésium (Mg).
- Les teneurs en N, S et Ca sont les plus élevées dans les échantillons de *Garcinia neglecta* suivi de *Gardenia aubreyi* et de *Sparattosyce dioica*

3.6 Analyse de variance (ANOVA) de la teneur en éléments dans le sol, la litière et les espèces communes

ANOVA des éléments dans le sol de Forêt-Nord

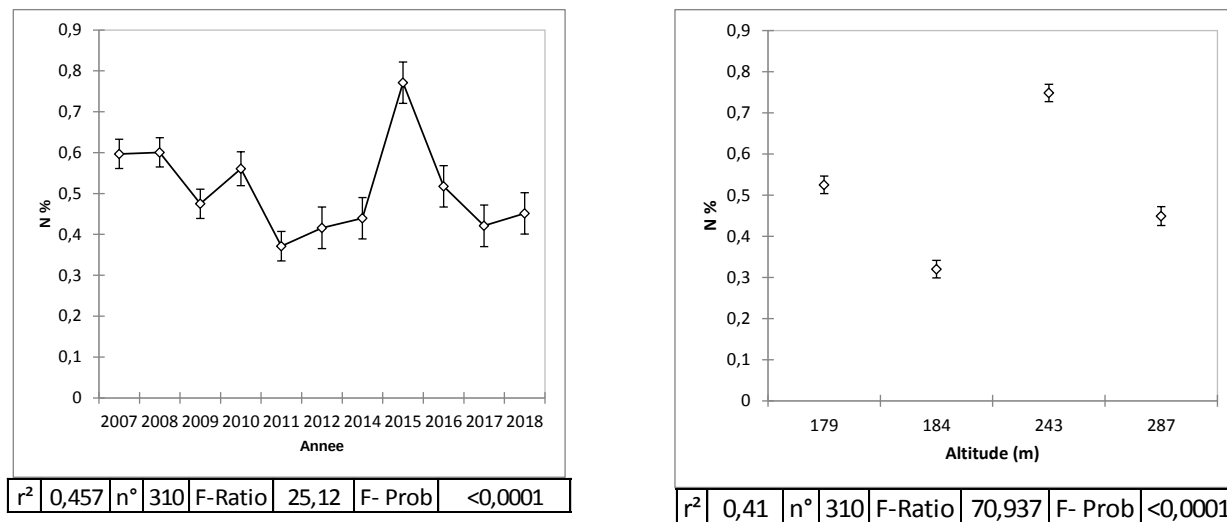


Figure 15 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

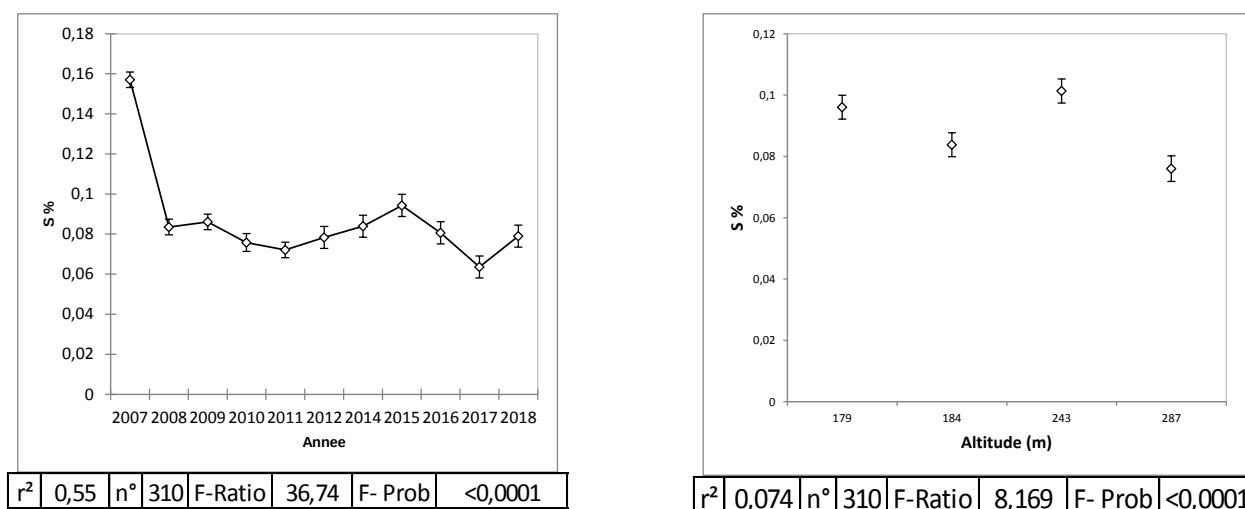


Figure 16 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Forêt-Nord

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des sols de Forêt-Nord prélevés sur les parcelles permanentes de 2007 à 2018 montre plusieurs tendances :

- Les teneurs en S et N montrent une diminution significative de 2007 à 2011 suivies d'une augmentation à 2015 et d'une diminution en 2016/ 2017 pour augmenter au finale en 2018
- Les teneurs en N et S varient de manière significative entre les parcelles se trouvant à des altitudes différentes.

ANOVA des éléments dans les sols des parcelles du Pic du Grand Kaori

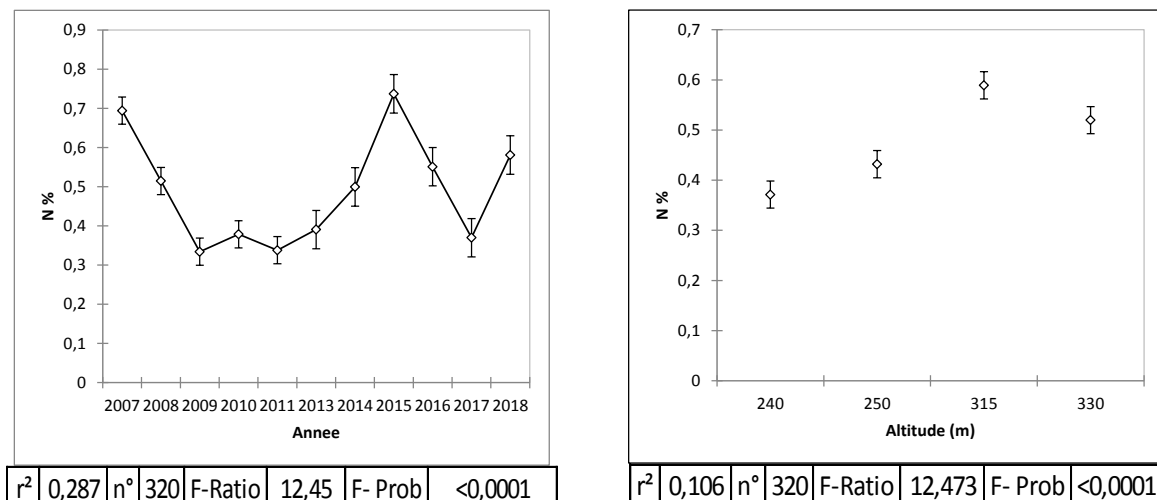


Figure 17 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

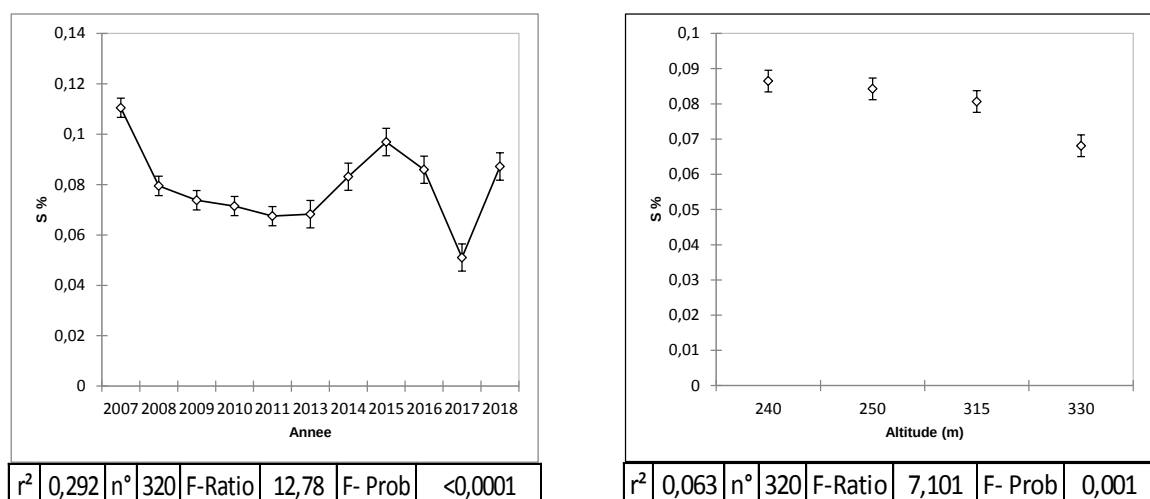


Figure 18 : ANOVA teneur en Carbone total (S-%) des sols - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des sols de Pic du Grand Kaori prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2018 montre plusieurs tendances :

- Les teneurs en N, et S, montrent une diminution significative de 2007 à 2011 suivis d'une augmentation à 2015 suivi d'une diminution en 2016/2017 pour au final augmenter en 2018.
- Les teneurs en N varient de manière significative entre les parcelles se trouvant à des altitudes différentes.
- La teneur en S diminue de manière légèrement significative avec l'augmentation en altitude.

ANOVA des éléments dans les sols des parcelles du Pic du Pin

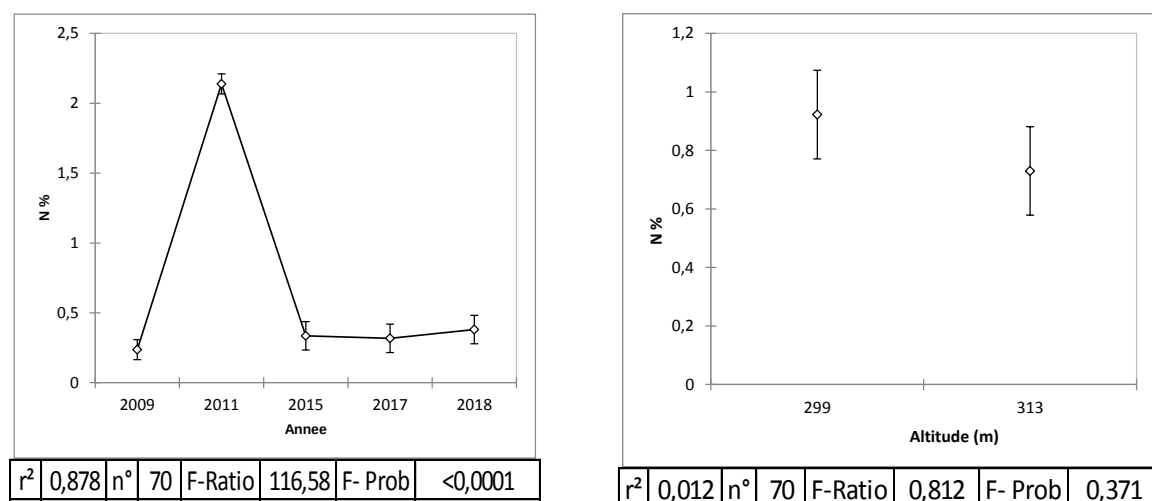


Figure 19 : ANOVA teneur en Azote total (N %) des sols - Pic du Pin selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

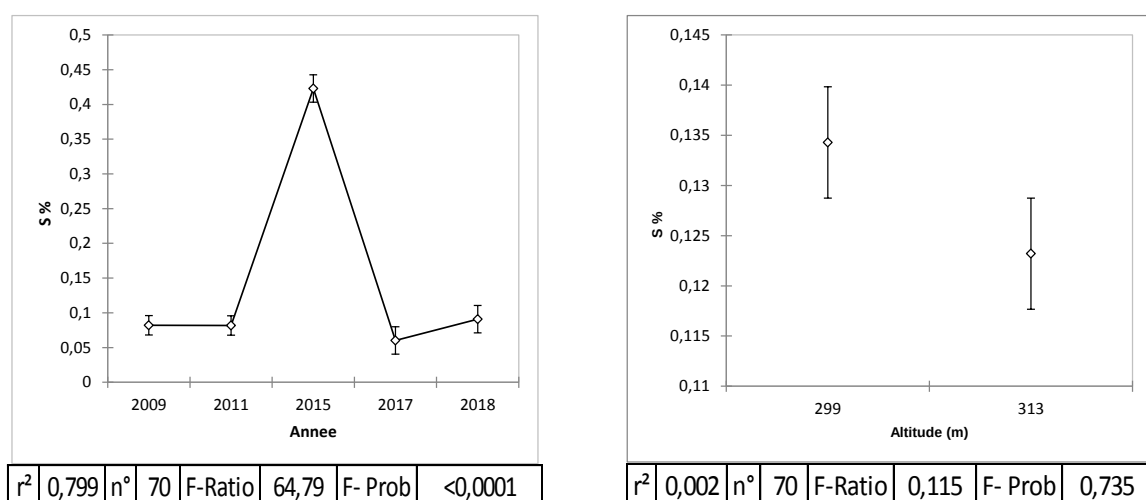


Figure 20 : ANOVA teneur en Soufre total (S %) des sols - Pic du Pin selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des sols du Pic du Pin prélevés sur les parcelles permanentes de 2009 à 2018 montre plusieurs tendances :

- Les teneurs en N, montrent une augmentation significative de 2009 à 2011 suivis d'une diminution en 2015.
- Les teneurs en S montrent une légère diminution de 2009 à 2015 qui n'est pas significative.
- Les teneurs en N varient de manière significative entre les parcelles se trouvant à des altitudes différentes.
- La teneur en S augmente de manière non significative avec selon l'altitude entre les deux parcelles à Pic du Pin.

