



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

Bilan 2020



**Vale Nouvelle-Calédonie
Décembre 2020**

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 Mesures de la santé des plantes	7
2.2 Mesures chimiques du sol, de la litière et des feuilles des espèces communes	8
2.2.1 Analyses chimiques des échantillons	9
2.3 Traitement des données	9
2.4 Fréquence d'échantillonnage et données disponibles	10
3. RÉSULTATS	12
3.1 Santé des parcelles en Forêt-Nord et au Pic du Grand Kaori	12
3.2 Caractéristiques chimiques du sol et de la litière des stations	20
3.3 Analyse de variance (ANOVA) de la teneur en éléments dans le sol, la litière et les espèces communes	27
3.4 Analyse de variance (ANOVA) de la teneur en Azote (N -%) et Soufre (S -%) entre les arbres communs à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori (<i>Gardenia</i> , <i>Sparattosyce</i>)	37
4. ANALYSE DES RESULTATS	38
4.1 Bilan générale des campagnes de suivies des parcelles permanentes	38
4.2 Evaluation des impacts des cochons sur les Réserves forestières	39
4.3 État de santé de la végétation des parcelles sur Forêt Nord et Pic du Grand Kaori et leurs systèmes de photosynthèse	40
4.4 Evolution de la condition chimique des sols, des litières et des végétaux communs	41
4.4.1 Evolution de la condition chimique des sols	41
4.4.1 Evolution de la condition chimique des litières	44
4.4.2 Evolution de la condition chimique des arbres	46
5. CONCLUSION	48
5.1 Etat de santé des parcelles	48
6. RÉFÉRENCES	53

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 2020.....	11
Tableau 8 : Fluorimétrie par espèce - Forêt-Nord.....	17
Tableau 9 : Fluorimétrie par espèce - Pic du Grand Kaori	19
Tableau 10 : Caractéristiques chimiques des échantillons de litière et de sol - Forêt-Nord (2007-2020)	20
Tableau 11 : Caractéristiques chimiques des échantillons de litière et de sol - Pic du Grand Kaori (2007-2020).....	21
Tableau 13 : Teneur foliaire des espèces communes - Forêt-Nord (2007-2020).....	23
Tableau 14 : Teneur foliaire des espèces communes - Pic du Grand Kaori (2007-2020).....	26
Tableau 16: Les nombres de mesures, de prélèvements et d'analyses chimiques fait pour la campagne de suivi concernant la période janvier à février 2020.	38
Tableau 17 : Le nombre d'arbres et arbustes total des parcelles permanentes ayant fait l'objet d'une mesure d'activités photosynthétiques de 2012 à 2020.....	41
Tableau 18 : Caractéristiques chimiques des sols des formations du Grand massif du Sud (Read <i>et al</i> , 2006) et valeurs moyennes des stations (2007-2019) et 2020.....	42
Tableau 19 : Caractéristiques chimiques des litières des formations du Grand massif du Sud (Read <i>et al</i> , 2006) et valeurs moyennes des stations 2019-2020	44
Tableau 20 : Comparaison de la teneur foliaire en 2020 des espèces communes d'arbres avec les valeurs moyennes des espèces forestières et para-forestières décrites par Jaffré <i>et al</i> (1994)	47