ANOVA des éléments dans la litière des parcelles de Forêt-Nord

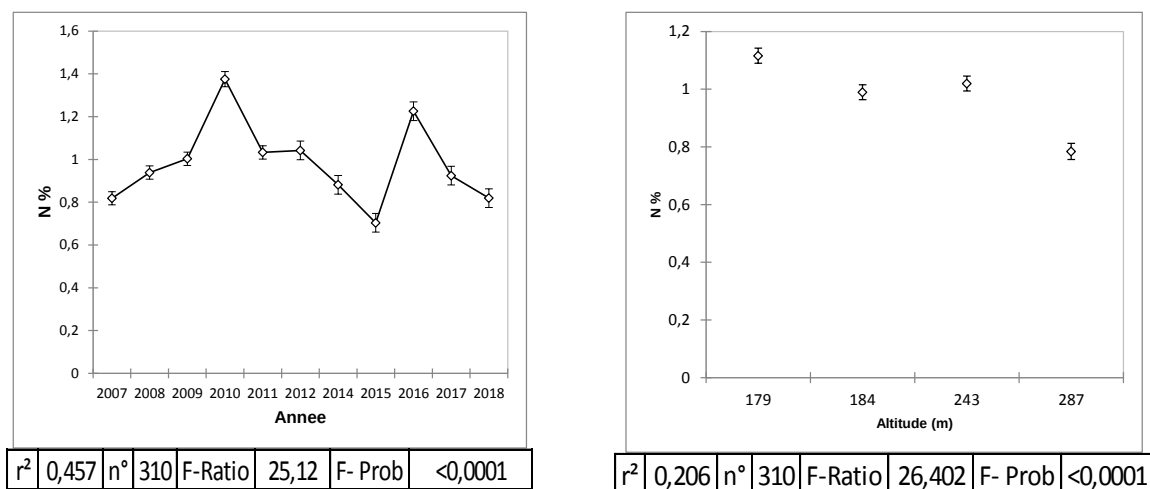
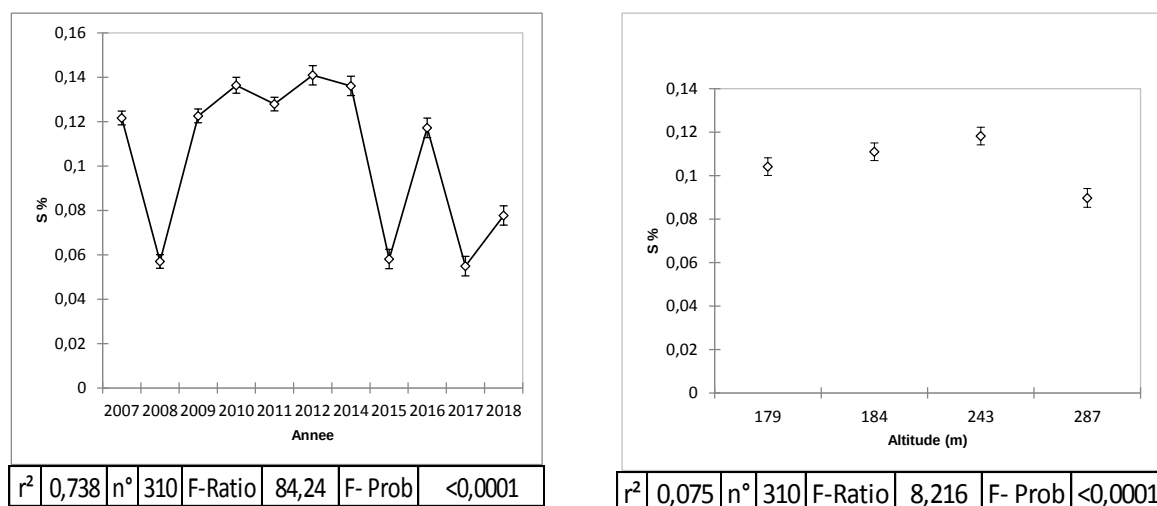


Figure 21 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des litières - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)



L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des litières de Forêt-Nord prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2018 montre plusieurs tendances :

- La teneur en N montre une augmentation significative de 2007 à 2010 et une diminution depuis 2011 à 2015 suivis d'une augmentation en 2016 et qui pourrait suggérer des variations cycliques.
- Les teneurs en S oscillent de façon significative entre 2007 et 2015 suivis d'une diminution en 2016. Ces changements pourraient être considérés comme des variations cycliques.
- Les teneurs en N et S varient de manière significative entre les parcelles se trouvant à des altitudes différentes.

ANOVA des éléments dans la litière des parcelles du Pic du Grand Kaori

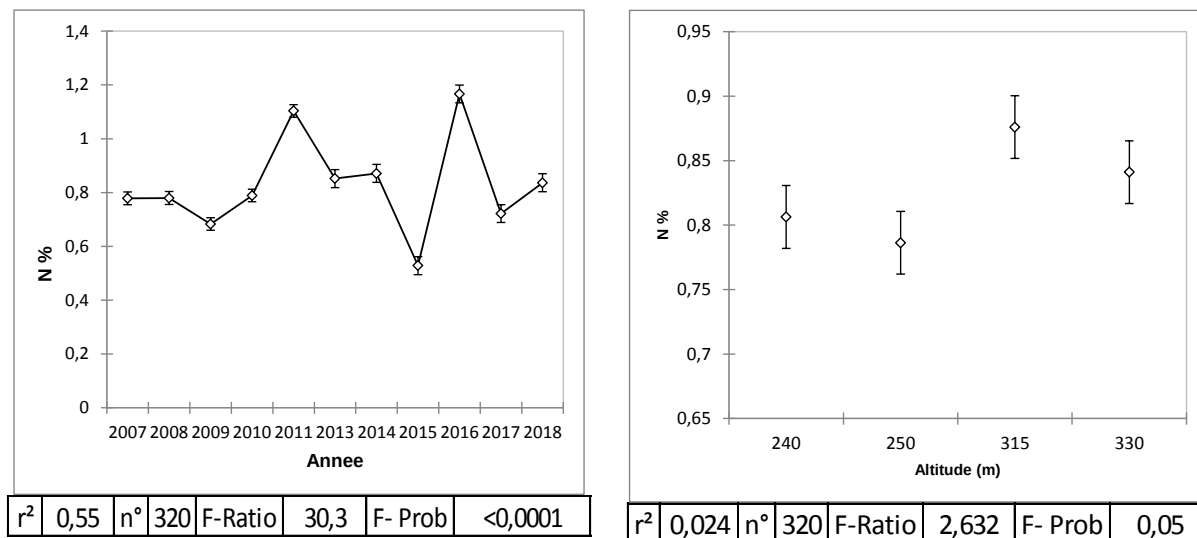


Figure 22 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des litières - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

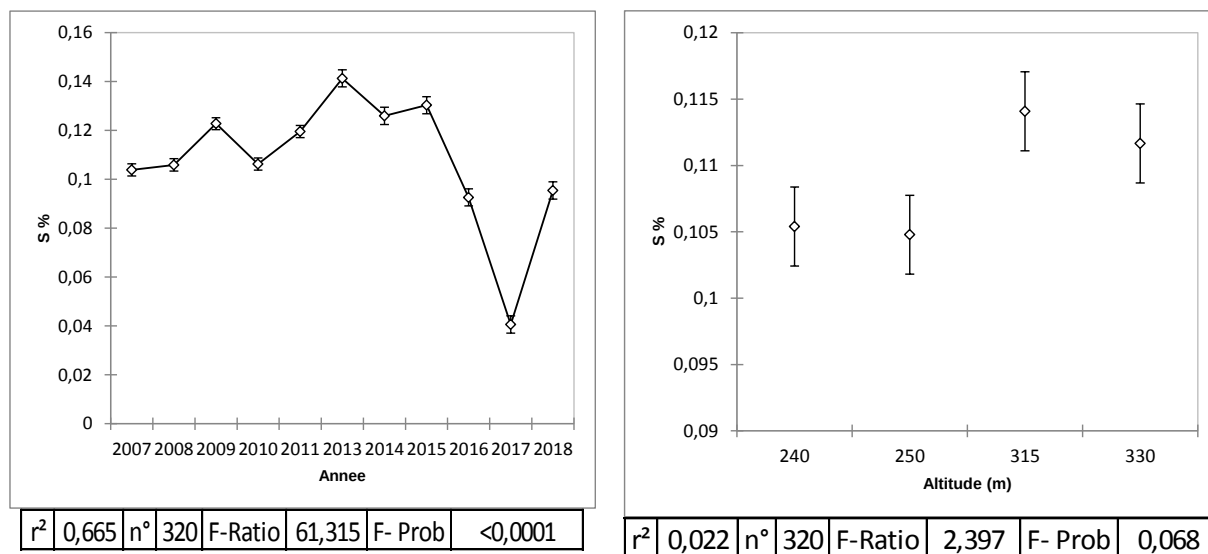


Figure 23 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des litières - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des litières du Pic du Grand Kaori prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2018 montre plusieurs tendances :

- Les teneurs en N montrent une augmentation significative de 2007 à 2011 suivis d'une diminution à 2015 suivi d'une augmentation en 2016 et diminution en 2017 suggérant des variations cycliques.
- Les teneurs en S augment de manière significative aussi entre 2007 et 2015 et ensuite diminuent en 2016 à des valeurs semblables à 2007.
- Les teneurs en S varient de manière légèrement significative entre les parcelles selon l'altitude dont les parcelles de haut contiennent des teneurs en S légèrement plus élevées que les parcelles de bas.

ANOVA des éléments dans la litière des parcelles du Pic du Pin

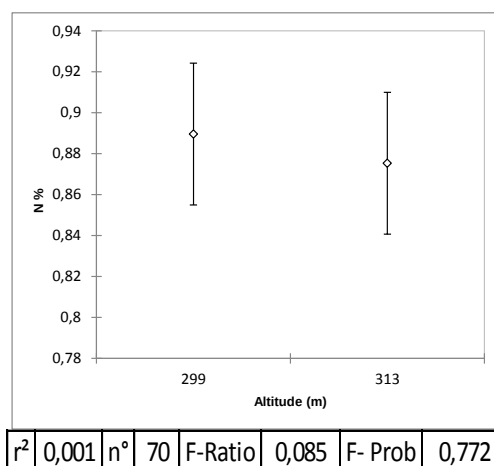
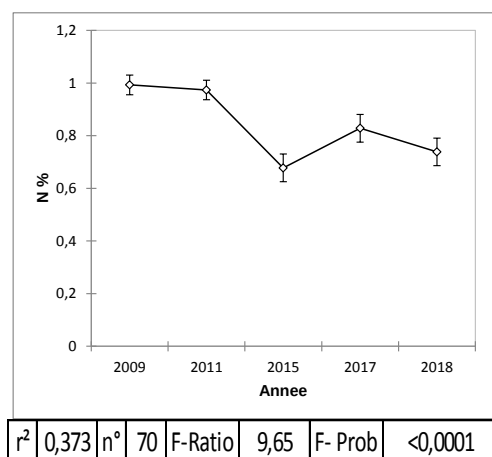


Figure 24 : ANOVA teneur en Azote total (N- %) des litières - Pic du Pin selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

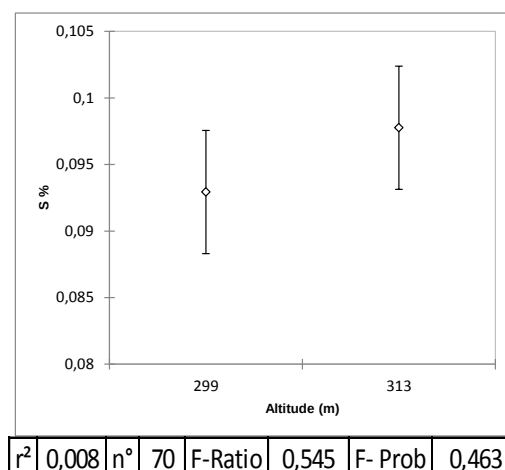
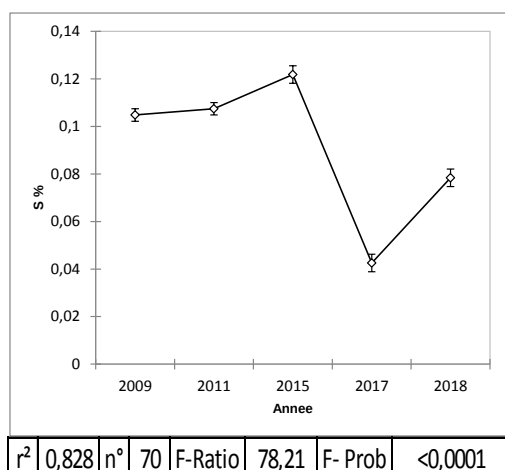


Figure 25 : ANOVA teneur en Soufre total (S- %) des litières - Pic du Pin selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des litières du Pic du Grand Kaori prélevées sur les parcelles permanentes de 2009 à 2018 montre plusieurs tendances :

- Les teneurs en N montrent une diminution significative de 2009 à 2015 suivis d'une augmentation en 2017.
- Les teneurs en S montrent une augmentation du 2009 à 2015 et diminution significative en 2017.

ANOVA des éléments dans les feuilles de *Garcinia neglecta* sur les parcelles de Forêt-Nord

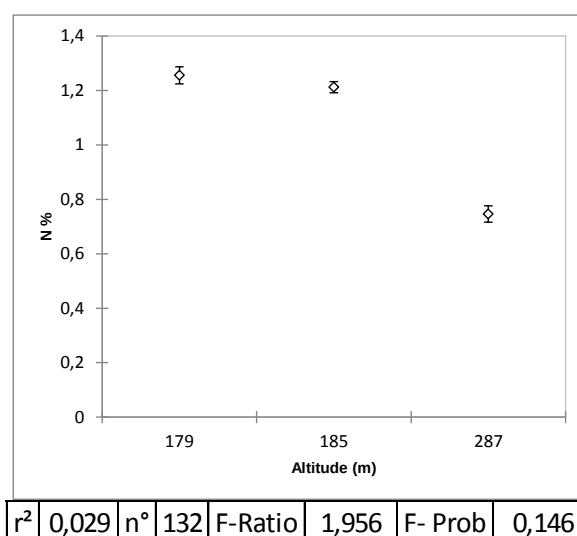
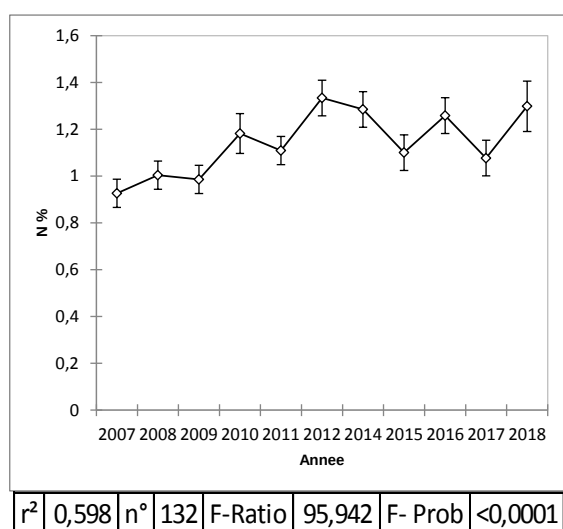


Figure 26 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Garcinia neglecta* (Guttiferae) - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

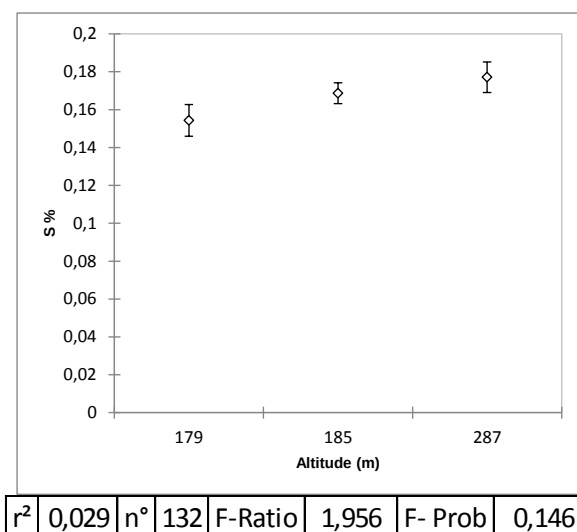
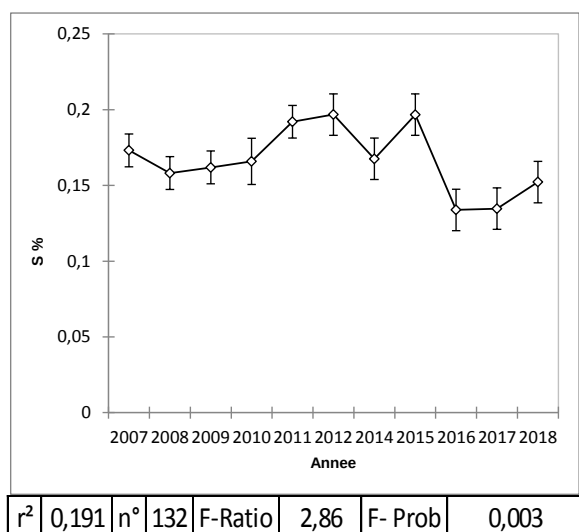


Figure 27 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de *Garcinia neglecta* (Guttiferae)- Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

ANOVA des éléments dans les feuilles de *Gardenia aubreyi* sur les parcelles de Forêt-Nord

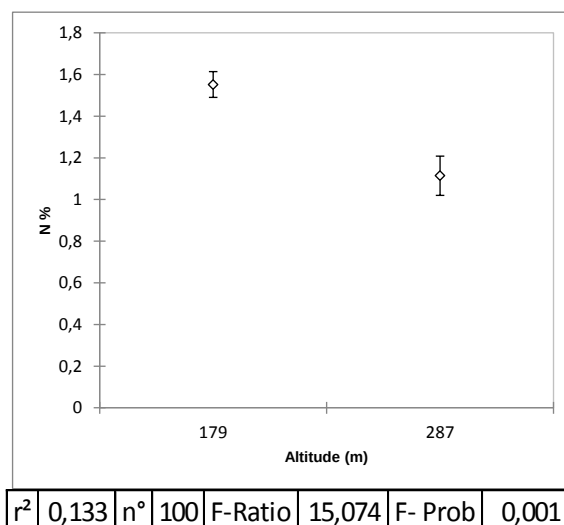
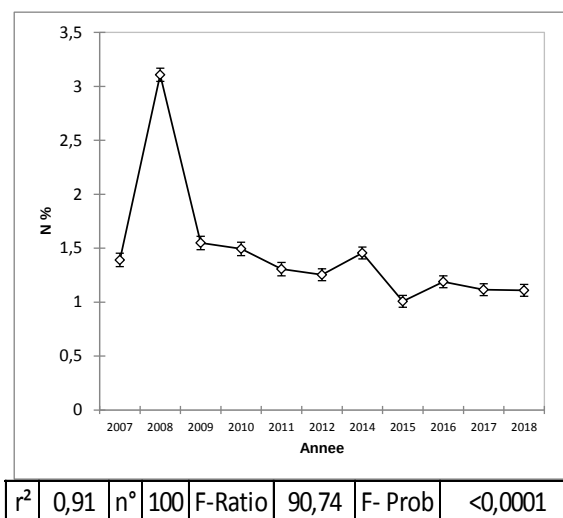


Figure 28 : ANOVA teneur en Azote total (N- %) des feuilles de *Gardenia aubreyi* - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

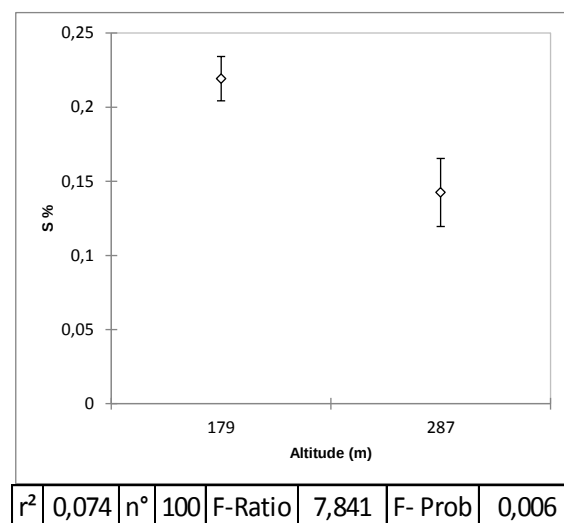
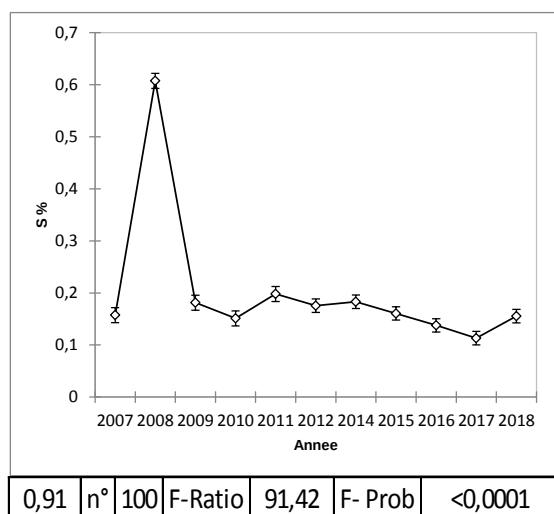


Figure 29 : ANOVA teneur en Soufre total (S- %) des feuilles de *Gardenia aubreyi* - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

ANOVA des éléments dans les feuilles de *Sparattosyce dioica* sur les parcelles de Forêt-Nord

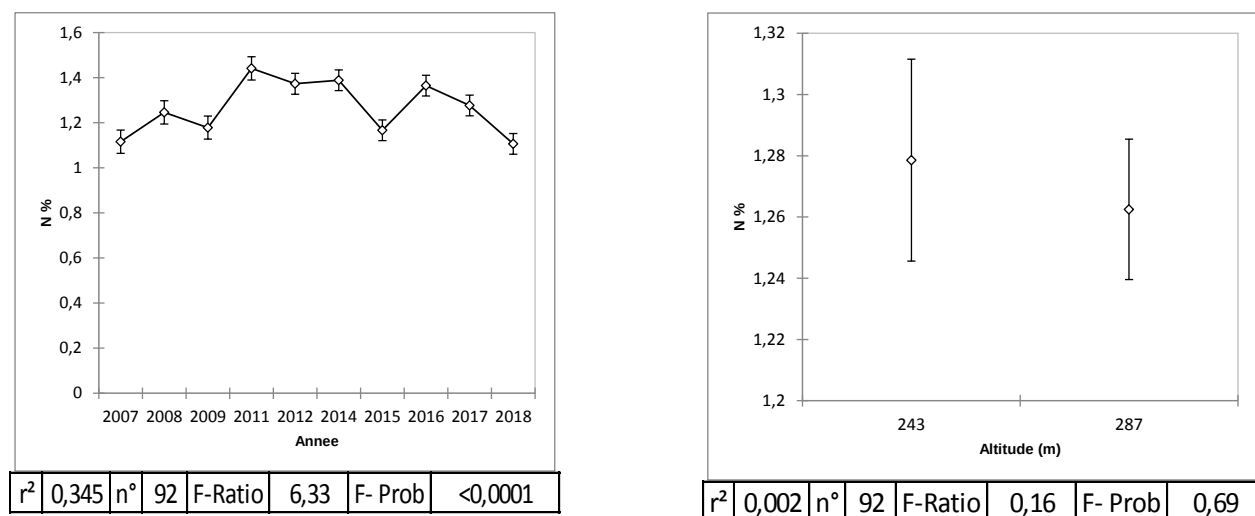


Figure 30 : ANOVA teneur en Azote total (N- %) des feuilles de *Sparattosyce dioica* - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

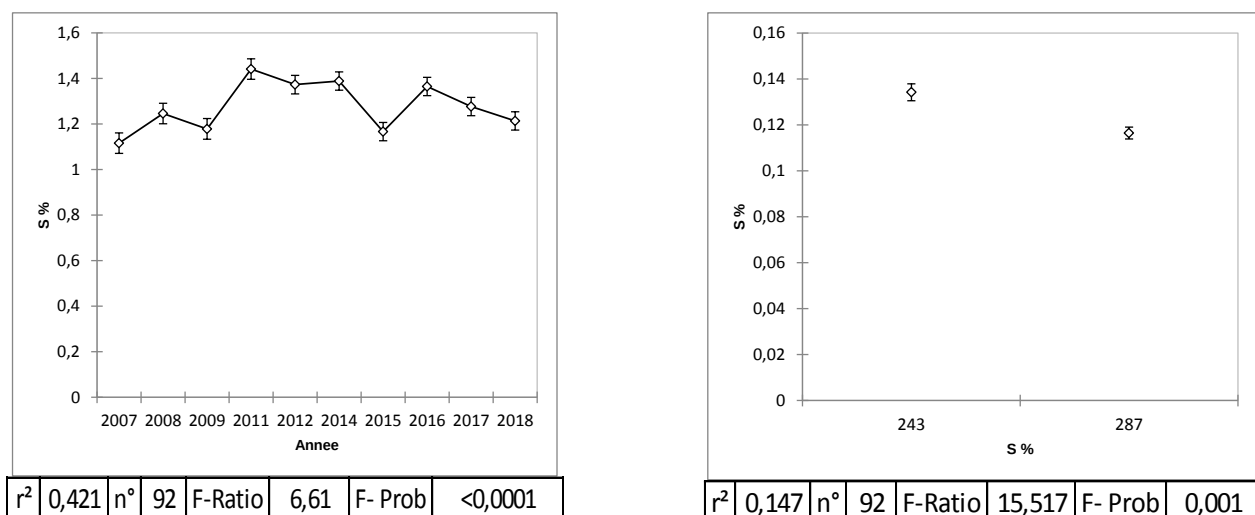


Figure 31 : ANOVA teneur en Soufre total (S- %) des feuilles de *Sparattosyce dioica* - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

ANOVA des éléments dans les feuilles de *Xylopia* sp. sur les parcelles de Forêt-Nord

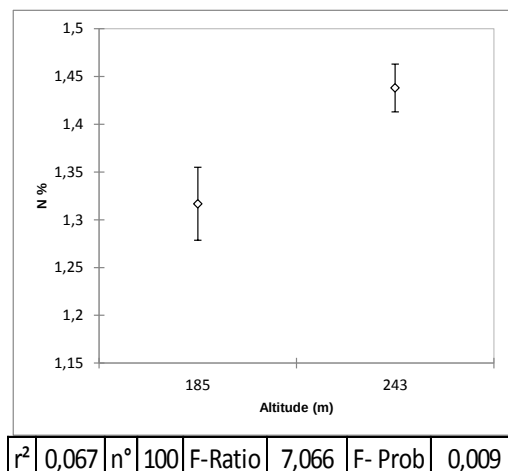
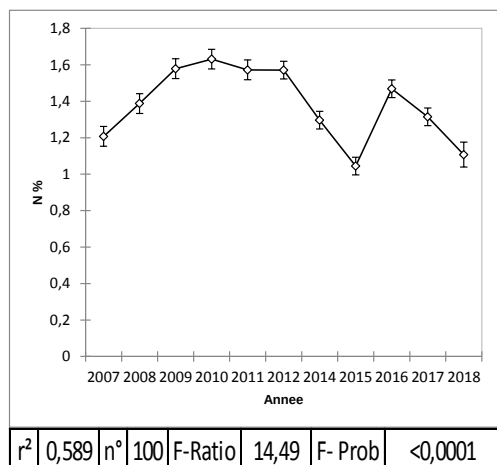


Figure 32 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Xylopia* sp. - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

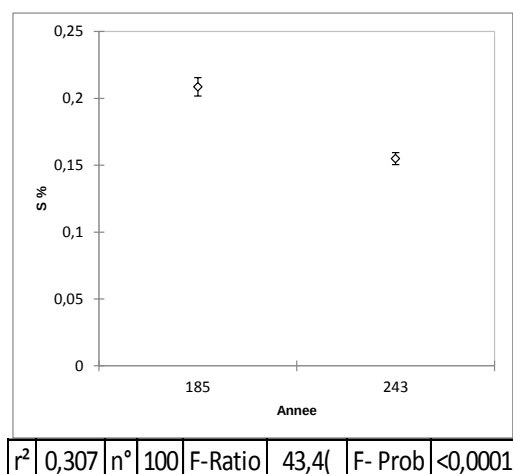
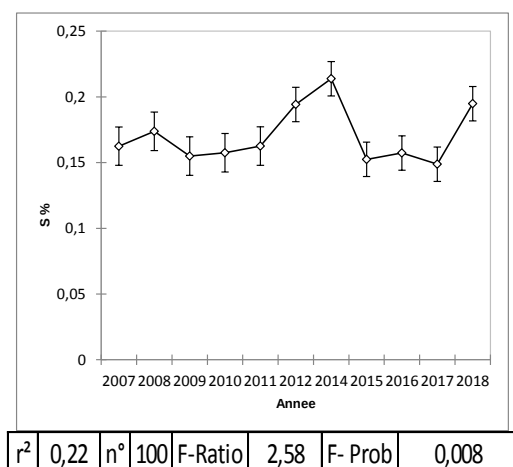
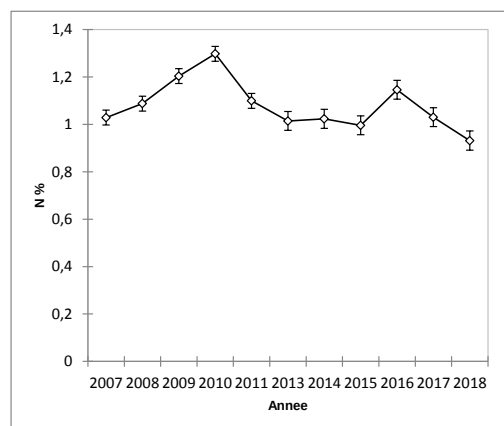


Figure 33 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de *Xylopia* sp. - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

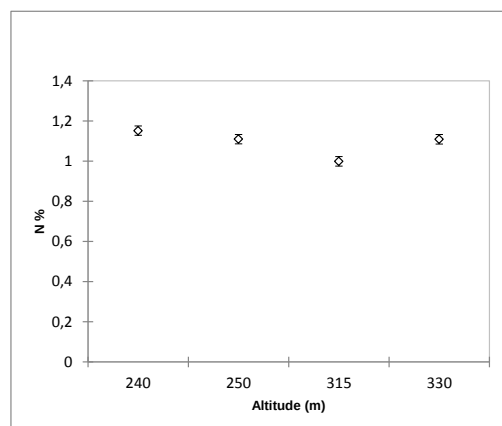
L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des feuilles de *Garcinia neglecta*, *Gardenia aubreyi*, *Sparattocyce dioica* et *Xylopia pancheri* prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2018 en Forêt-Nord montrent plusieurs tendances :

- Les teneurs en N chez *Garcinia* et *Sparattocyce* ont montrées une augmentation significative de 2007 à 2016 suivis d'une diminution en 2017.
- Les teneurs en N de *Xylopia* ont montrées une augmentation de 2007 à 2011 et ensuite diminuent à 2015 pour ensuite osciller en 2016/2017 suggérant un cycle naturel en azote.
- Les teneurs en S des feuilles de *Sparattocyce* montrent des augmentations significatives entre 2007 et 2016 pour diminuer en 2017. Les valeurs aléatoires en S suivent souvent les mêmes tendances que N suggérant que les variations pourraient être cycliques.
- Des variations sont légèrement significatives dans les teneurs en S des feuilles de *Garcinia* entre 2007 et 2017. Les valeurs en 2016 et 2017 sont inférieures à les premières 3 années.
- Les teneurs en N des feuilles de *Garcinia* et *Gardenia* montrent des différences entre les parcelles selon l'altitude avec les parcelles basses contenant une plus forte teneur que les parcelles hautes.
- Les teneurs en S des feuilles de *Gardenia*, *Sparattocyce* et *Xylopia* montrent des différences significatives qui sont légères entre les parcelles selon l'altitude avec les parcelles basses contenant une plus forte teneur que les parcelles hautes.

ANOVA des éléments dans *Gardenia aubreyi* des parcelles du Pic du Grand Kaori

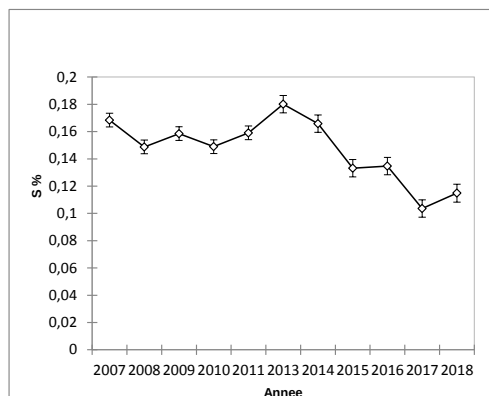


r^2	0,254	n°	279	F-Ratio	9,147	F- Prob	<0,0001
-------	-------	-----------	-----	---------	-------	---------	---------

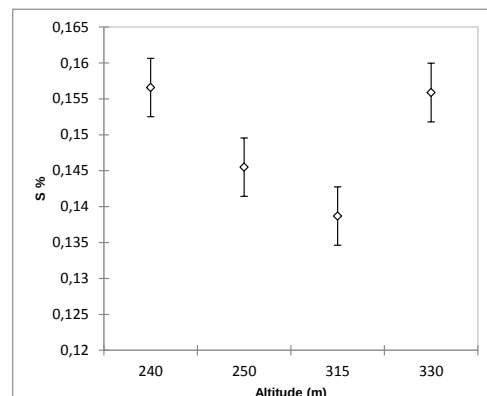


r^2	0,078	n°	279	F-Ratio	7,803	F- Prob	<0,0001
-------	-------	-----------	-----	---------	-------	---------	---------

Figure 34 : ANOVA teneur en Azote total (N - %) des feuilles de *Gardenia aubreyi* – Pic du Grand kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)



r^2	0,347	n°	279	F-Ratio	14,23	F- Prob	<0,0001
-------	-------	-----------	-----	---------	-------	---------	---------



r^2	0,047	n°	279	F-Ratio	4,497	F- Prob	0,004
-------	-------	-----------	-----	---------	-------	---------	-------

Figure 35 : ANOVA teneur en Soufre total (S- %) des feuilles de *Gardenia aubreyi* - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

ANOVA des éléments dans *Sparattosyce dioica* des parcelles du Pic du Grand Kaori

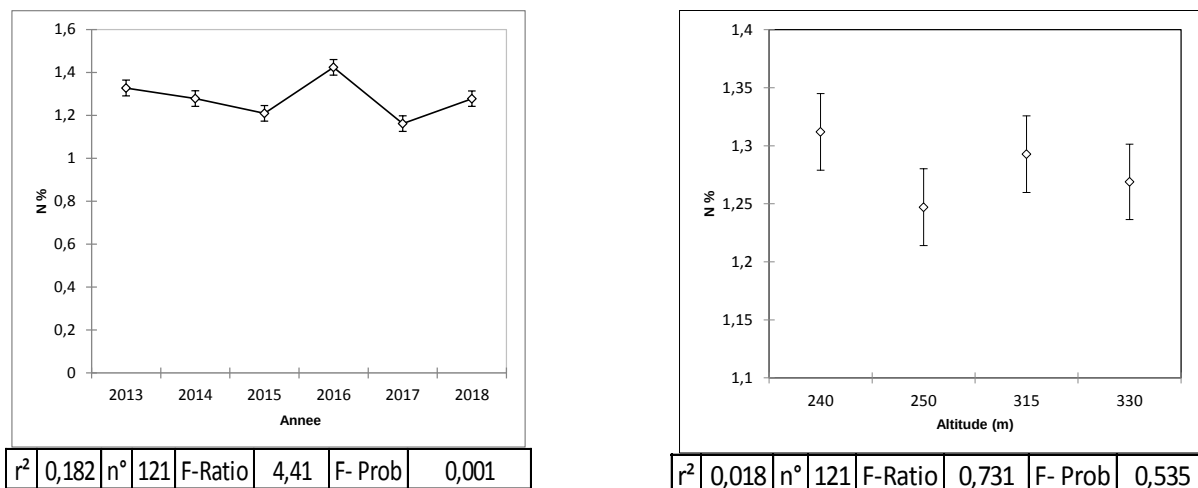


Figure 36 : ANOVA teneur en Azote total (N - %) des feuilles de *Sparattosyce dioica* – Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

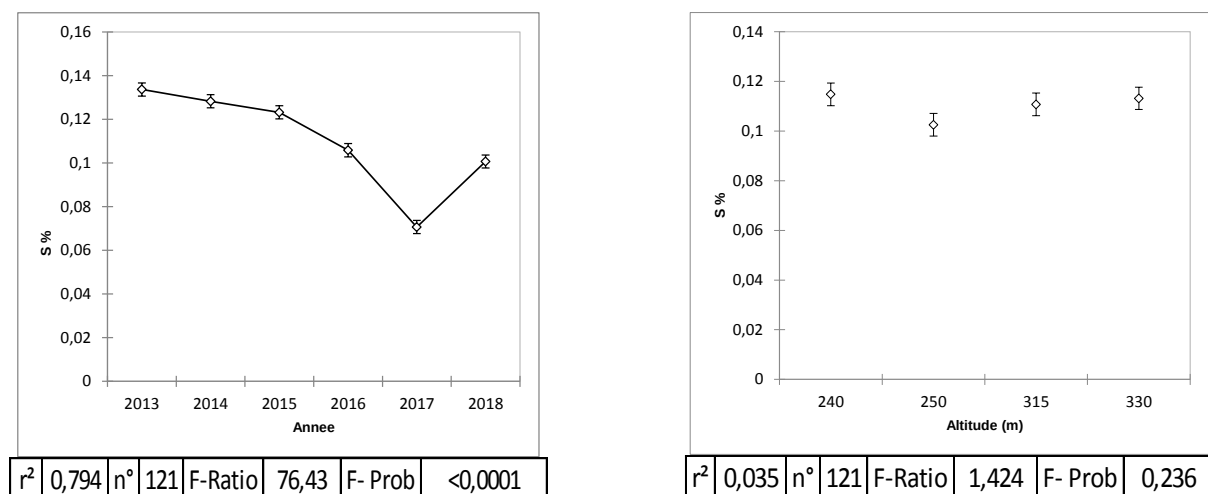


Figure 37 : ANOVA teneur en Soufre (S- %) des feuilles de *Sparattosyce dioica* – Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des feuilles de *Gardenia aubreyi* and *Sparattosyce dioica* prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2018 à Pic du Grand Kaori montre plusieurs tendances :

- Les feuilles de *Gardenia* montrent une augmentation significative de leurs teneurs en N de 2007 à 2010 suivie par une diminution significative entre 2010 à 2014/2015. Les teneurs en N ont augmenté en 2016 pour diminuer en 2017 en dessous de la moyenne.
- Les teneurs en S des feuilles de *Gardenia* montrent une tendance générale de diminution entre 2007 et 2017 qui sont significative. Les tendances aléatoires de 2007 à 2013 sont suivies d'une diminution plutôt constante de 2013 à 2017.
- La teneur en S des feuilles de *Gardenia* montrent des différences significatives entre les parcelles selon l'altitude et de manière aléatoire.

ANOVA des éléments dans les feuilles de *Garcinia neglecta* sur les parcelles du Pic du Pin

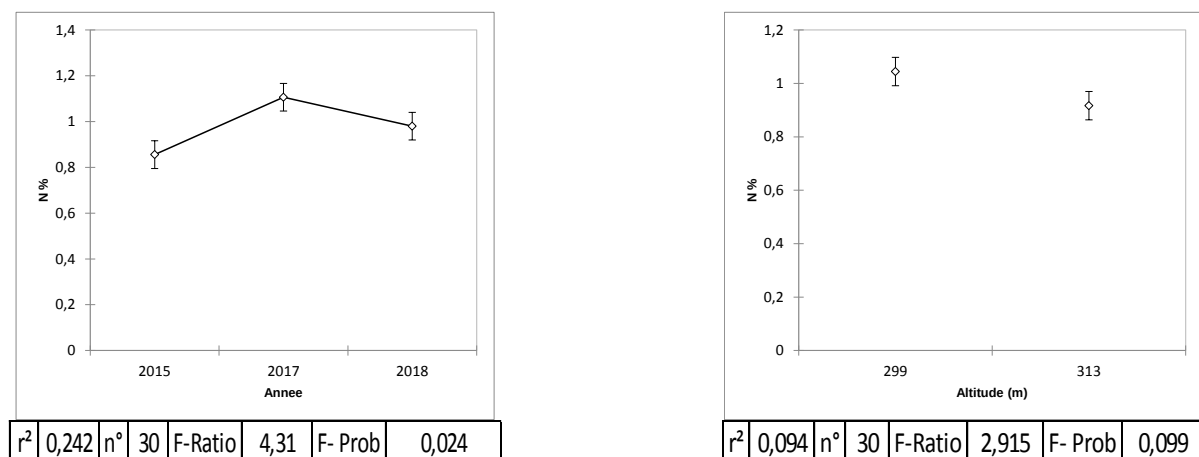


Figure 38 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Garcinia neglecta* - Pic du Pin selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

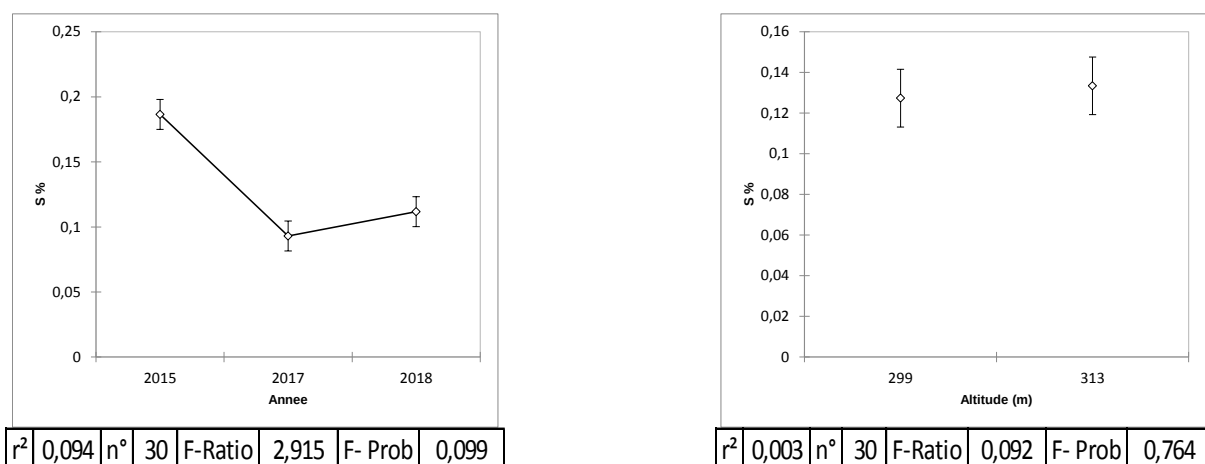


Figure 39 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de *Garcinia neglecta* - Pic du Pin selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

ANOVA des éléments dans les feuilles de *Gardenia aubreyi* sur les parcelles du Pic du Pin

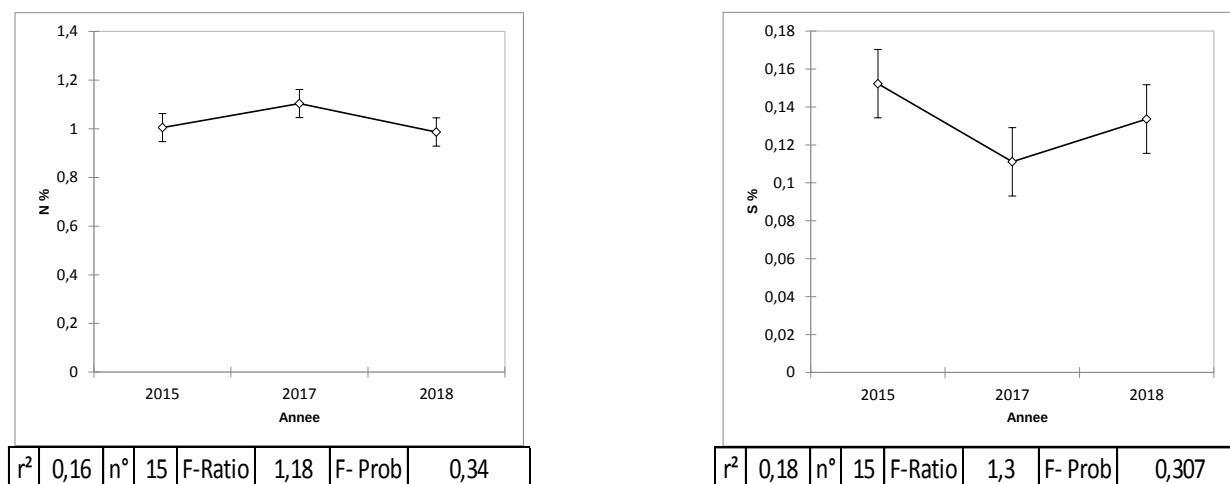


Figure 40 : ANOVA teneur en Azote (N-%)(gauche) et Soufre (S-%) (droit) des feuilles de *Gardenia aubreyi* - Pic du Pin selon l'année

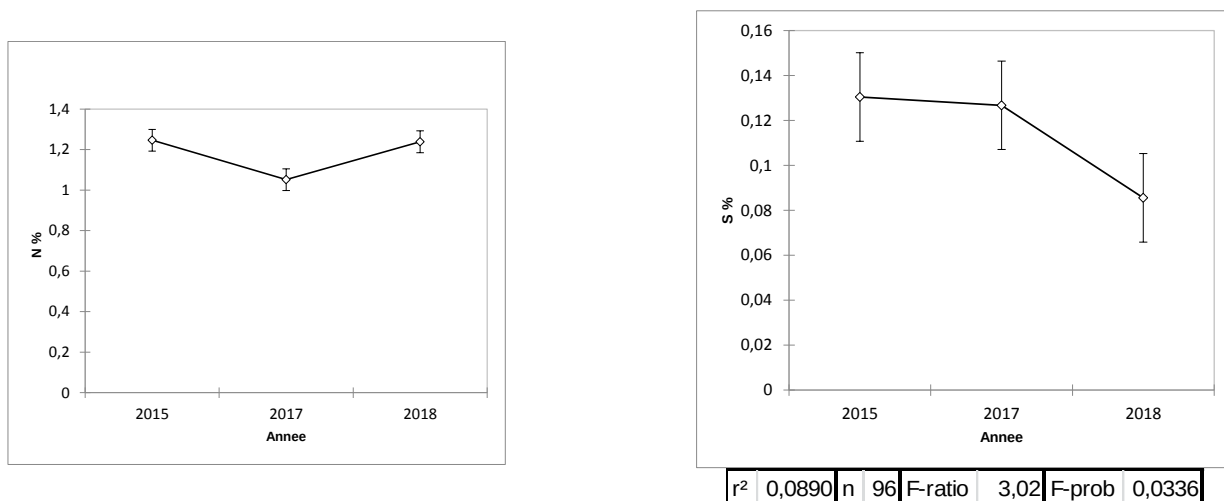


Figure 41 : ANOVA teneur en Azote (N- %)(gauche) et Soufre (S- %) (droit) des feuilles de *Sparattosyce dioica* - Pic du Pin selon l'année

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des feuilles de *Garcinia neglecta*, *Gardenia aubreyi* et *Sparattosyce dioica* prélevées sur les parcelles permanentes de 2015 à 2018 au Pic du Pin montre plusieurs tendances :

- Les feuilles de *Gardenia* montrent une augmentation significative de leurs teneurs en N de 2007 à 2010 suivie par une diminution significative entre 2010 à 2014/2015. Les teneurs en N ont augmenté en 2016 pour diminuer en 2017 en dessous de la moyenne.
- Les teneurs en S des feuilles de *Gardenia* montrent une tendance générale de diminution entre 2007 et 2017 qui sont significative. Les tendances aléatoires de 2007 à 2013 sont suivies d'une diminution plutôt constante de 2013 à 2017.
- La teneur en S des feuilles de *Gardenia* montrent des différences significatives entre les parcelles selon l'altitude et de manière aléatoire.
- Les feuilles de *Sparattosyce* ont montré une augmentation significative en N de 2012 à 2015 suivis d'une diminution en 2017.
- Les teneurs en S des feuilles de *Sparattosyce* montrent une diminution significative constante de 2012 à 2017.
- Les feuilles de *Sparattosyce* contiennent plus de S sur les parcelles du haut que sur les parcelles de bas. Cette même tendance entre les parcelles est observée pour N, mais il n'est significatif.

3.7 Analyse de variance (ANOVA) de la teneur en Azote (N -%) et Soufre (S -%) entre les arbres communs à Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin (*Gardenia*, *Sparattosyce*)

Gardenia aubreyi (Rubiaceae)

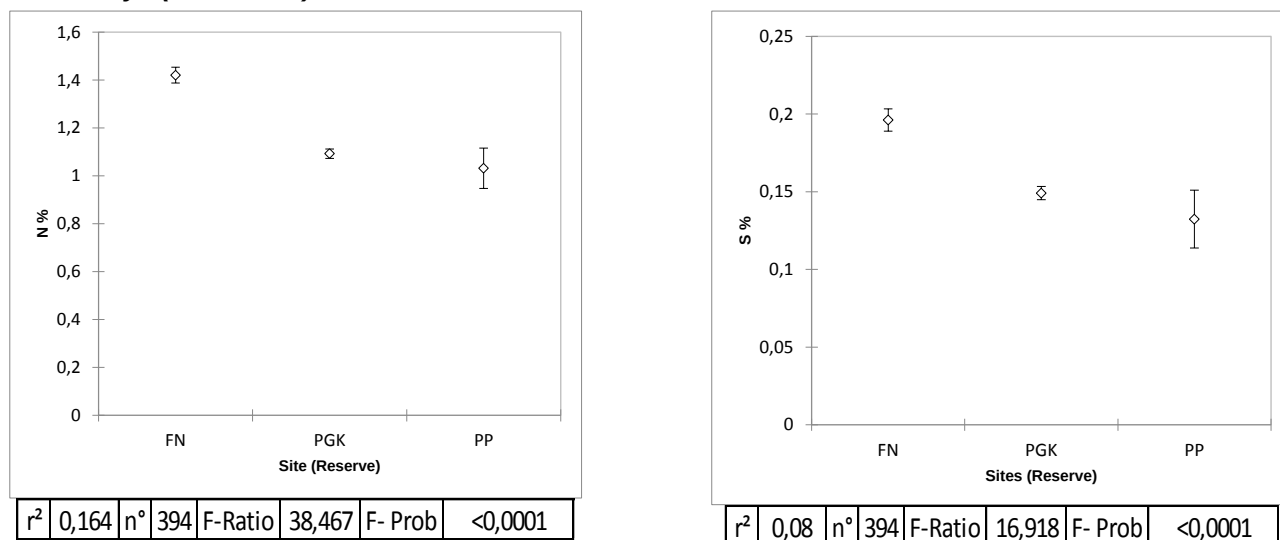


Figure 42: ANOVA teneur en Azote total (N-%) (gauche) et Soufre (S%) (droite) des feuilles de *Gardenia aubreyi* entre Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin.

Sparattosyce dioica (Moraceae)

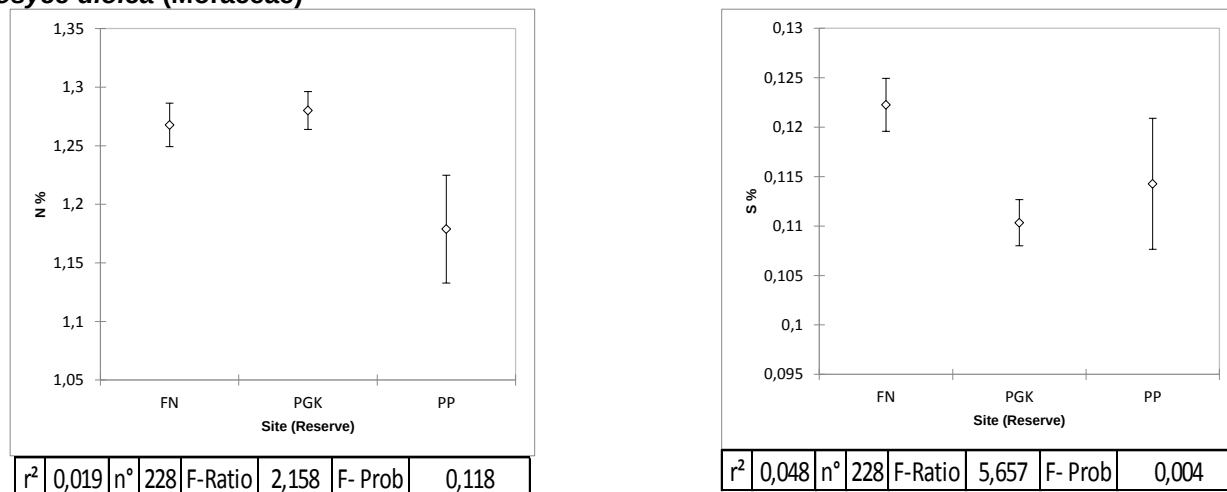


Figure 43: ANOVA teneur en Azote total (N-%) (gauche) et Soufre (S%) (droite) des feuilles de *Sparattosyce dioica* entre Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin

L'analyse de variance effectuée sur les teneurs en N et S des feuilles des *Gardenia* et *Sparattosyce* prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2018 de les Réserves de Forêt Nord, Pic du Grand Kaori, Pic du Pin montrent plusieurs tendances.

- Les teneurs en N et S sont significativement plus élevées sur les *Gardenia* à Forêt Nord par rapport au Pic du Grand Kaori et Pic du Pin.
- Les teneurs en N de *Sparattosyce* ne montrent pas de différences significatives entre les forêts.
- Cependant les teneurs en S des feuilles de *Sparattosyce* sont significativement plus élevées sur les parcelles de Pic du Pin que sur les parcelles à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori.

3.8 Analyse de variance (ANOVA) des changements de teneurs en Soufre Isotopique $\delta^{34}\text{S}$ (‰) des litières à Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin entre 2017 and 2018

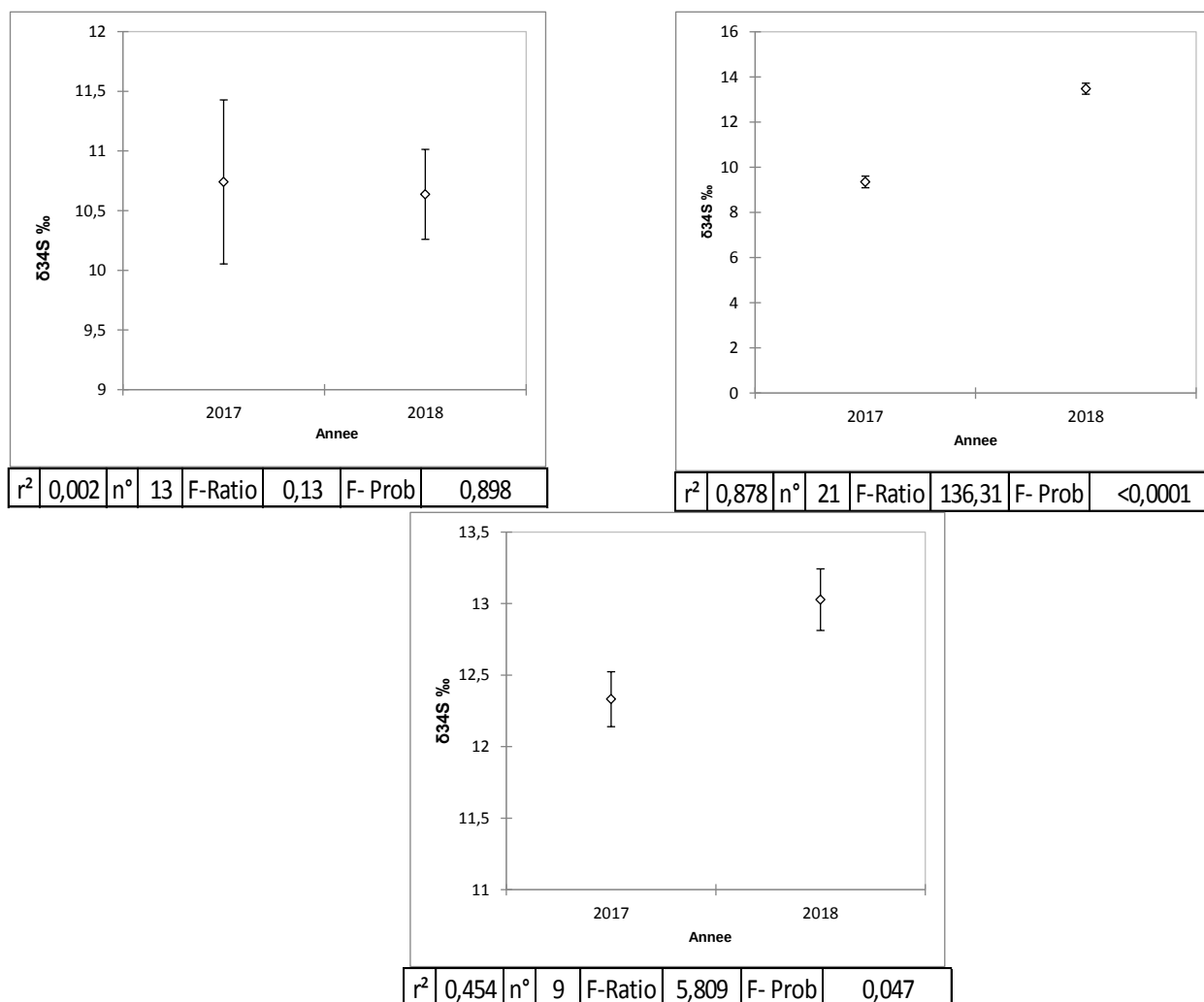


Figure 44: ANOVA teneurs en Soufre Isotope (S‰) des litières de Pic du Pin.

L'analyse de variance effectuée sur les teneurs Soufre Isotopique (S‰) et Soufre total (%) des litières entre Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin prélevées en 2017 et 2018 montrent plusieurs tendances.

- Les teneurs en $\delta^{34}\text{S}$ (‰) sont significativement plus élevées sur Pic du Pin que sur Pic du Grand Kaori et légèrement plus qu'à Forêt Nord.
- Les teneurs en soufre total (%) de la litière à Forêt Nord sont plus élevées qu'à Pic du Grand Kaori et Pic du Pin qui a la plus faible concentration en S.

4. ANALYSE DES RESULTATS

4.1 Bilan générale des campagnes de suivies des parcelles permanentes

La campagne de mesures des parcelles permanentes de pour le période 2018 a débuté en début Janvier à Forêt Nord pour continuer sur Pic du Grand Kaori en Février et terminer par un prélèvement de sol, litière et feuilles a Pic du Pin en avril 2018. Les mesures et prélèvements de litière, sol et de feuilles sur les parcelles permanentes à Pic du Grand Kaori ont été interrompu jusqu'en Mars 2018 à cause des intempéries trop fréquentes en février 2018.

La campagne de mesure en 2016 a été moins perturbées par les conditions d'intempérie avec 1060 identification et mesures de fluorimétrie à Forêt Nord et 1010 à Pic du Grand Kaori. Les prélèvements de sol, litière et feuilles ont été effectués en même temps que les mesures de fluorimétrie par une équipe de 4 personnes.

Tableau ci-dessous présent une synthèse du nombre de mesures ou éléments analysées dans les sols, litières et feuilles à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori.

Mesures ou analyses	FN Total	PGK Total	PP Total
Nombre de placettes et parcelles évaluées	36	36	
Nombre de arbres/arbustes mesurée évalué pour état santé visuel (maladies, dépérissement)	630	920	
Nombre de mesures d'activité chlorophyllienne	501	753	
Nombre d'échantillons de sols prélevées	20	20	10
Nombre d'éléments analysée (sol) (N, P, K, S, Ca, Mg, Mn, Na, Fe, Cr, Co, Ni, Al, Si, Zn, CEC, pH	340	340	170
Nombre échantillons sol analysée pour soufre isotopique	4	4	2
Nombre d'échantillons de litières prélevées	20	20	10
Nombre d'éléments analysée (litières)(N, P, K, S, Na, Ca, Mg, Mn)	180	180	90
Nombre échantillons litière analysée pour soufre isotopique	10	10	5
Nombre d'espèces prélevées pour analyses foliaires	8	8	4
Nombre d'échantillons de feuilles prélevées dans la canope des arbres	40	40	20
Nombre d'éléments analysée (feuilles) (N, P, K, S, Na, Ca, Mg, Mn)	180	180	90
Total mesures ou analyses par Forêt	1835	2377	352

Tableau 16: Les nombres de mesures, de prélèvements et d'analyses chimiques fait pour la campagne de suivi concernant la période janvier 2018 à avril 2018.

4.2 Diversité des forêts humides en Nouvelle-Calédonie

Plusieurs études ont été effectuées pour décrire la diversité floristique des forêts en Nouvelle-Calédonie (Jaffré & Veillon, 1990 ; Read *et al*, 1995 ; Jaffré & Veillon, 1995 ; Munzinger *et al*, 1999). Les valeurs des indices Shannon-Weiner pour ces forêts sont élevées, ce qui est généralement le cas pour les forêts denses humides, habitats à la végétation complexe et aux nombreuses espèces. En général, les valeurs de l'indice Shannon-Weiner pour les parcelles de la Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori sont semblables à celles d'études sur d'autres forêts, elles sont cependant légèrement inférieures à celles effectuées par l'étude Munzinger *et al* (2008). Cette différence est due en partie à une différence d'échelle, car la taille des parcelles a été déterminée pour faire de la surveillance et non pour décrire l'hétérogénéité globale des forêts, comme pour l'étude de Munzinger *et al*. Quand on

détaille les différences entre les parcelles de la Forêt-Nord la valeur basse de l'Indice de Shannon-Weiner de FN2 est due au quasi mono-spécificité de *Macaranga alchorneoides* qui simplifie la diversité floristique de cette parcelle. De plus, la parcelle FN2 sur piedmont se trouve sur une zone d'éboulis, ce qui réduit le nombre de sites pour le développement des plantes non adaptées à ce milieu.

Une analyse des variances des indices de diversité de la strate arbres et arbustes des parcelles permanentes sur Forêt Nord et Pic du Grand Kaori en 2007 et 2018 n'a montrée aucune différence significative pour les deux sites. Ce résultat indique qu'aucun changement dans la diversité des arbres des parcelles n'a été noté en 10 ans.

4.3 État de santé de la végétation des parcelles sur Forêt Nord et Pic du Grand Kaori et leurs systèmes de photosynthèse

D'une manière générale, le dénombrement des arbres et arbustes sur les parcelles permanentes fait lors des mesures de fluorimétrie présent dans le tableau ci-dessus indique que les strates arbres, arbustes n'ont pas diminué en nombre d'individus sur les parcelles de manière important entre 2012 et 2018 suggérant peu de mortalité et une bonne santé. Les nombres plus élevées d'arbuste sur les parcelles à Forêt Nord est certainement liée à l'enregistrement de nouveaux individus > 1m de haut sur les parcelles de 5 x 2m en 2018 qui étaient auparavant < 1m de hauteur et donc pas inclus dans les dénombrement.

PARCEL	Arbre				Total Arbre	Arbuste				Total Arbuste
	2012	2014	2016	2018		2012	2014	2016	2018	
FGK1	47	33	47	47	174	107	109	104	107	427
FGK2	45	44	41	47	177	107	110	101	119	437
FGK3	47	41	41	44	173	126	39	119	100	384
FGK4	42		41	38	121	88		81	80	249
FN1	49	48	48	50	195	146	124	127	153	550
FN2	18	9	18	19	64	54	49	48	65	216
FN3	52	50	49	52	203	108	92	96	113	409
FN4	40	32	36	42	150	126	118	114	137	495
Total général	340	257	321	339	1257	862	641	790	874	3167

Tableau 17 : Le nombre d'arbres et arbustes total des parcelles permanentes ayant fait l'objet d'une mesure d'activités photosynthétiques en 2012, 2014, 2016 et 2018.

Les mesures ponctuelles de l'activité photosynthétique avec le PEA mètre des plantes en Forêt-Nord indiquent que les systèmes photosynthétiques des plantes opèrent de manière optimale (entre 0,78 et 0,82), ce qui indique des plantes en bonne santé en 2016 pour les différentes strates de végétation. Cette tendance de bonne santé photosynthétique se reflète non seulement au niveau des différentes strates, mais aussi au niveau de la composition floristique, comme en témoignent les valeurs FV/FM des espèces/genres identifiés à la Forêt-Nord qui a changée très peu entre les premières mesures en 2006 et les mesures en 2016 (Tableau 9). Des plus les valeurs FV/FM de 2016 sont les plus élevées sur l'ensemble des strates sur les deux forêts par rapport aux années récentes, suggérant des conditions notable. Les valeurs de bonne santé photosynthétique obtenues dans les sous-bois des stations forestières sont semblables à celles d'autres forêts humides (Kuppers *et al*, 1996).

Des différences en activité photosynthétique entre les campagnes avant 2007 et après 2010 ont été notées à Forêt Nord. Les valeurs de 2010 à 2016 pour la strate plantules montrent une augmentation par rapport à ceux de 2007. Cette augmentation proviens des parcelles FN1 et FN 2 qui avaient des valeurs FV/FM bas par rapport au moyenne qui suggérés il y a eu une amélioration dans l'activité photosynthétique des plantules survivant sans doute par la réduction de compétition. Cette

augmentation d'activité photosynthétique peut aussi provenir d'une réduction en émissions poussières du CR7 qui a été goudronné en 2010.

4.4 Evaluation des impacts des cochons sur les Réserves forestières

Un évaluation visuel au sol des parcelles a permis d'indiquer que les fouilles des cochons très généralisée sur les piedmonts des forêts de Pic du Pin depuis 2011 ont franchi un nouveau étendu avec des fouilles ponctuel découvert sur les parcelles PGK2 et PGK 4 dans les éboulis et replat > 250 altitude à Pic du Grand Kaori. Les fouilles semblent être associées avec de sentiers régulièrement empruntée par des cochons suggérant de passages saisonniers.



Figure 45: Trace de fouille ponctuelle recent de cochon sur la parcelle PGK 2 à 250m d'altitude au Pic du Grand Kaori.



Figure 46 : Traces de fouilles ponctuelles récentes de cochon sur la parcelle PGK 4 à 315 m d'altitude au Pic du Grand Kaori.

Aucune trace de fouille de cochon n'a été aperçu sur les parcelles ni sentiers d'accès à Forêt Nord lors des prélèvements en début 2018. Au contraire une parasite racinaire *Hachettea austrocaledonica* souvent confondu pour une champignon très prise des cochons a fait éruption au sol avec des centaines de parties végétatives juste avant les éboulis de FN2 indiquant une refuge pour cette espèce.



Figure 47 : Des colonies de *Hachettea austrocaledonica* (Balanophoraceae) semblables à des champignons jaunes trouvées en Janvier 2018 sous les pieds des grands arbres et fougères des éboulis de FN2 à Forêt Nord à 243m d'altitude.

4.5 Evolution de la condition chimique des sols, des litières et des végétaux communs

4.5.1 Evolution de la condition chimique des sols

Les sols latéritiques en Nouvelle-Calédonie sont issus d'une très ancienne pédogenèse composée de plusieurs phases de développement orogénique des montagnes, d'érosion et de dépôt dans les vallées (Latham *et al*, 1978 ; Becquer *et al*, 1995 ; Becquer *et al*, 1997 ; Bourdon et Podwojewski, 1988). Cette pédogenèse a engendré une topo-séquence de différents types de sols qui ont favorisé différents groupement végétaux selon la minéralogie (Jaffré, 1980).

La figure 48 illustre la topo-séquence des sols caractéristiques des reliefs en Forêt-Nord, au Pic du Grand Kaori et au Pic du Pin. D'une manière générale, les sols latéritiques (ferralitique ferritique) de cette topo-séquence sont largement composés d'oxydes de fer, de chrome et d'alumine, qui ne sont généralement pas assimilables par les plantes car ces formes minéralogiques ne sont pas solubles (Jaffré, 1980). Le facteur limitant des sols latéritiques sur la croissance et le développement des plantes est leur forte carence en azote, phosphore, potasse et calcium due à l'absence de ces composés dans la roche mère lors de leur dégradation en éléments minéraux (Jaffré, 1980). Les carences en nutriments couplées à la disponibilité des métaux solubles (Mg, Ni, Mn) sur la topo-séquence engendrent différentes conditions édaphiques bien distinctes propices aux développements de différents groupements végétaux adaptées aux micro-habitats. Les sols ferralitiques érodés des pentes et des crêtes contiennent en général les plus fortes concentrations de nickel et de magnésium en raison de la faible profondeur des sols et des affleurements de péridotite (Jaffré, 1980). L'absence de matière organique et le pH élevé réduisent les problèmes phyto-toxiques du nickel, cependant les concentrations très élevées de Mg engendrent un fort déséquilibre du taux de Mg/Ca (Jaffré, 1980 ; Becquer *et al*, 1995). Les sols ferralitiques de colluvion des piedmonts contiennent en général des concentrations de nickel moins élevées que les sols érodés en raison de leur plus grande profondeur, cependant le nickel est plus assimilable par les plantes du fait que le pH des sols colluvionnaires est plus acide. De meilleures conditions hydriques dans ces sols facilitent la dissolution du nickel qui est assimilé si les ligands organiques entre la plante et sol existent dans l'humus (Becquer *et al*, 1995). Les sols ferralitiques cuirassés sont des sols colluvionnaires très profonds contenant peu de nickel en surface, cependant le manganèse est très présent en raison du pH très acide du sol (Jaffré, 1980 ; McCoy, 1998).

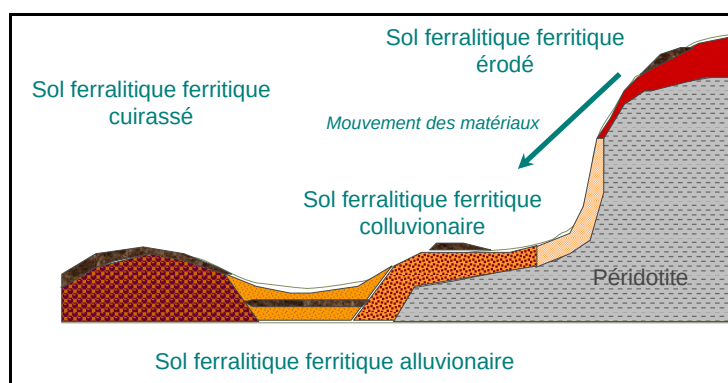


Figure 48 : Schéma d'une topo-séquence du Grand Massif du Sud montrant l'emplacement des différents types de sol

Les résultats des analyses chimiques des sols des parcelles permanentes de Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin présentées au tableau 18, sont comparables aux résultats déjà obtenus pour d'autres forêts humides dans le Grand Massif du Sud (Read *et al*, 2006 ; Isnard *et al*, 2016). Le pH et teneurs en Mg, Ni, Fe et Cr des sols à Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin se rapproche plus des sols des forêts humides (Read *et al*, 2006). Cependant, il y a des variations entre les stations forestières et les données existantes de Read *et al* (2006). Forêt Nord a les teneurs en N, P, K qui sont en générale les plus élevées et s'approche de ceux des forêts humides. Les sols de Pic du Grand Kaori et Pic du Pin ont des teneurs en P et K qui sont plus faible et s'approche plutôt à les teneurs dans les Forêt à *Nothofagus* (dont ses stations en possèdent des populations en piedmont). Les valeurs des sols montrent aussi qu'il y a des variations entre les années (temporelles) pour certains éléments.

Analyses sol	Formations végétales du Sud (Read <i>et al</i> , 2006)			Forêt Nord		Pic du Grand Kaori		Pic du Pin	
				2007-2017	2018	2007-2017	2018	2009-2017	2018
	Forêt à <i>Nothofagus</i>	Forêt Humide	Maquis	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
pH	3.5 - 5.9	4.1 - 6.0	4.4 - 6.1	5,38	5,90	5,09	5,58	5,92	5,94
N (mg g ⁻¹)	0.9 - 3.6	0.7 - 3.8	0.8 - 1.6	0,51	0,45	0,32	0,58	0,76	0,38
P (mg g ⁻¹)	0.07 - 0.24	0.10 - 0.18	0.06 - 0.32	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01
K (mg g ⁻¹)	0.01 - 0.12	0.03 - 0.28	0.04 - 2.10	0,03	0,01	0,01	0,04	0,01	0,05
Ca (mg g ⁻¹)	0.07 - 1.20	0.40 - 1.15	0.05 - 1.5	3,26	1,59	2,74	1,70	0,59	1,17
Mg (mg g ⁻¹)	0.01 - 60	3.1 - 17	0.4 - 12.0	14,4	5,8	8,3	5,7	4,6	0,9
S (mg g ⁻¹)				0,09	0,08	0,05	0,08	0,07	0,09
Ni (mg g ⁻¹)	0.5 - 6.7	2.3 - 8.5	1.3 - 10.4	6,0	5,8	3,7	4,3	4,5	3,6
Fe (mg g ⁻¹)	50 - 490	270 - 460	290 - 510	281	243	379	212	256	238
Cr (mg g ⁻¹)	2 - 134	25 - 184	14 - 110	18	42	11	43	39	42

Tableau 18 : Caractéristiques chimiques des sols des formations du Grand massif du Sud (Read *et al*, 2006) et valeurs moyennes des stations (2007-2017) et 2018.

L'analyse de variance des teneurs en Azote (N) et Soufre (S) des sols des trois stations forestières montre plusieurs tendances significatives spatiales et temporelles. A forêt Nord les teneurs en N ont montré une oscillation en N et S très significative de 2007 à 2018 sur les mêmes années qui suggèrent plutôt des cycles naturels. Les teneurs N et S sont plus élevés sur FN 2 à 243m d'altitude suggérant que le cœur de forêt sur cette station en piedmont a une cycle de décomposition assez dynamiques comparée aux autres habitats forestière en périphérie du lisière (FN4, FN1, FN3). A Pic du Grand Kaori, l'oscillation en N et S semblable entre 2007 et 2018 qui est significative. De plus le pic de 2015 correspondant à la même période à Forêt Nord. Les variations altitudinal des teneurs en N et S dans les sols des parcelles permanentes à Pic du Grand Kaori sont moins important qu'a Forêt Nord et montrent des légères variations significatives selon l'altitude. Les sols des parcelles les plus élevés contenant les plus fortes teneurs en N et plus faible teneurs en S.

Aucune analyse de variations n'a été faite des autres éléments dans les sols des stations forestières. Cependant il y a eu une diminution notable en Ca dans les sols à Forêt Nord, Pic du Grand Kaori entre les valeurs moyennes de 2007-2017 et 2018. A l'inverse les tenus des sols de Pic du Pin ont montré une augmentation en calcium.

4.5.2 Evolution de la condition chimique des litières

La caractéristique chimique des litières des forêts sur latérite en Nouvelle-Calédonie est méconnue (Becquer *et al*, 1995). Le peu d'informations disponibles indiquent que les teneurs en P, K et Ca en Forêt-Nord, au Pic du Grand Kaori et au Pic du Pin sont semblables à celles des analyses effectuées sur des forêts à Mouirange (Read *et al*, 2006)(Tableau 19). Cependant de nombreuses différences sont à prévoir en raison des variations biologiques des milieux (leur influence sur la décomposition) et les variations géochimiques des substrats, comme en témoignent les teneurs en N, Mg et Mn.

Formations végétales du Sud (Read <i>et al</i> , 2006)				Forêt Nord		Pic du Grand Kaori		Pic du Pin	
Analyse litière				2018		2018		2018	
	Forêt à <i>Nothofagus</i>	Forêt Humide	Maquis	Moyenne	Ecartype	Moyenne	Ecartype	Moyenne	Ecartype
	(n = 4)	(n = 3)	(n = 4)						
pH	4.7 ± 0.1	5.3 ± 0.2	4.8 ± 0.2						
N (mg g-1)	1.77 ± 0.03	2.39 ± 0.10	1.13 ± 0.17	0,82	0,199	0,72	0,07	0,74	0,15
P (mg g-1)	0.125 ± 0.040	0.123 ± 0.050	0.084 ± 0.033	0,17	0,066	0,09	0,02	0,01	0,02
K (mg g-1)	0.142 ± 0.044	0.147 ± 0.065	0.072 ± 0.023	0,06	0,058	0,03	0,02	0,07	0,05
Ca (mg g-1)	0.281 ± 0.098	0.700 ± 0.225	0.092 ± 0.015	1,36	0,274	0,58	0,17	0,94	0,13
Mg (mg g-1)	7.27 ± 2.60	11.47 ± 4.84	5.36 ± 1.48	25,48	8,758	12,50	3,67	17,05	5,09
Mn (mg g-1)	7.60 ± 2.09	7.32 ± 2.24	3.91 ± 0.961	6,28	5,780	4,32	4,90	13,07	6,04

teneurs en S. Ceci pourrait être due à des effets localisés de dominance d'une espèce dans la composition de la litière. Au Pic du Grand Kaori, les teneurs en N et S augmentent suivant l'altitude, encore que la différence entre les altitudes soit faible.

Les analyses des échantillons de litières a permis de générer plus de résultats détectable en soufre isotopique $\delta^{34}\text{S}$ que les sols. L'ensemble des valeurs tombent dans une fourche entre +8 et +14. L'analyse de variance a montré que les teneurs en $\delta^{34}\text{S}$ sont significativement plus élevées pour la litière du site témoin de Pic du Pin que sur les autres sites plus proche du site industriel. A l'inverse, les échantillons de Pic du Pin contiennent des concentrations de S% qui sont significativement plus faibles que les deux autres sites en 2017. Les valeurs plus élevées en $\delta^{34}\text{S}$ dans les litières de Pic du Pin à faible teneur en S pourraient s'expliquer par une activité métabolique de décomposition plus lente de cette litière (Krouse, 1977 ; Wynne *et al*, 2013) qui est issu d'une canopée quasi mono spécifique de *Nothofagus aequilateralis*. Les litières de la forêt à *Nothofagus* à Pic du Pin est composée de feuilles et branches plutôt ligneux avec des faibles teneurs en éléments nutritifs surtout en N (McCoy, 1991 ; Read *et al*, 2006). Les valeurs de $\delta^{34}\text{S}$ des litières de Pic du Grand Kaori se rapprochent à ceux de Pic du Pin (Figure 49). Ceci suggère ce même phénomène de décomposition lente peut aussi exister sur Pic du Grand Kaori. La fourchette de valeurs entre +8 et +12 $\delta^{34}\text{S}$ dans les échantillons de Forêt Nord peut correspondre à la gamme des apports des pluies (Heaton *et al*, 1997 ; Wynne, *et al*, 2013) avec une décomposition plus active comme témoin les teneurs en N de ses litières.

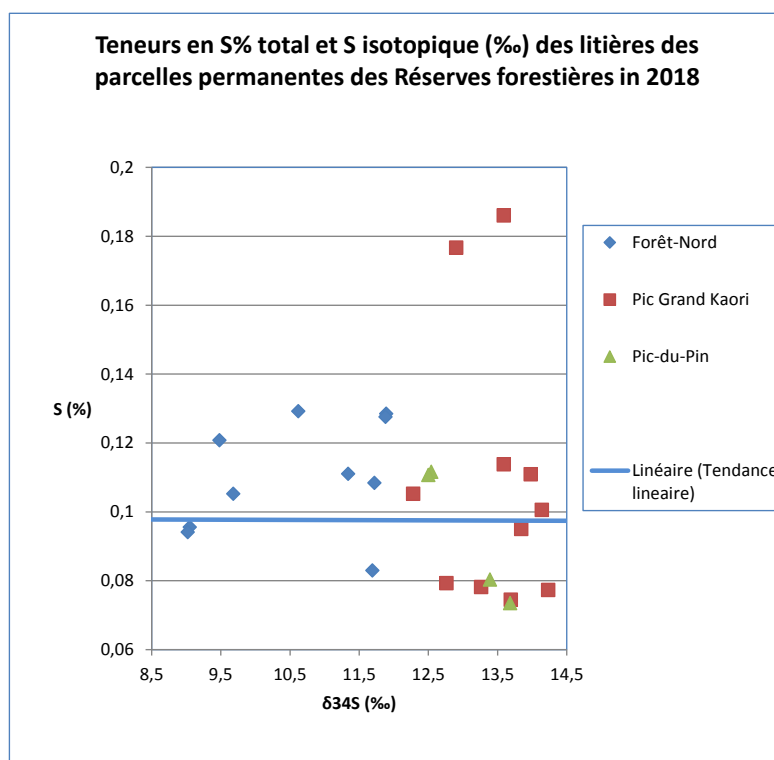


Figure 49 : Les teneurs en S total (%) et $\delta^{34}\text{S}$ isotopiques (‰) des litières des parcelles permanentes à Forêt Nord (diamant bleue), Pic du Grand Kaori (carré rouge) et Pic du Pin (Triangle vert).

Aucune analyse de variance a été fait des métaux (Mg, Mn) et éléments liée au métabolisme des plantes (P, K, Ca, Na). Cependant, il est important de noter que les teneurs en Mn des litières de Forêt Nord ont diminué de manière générale entre les valeurs en moyenne enregistrée pour la période 2007-2010 et après 2011. Cette diminution après 2011 est possiblement due à une diminution des apports des poussières liée à la circulation routière sur la végétation puisque les valeurs en Mn des litières à FN4 et FN1 ont baissé par rapport valeurs après 2011. Effectivement le goudronnage de la route en fin Octobre 2010 a nettement réduit les dépôts poussières latéritique sur la végétation en proximité du CR7 comme témoin probablement les réductions en Mn.

4.5.3 Evolution de la condition chimique des arbres

La composition chimique des plantes des sols latéritiques en Nouvelle-Calédonie a déjà fait l'objet de nombreuses études pour déterminer les liens édaphiques entre les espèces et leur milieu (Jaffré, 1980 ; Jaffré & Veillon, 1990, Jaffré *et al*, 1994 b ; Jaffré & Veillon, 1995 ; McCoy, 1998 ; Read *et al*, 2002 ; L'Huillier *et al*, 2010).

D'une manière générale, une plante absorbe les éléments en fonction de ses besoins pour la croissance et la régulation des systèmes de photosynthèse. Dans le cas des plantes sur latérite, l'azote, le phosphore, la potasse, le soufre et le calcium – qui sont essentiels pour la régulation et la croissance de la plante – sont directement absorbés soit par la décomposition végétale, soit par la symbiose avec des mycorhizes ou des bactéries, car ils sont absents de la minéralogie des péridotites (Jaffré, 1980). En milieu forestier sur latérite, les conditions hydriques sont plus favorables et instaurent un cycle de décomposition plus dynamique qui favorise le développement d'espèces aux feuilles non sclérophylles contenant des teneurs plus élevées en N, P, K, et Ca (Jaffré & Veillon, 1995). Certaines de ces espèces peuvent même accumuler certains métaux (Ni, Mn) si les conditions organiques et minéralogiques sont propices à établir un lien entre le sol et la plante (Jaffré, 1980 ; Jaffré & Veillon, 1990).

Aucune information n'a encore été publiée sur la teneur en soufre des plantes endémiques en Nouvelle-Calédonie en raison de l'absence sur le Territoire de techniques et d'appareils adaptés à l'analyse de cet élément dans des végétaux. La teneur moyenne en soufre des plantes sempervirentes en Australie est de 0,3 % (Marschner, 1995). Dans les zones industrialisées d'Europe la teneur en S des essences forestières peut varier de 0,72 à 6,77 % pour les arbres angiospermes, et de 0,98 à 4,3% pour les gymnospermes dans les zones soumises à des émissions atmosphériques (Mankovska, 1997).

Espèces	Localité	Année	N	P	K	Ca	Mg	Na	Mn	S
			%	ppm	%	%	%	%	ppm	%
<i>Garcinia neglecta</i>	Forêt Nord	2018	1,20	335	0,35	1,56	0,28	0,10	755	0,152
<i>Gardenia aubreyii</i>			1,11	335	0,97	1,23	0,29	0,24	116	0,155
<i>Sparattosyce dioica</i>			1,11	364	0,77	1,23	0,33	0,29	105	0,130
<i>Xylopia veillardii</i>			1,42	501	0,61	0,87	0,24	0,17	137	0,195
<i>Gardenia aubreyii</i>	Pic du Grand Kaori	2018	0,93	212	0,77	0,76	0,26	0,21	115	0,115
<i>Sparattosyce dioica</i>			1,28	248	0,65	1,00	0,34	0,20	148	0,101
<i>Garcinia neglecta</i>	Pic du Pin	2018	0,98	205	0,39	0,70	0,22	0,18	475	0,130
<i>Gardenia aubryi</i>			1,03	216	0,58	0,77	0,19	0,20	234	0,132
<i>Sparattosyce dioica</i>			1,18	240	0,54	0,84	0,31	0,18	430	0,114
Moyenne des espèces communes parcelles permanantes Forêt Nord		2018	1,21	383	0,68	1,22	0,28	0,20	278	0,16
Moyenne des espèces communes parcelles permanentes Pic du Grand Kaori		2018	1,11	231	0,71	0,89	0,30	0,21	133	0,11
Moyenne des espèces communes parcelles permanentes Pic du Pin		2018	1,04	216	0,47	0,75	0,23	0,19	404	0,13
Moyenne des espèces communes des parcelles permanentes sur Forêt Nord, Pic du Grand Kaori, Pic du Pin		2018	1,12	277	0,62	0,95	0,27	0,20	272	0,13
Moyenne sur 118 Dicotylédones en forêt sur sol ultramafique (Jaffré <i>et al</i> , 1994 b)			1,34	440	0,86	1,55	0,49	0,25	250	
Moyenne sur 100 Dicotylédones en maquis sur sol ferraltique ferritique désaturée (Jaffré <i>et al</i> , 1994 b)			0,91	320	0,59	1,10	0,24	0,21	950	

Tableau 20 : Comparaison de la teneur foliaire en 2018 des espèces communes d'arbres avec les valeurs moyennes des espèces forestières et para-forestières décrites par Jaffré *et al* (1994)

Le tableau 20 présente une synthèse de la teneur foliaire moyenne de 2018 des espèces d'arbres communs aux parcelles de Forêt-Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin comparée à ceux d'autres espèces de forêt humide et de maquis sur sol latéritique (Jaffré *et al*, 1994b). D'une manière générale, la teneur foliaire en N, P, K et Ca des arbres communs de Forêt-Nord est semblable à celle des autres dicotylédones de forêt sur latérite. Par contre, les teneurs en manganèse sont élevées à Forêt Nord et Pic du Pin par rapport aux teneurs moyennes des espèces de forêt sur latérite (Jaffré, *et al*, 1994b). Cette teneur provient des échantillons de feuilles des arbres de *Garcinia neglecta* qui se trouve dans les deux forêts. Les valeurs élevées de Mn pourra peut-être indiquer soit que cette espèce accumule le manganèse soit qu'il y a encore des dépôts de poussières en provenance du trafic routier de la CR7 ou des labourages des plantations sylvicole de Pic du Pin. Les teneurs en phosphore des arbres

des stations du Pic du Grand Kaori, Forêt Nord et Pic du Pin sont basses par rapport à celles des espèces de forêt et se rapprochent plutôt des valeurs des dicotylédones de maquis (Jaffré *et al*, 1994b). Cette différence en P est certainement liée au faible nombre d'espèces que représentent les valeurs moyennes des forêts suivies (4 espèces) comparée aux données moyennes de 118 espèces de Jaffré *et al* (1994).

Les mesures effectuées dans le cadre de cette étude montrent que la teneur en moyenne de soufre des arbres communs échantillonnée à Forêt-Nord sont les plus élevées suivies du Pic du Pin et celles du Pic du Grand Kaori. Les variations de la teneur en soufre pour ces espèces à Forêt Nord entre 2007 à 2018 (ref : Figs 27, 29, 31,33) ne montrent pas une augmentation continue selon les années qui pourraient être associées avec une montée en puissance des émissions industrielles mais plutôt des variations entre les années qui pourraient correspondre à un cycle naturel de soufre variant selon les activités de décomposition. Les teneurs très élevées en S de *Gardenia aubreyi* en 2008 (Figure 50) avant la mise en marche des installations industrielles sont aussi un autre témoin d'une origine biologique majeure du soufre.

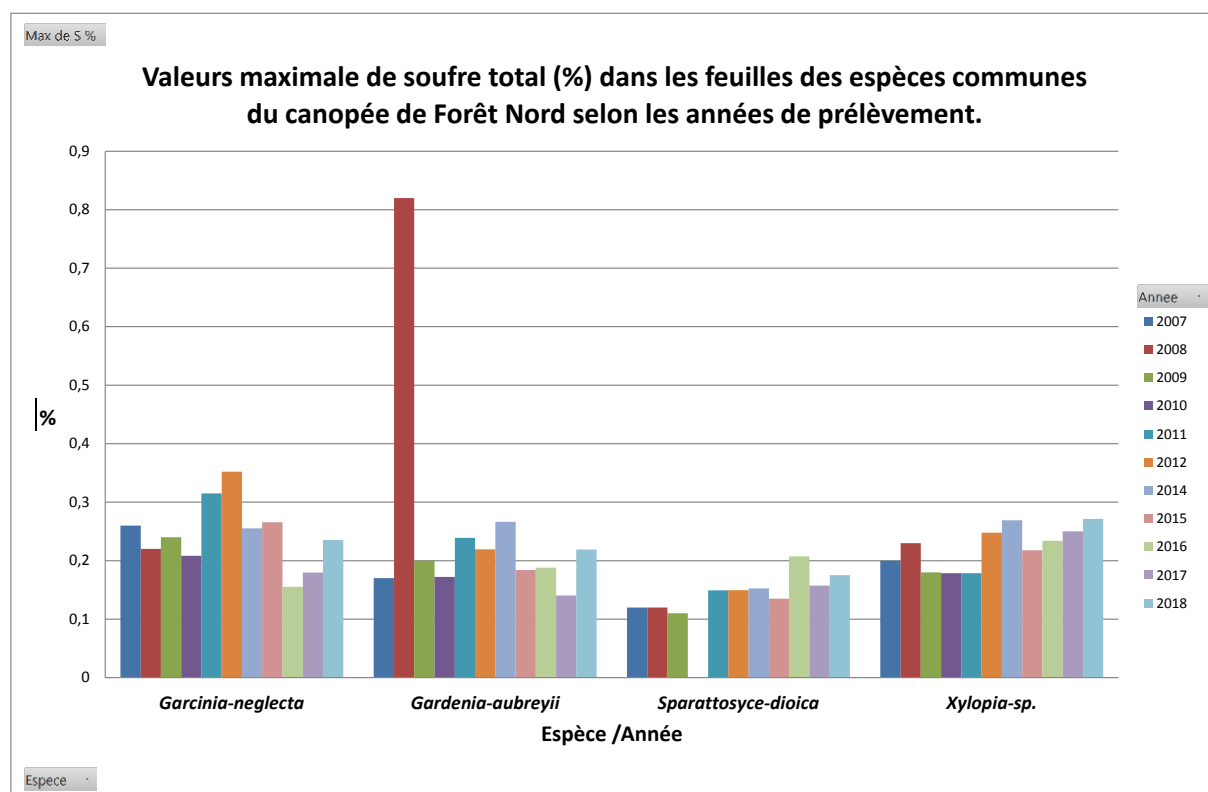


Figure 50 : Teneur maximale en soufre (S%) des arbres des espèces communes (avec des valeurs >0,2%) en Forêt-Nord (2007-2018)

5. CONCLUSION

5.1 Etat de santé des parcelles

Le suivi des écosystèmes terrestres a permis d'approfondir nos connaissances sur la diversité floristique à l'échelle des parcelles des réserves provinciales de la Forêt-Nord, du Pic du Grand Kaori et du Pic du Pin. Ce suivi temporel qui a débuté en 2006 lors de la fin de la période de construction de l'usine et son mise en service pour continuer à ce jour a aussi permis d'évaluer l'évolution de ses habitats face à l'activité industriel.

D'une manière générale, les mesures effectuées sur les parcelles de Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori en 2018 montrent des formations très diversifiées, avec une régénération importante. Les comptages et les mesures d'individus des arbres et arbustes des parcelles permanentes utilisées pour décrire la diversité et croissance ont montré :

- Pas de changement significatif dans l'indice Shannon de diversité des parcelles sur Forêt Nord et Pic du Grand Kaori en 10 ans.
- Une légère différence significative en indice de diversité entre les parcelles à Forêt Nord est toujours présente après 10 ans. Elle est liée à la dominance persistante de *Macaranga alchorneoides* et faible colonisation des éboulis de piedmont.
- Le dynamisme de croissance des arbres de la canopée est très faible. Ses arbres persistent avec le temps comme témoins le léger changement en nombre sur les parcelles. Les mesures de diamètre des arbres en 2018 en témoignent que la croissance est extrêmement lente avec une augmentation en diamètre des arbres de moyenne de 0,13cm à Forêt Nord et 0,15cm à Pic du Grand Kaori par an sur une période de 10 ans. Ses résultats sont comparables à les études précédentes effectuées en Nouvelle-Calédonie (Jaffré & Veillon, 1990 ; Rigg *et al*, 2010 ; Read *et al*, 2016) montrent qu'à l'inverse de ce qui se passe en forêt de pays tempéré, les forêts humides sur latérite ont une croissance peu dynamique avec une faible mortalité.
- Les mesures de l'activité photosynthétique des arbustes et arbres des parcelles dans la présente étude montrent que les végétaux sont en bonne santé à Forêt-Nord et à Pic du Grand Kaori durant la période d'investigation.
- Les conditions chimiques des sols, litières et feuilles des espèces communes sont semblables aux autres forêts. Elle est caractérisée par des faibles teneurs en N, P et K essentiels pour des cycles d'activité biologique qui se traduisent par une décomposition lente comme témoin aussi valeurs en S en soufre qui sont la moitié de ceux de la végétation en Australie (Marschner, 1995). Si une absorption des émissions industrielles a eu lieu, les quantités sont faibles comme témoins les résultats des analyses isotopes des litières.

Les suivis de l'état de santé des forêts montrent les dégâts liés au cochon indiquent plutôt une présence permanente de cochon dans les piedmonts de Pic du Pins avec un stade de dégradation des sous-bois avancé lié au fouillis. À Pic du Grand Kaori, les passages de cochons à travers les éboulis semblent plutôt définis, mais réduits à des sentiers utilisés de manière saisonnière pour accéder aux forêts des bassins versant de la Kue et la Plaines de Lacs. Pas de trace de cochon sur Forêt Nord lors de la campagne en début 2018 sur le versant de Prony.

6. RÉFÉRENCES

- Becquer, T., Bourdon, E. & Petard, J (1995) Disponibilité du nickel le long d'une toposequence de sols développés sur roches ultramafiques de Nouvelle-Calédonie. *C. R. Acad. Sci. Paris* 321: 585-592.
- Becquer, T., Bourdon, E., & L'Huiller, L. (1997) Mobilité du nickel dans les sols ferallitiques ferritiques du Sud de la Nouvelle-Calédonie. In: *The ecology of ultramafic and metalliferous areas*. (Eds: T. Jaffré, R. D. Reeves & T. Becquer) *Proc. 2nd Int. Conference on Serpentine Ecology*. pp 57-78. ORSTOM, Nouméa.
- Bourdon, E & Podwojewski, P (1988) Morphopédologie des formations superficielles dans le Sud de la Nouvelle-Calédonie (Rivière des Pirogues, Plaines des Lacs). *Cahiers ORSTOM, série Science de la Terre, Pédologie Numéro 2*, Paris, 43 pages.
- CARPENTER, R. J., J. READ, AND T. JAFFRÉ. 2003. Reproductive traits of tropical rainforest trees on ultramafic soils in New Caledonia. *Tropical Journal of Ecology* 18: 351-365.
- CHATAIN, A., J. READ, AND T. JAFFRÉ. 2008. Does leaf-level nutrient-use efficiency explain *Nothofagus*-dominance of some tropical rain forests in New Caledonia? *Plant Ecology*: DOI 10.1007/s11258-11008-19477-z.
- GRIGNON, C. 2006. Accumulation et synthèse de données floristiques relatives à la réserve de la "Forêt-Nord" de Nouvelle-Calédonie. Université P. & M. Curie / Institut de Recherche pour le Développement, Nouméa.
- Jaffré, T. (1980). *Etude écologique de peuplement végétal des sols dérivés des roches ultramafiques en Nouvelle-Calédonie*. Coll. Trav. et Doc. de ORSTOM, 124, Paris (Thesis).
- Jaffré, T. & Veillon, J.-M. (1990) Etude floristique et structurale de deux forêts denses humides sur roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie. *Bulletin du Museum National d'Histoire Naturelle, Paris*, 4e série., 12, section B., Adansonia, 3-4, 243-273.
- Jaffré, T., Gauthier, D., Rigault, F., & McCoy, S. (1994 b). Les Casuarinacées endémiques. *Bois et Forêts des Tropiques* 242, 31-44.
- Jaffré, T. & Veillon, J.-M. (1995) Structural and floristic characteristics of a rain forest on schist in New Caledonia: a comparison with an ultramafic rain forest. *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, 4e sér., 17, section B. Adansonia, 3-4, 201-226.
- Jaffré, T. (2000) Caractéristiques floristiques de la zone de Prony & Goro. Consultance pour SIRAS et INCO SA, 39p.
- Jaffré T, Dagostini G, Rigault F, Coic N (2004) Inventaire floristique des unités de végétation de la zone d'implantation des infrastructures minières et industrielles de Goro Nickel. IRD, Nouméa, Rapport de Consultance, p 69.
- Kent, M. & Coker, P. (1992) *Vegetation description and analysis: a practical approach*. CRC Press, London, 363 p.
- Krause, G. H & Weis, E. (1991) Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annual review plant physiol. & mol. biol.* 42: 313-349.
- Kuppers, M., Timm, H., Stegemann, J., Stober, R., Paliwal, K., Karunaichamy, K. S. T. K. & Ortiz, R. (1996) Effects of light environment and successional status on sunfleck use by understorey trees of temperate and tropical forests. *Tree physiology* 16: 69-80.

Latham, M., Quantin, P., & Aubert, G. (1978) *Etude des sols de la Nouvelle-Calédonie. Notice explicative*, 78, ORSTOM, Noumea.

Lovelock, C. E. Jebb, M. & Osmond, C. B. (1994) *Photoinhibition and recovery in tropical rainforest species: response to disturbance*. *Oecologia* 97: 297-307.

Mankovska, B. (1997) Variations in sulphur and nitrogen foliar concentration of deciduous and coniferous vegetation in Slovakia. *Water, Air and Soil Pollution*, **96**, 329-345.

Marschner, H. (1995) *Mineral nutrition of higher plants*. Second edition. 889pp. London: Academic Press

Maxwell, K & Johnson, G.H. (2000) Chlorophyll fluorescence: A practical guide. *Journal of Experimental Botany*. 51 (345): 659-668.

McCoy, S. (1991) *Edaphic controls influencing the distribution of Nothofagus aequilateralis on ultrabasic soils at the Col de Mouirange, New Caledonia*. Unpublished Honours thesis, Australian National University, Canberra.

McCoy, S., Jaffré, T., Rigault, F., & Ash. J. (1999) *Fire and succession in the ultramafic maquis of New Caledonia*. *Journal of biogeography* 26(3): 579-594.

McCoy, S. (1998) *The dynamics of Gymnostoma maquis on ultramafic soils in New Caledonia*. Ph.D thesis, Australian National University, Canberra, 273 pages.

Morat, Ph., Jaffré, T., Veillon, J-M., and Mackee, H.S. (1986). *Affinities floristiques et origine de la flore de la Nouvelle-Calédonie*. *Bull. Mus. natl. Hist. nat., Paris, Sér 4., Adansonia* 2, 133-182.

Morat, Ph (1993) *Our knowledge of the flora of New Caledonia: endemism and diversity in relation to substrate types and substrates*. *Biodiversity letters* 1: 72-81.

MUNZINGER, J., G. DAGOSTINI, F. RIGAUULT, AND D. KURPISZ. 2007. *Inventaire de la réserve de la Forêt-Nord. Expertise pour Goro-Nickel SA, IRD, Nouméa*.

MUNZINGER, J., D. KURPISZ, F. RIGAUULT, AND G. DAGOSTINI. 2006. *Caractérisation taxonomique et patrimoniale des lambeaux forestiers dans le grand sud calédonien, implication pour la gestion et la préservation de ces formations, Rapport Finale. IRD-DRN Province Sud, Nouméa. Pages 74*.

Murray, F (2004) *Draft Monitoring Protocol for Assessment of Potential Effects of Air Pollution on the Forêt-Nord*, School of Environmental Science, Murdoch University, Perth, Australia. Consultancy report. 10 Pages.

Mulgrew, A & Williams, P (2000) *Biomonitoring of air quality using plants*. World Health Organisation (WHO) for Air Quality management. *Air Hygiene Report Number 10*: 7-165.

Nasi R, Jaffré T, Sarrailh JM (2002) *Les forêts de montagnes de Nouvelle-Calédonie*. *Bois For Trop* 274:5–17.

Osmond, C. B (1994) *What is photoinhibition? Some insights from comparisons of shade and sun plants*. In: *Photoinhibition of photosynthesis: from molecular mechanisms to the field* (Eds: N. R. Baker & J. R. Bowyer) pp. 1-24. BIOS scientific publishers, Oxford.

Papineau, C (1989) *Le Chêne Gomme (Arillastrum gummiferum) en Nouvelle-Calédonie*. *Mémoire de Troisième Année, CTFT, Noumea*.

Raven, T. (1994) *The cost of photoinhibition to plant communities*. In: *Photoinhibition of photosynthesis: from molecular mechanisms to the field* (Eds: N. R. Baker & J. R. Bowyer) pp 450-464. BIOS scientific publishers, Oxford.

Read, J., Jaffré, T., Godrie, E., Hope, G.S. & Veillon, J.-M. (2000) *Structural and floristic characteristics of some monodominant and adjacent mixed rainforests in New Caledonia*. *Journal of Biogeography*, 27, 233–250.

Read, J., Ferris, J.M. & Jaffré, T. (2002) *Foliar mineral content of Nothofagus species on ultramafic soils in New Caledonia and non-ultramafic soils in Papua New Guinea*. *Australian Journal of Botany*, 50, 607–617.

READ, J., T. JAFFRÉ, J. M. FERRIS, S. MCCOY, AND G. S. HOPE. (2006). *Does soil determine the boundaries of contiguous monodominant rainforest, mixed rainforest and maquis on ultramafic soils in New Caledonia?* *Journal of Biogeography* 33: 1055-1065.

Rigg, L.S, Enright, N.J., Jaffré, T., Perry, G.L.W, (2010) *Contrasting Population Dynamics of the Endemic New Caledonian Conifer Araucaria laubenfelsii in Maquis and Rain Forest*. *BIOTROPICA* 42(4): 479–487 2010.