FIGURES

Figure 1 :	Localisation des parcelles en Forêt-Nord, au Pic du Grand Kaori et au Pic du Pin	4
Figure 2 :	Plantes numérotées avec dispositif de clip pour les mesures de fluorimétrie	7
Figure 3 :	Mesure de fluorescence chlorophyllienne avec un fluorimètre portatif	7
Figure 4 :	<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)	9
Figure 5 :	Analyses de variance des mesures de fluorimétrie des arbres et arbustes sur les parcelles à Forêt Nord entre les années de 2012 à 2020 (N° 2760 ; r^2 0,01 ; F ratio 6,881 ; F prob < 0,001)	12
Figure 6 :	Moyenne et écartypes des mesures de fluorimétrie des strates arbuste et arbres à Forêt Nord entre 2012 et 2020.	12
Figure 7 :	Moyenne et écartypes des mesures de fluorimétrie des strates arbuste et arbres à Forêt Nord entre 2012 et 2020 par parcelle selon l'altitude (m).	13
Figure 8 :	Analyse de variance des mesures de fluorimétrie des arbres et arbustes sur les parcelles à Pic du Grand Kaori entre les années de 2012 à 2020 (N° 4081 ; r^2 0,019 ; F ratio 19,871 ; F prob < 0,001).	14
Figure 9 :	Moyenne et écartypes des mesures de fluorimétrie des strates arbuste et arbres à Pic du Grand Kaori entre 2012 et 2020	14
Figure 10 :	Moyenne et écartypes des mesures de fluorimétrie des strates arbuste et arbres à Pic du Grand Kaori entre 2012 et 2020 par parcelle selon l'altitude (m).	15
Figure 11 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)	27
Figure 12 :	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Forêt-Nord	27
Figure 13 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Pic du Grand Kaori	28
Figure 14 :	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Pic du Grand Kaori	28
Figure 15 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des litières - Forêt-Nord	29
Figure 16 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des litières - Pic du Grand Kaori	30
Figure 17 :	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des litières - Pic du Grand Kaori	30
Figure 18 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Garcinia neglecta</i> (<i>Guttiferae</i>) - Forêt-Nord	31
Figure 19 :	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Garcinia neglecta</i> (<i>Guttiferae</i>) - Forêt-Nord	31
Figure 20 :	ANOVA teneur en Azote total (N- %) des feuilles de <i>Gardenia aubreyi</i> - Forêt-Nord	32
Figure 21 :	ANOVA teneur en Soufre total (S- %) des feuilles de <i>Gardenia aubreyi</i> - Forêt-Nord	32
Figure 22 :	ANOVA teneur en Azote total (N- %) des feuilles de <i>Sparattosyce dioica</i> - Forêt-Nord	33
Figure 23 :	ANOVA teneur en Soufre total (S- %) des feuilles de <i>Sparattosyce dioica</i> - Forêt-Nord	33
Figure 24 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Xylopi</i> sp. - Forêt-Nord	34
Figure 25 :	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Xylopi</i> sp. - Forêt-Nord	34
Figure 26 :	ANOVA teneur en Azote total (N- %) des feuilles de <i>Gardenia aubreyi</i> – Pic du Grand kaori	35
Figure 27 :	ANOVA teneur en Soufre total (S- %) des feuilles de <i>Gardenia aubreyi</i> – Pic du Grand Kaori	35
Figure 28 :	ANOVA teneur en Azote total (N - %) des feuilles de <i>Sparattosyce dioica</i> – Pic du Grand Kaori	36
Figure 29 :	ANOVA teneur en Soufre (S- %) des feuilles de <i>Sparattosyce dioica</i> – Pic du Grand Kaori	36
Figure 30 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) (gauche) et Soufre (S%) (droite) des feuilles de <i>Gardenia aubreyi</i> entre Forêt Nord et Pic du Grand Kaori.	37

Figure 31: 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	37
Figure 32: Trace de fouille ponctuelle récent de cochon sur la parcelle PGK 2 à 250m d'altitude au Pic du Grand Kaori et sur la montée pour aller au PGK 4 à 315m.....	39
Figure 33 : Traces de fouilles ponctuelles récentes de cochon sur le sentier forestier des bagnardes à 300m altitude au Pic du Grand Kaori.....	40
Figure 34 : Schéma d'une topo-séquence du Grand Massif du Sud montrant l'emplacement des différents types de sol	42
Figure 35 : Comparaison des teneurs moyenne en Azote total des sols des parcelles sur Forêt Nord et Pic du Grand Kaori.....	43
Figure 36 : Comparaison des teneurs en Soufre total des sols des parcelles sur Forêt Nord et Pic du Grand Kaori.....	43
Figure 37 : Evolution des teneurs en azote total des litières des parcelles permanentes à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori.....	45
Figure 38 : L'évolution des teneurs en S total des litières des parcelles permanentes des deux forêts.....	46
Figure 39 : Teneur maximale en soufre (S%) des arbres des espèces communes Forêt-Nord (2007-2020).....	48
Figure 40 : Teneurs moyenne en Soufre (%) selon l'altitude et année de arbres de canopée sur les parcelles permanentes de la Reserve de Forêt Nord.	48

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 Reserve 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 naturelle 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 Reserve patrimonial 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 & William, 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 à la suite de 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 2020 présentés dans ce rapport sont les suivant :

-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 chimique sur les échantillons de sols, litières et feuilles en 2020 pour mieux quantifier les apports des différents sources naturel et industriel de soufre des échantillons à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori.

L'évaluation des changements en diversité, structure et état de santé chlorophyllienne en 2020 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 premiers milieux récepteurs des changements venus 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. Une évaluation photographique a été faite sur la régénération de sous-bois aux parcelles permanentes de Forêt Nord et Pic du Grand Kaori 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.

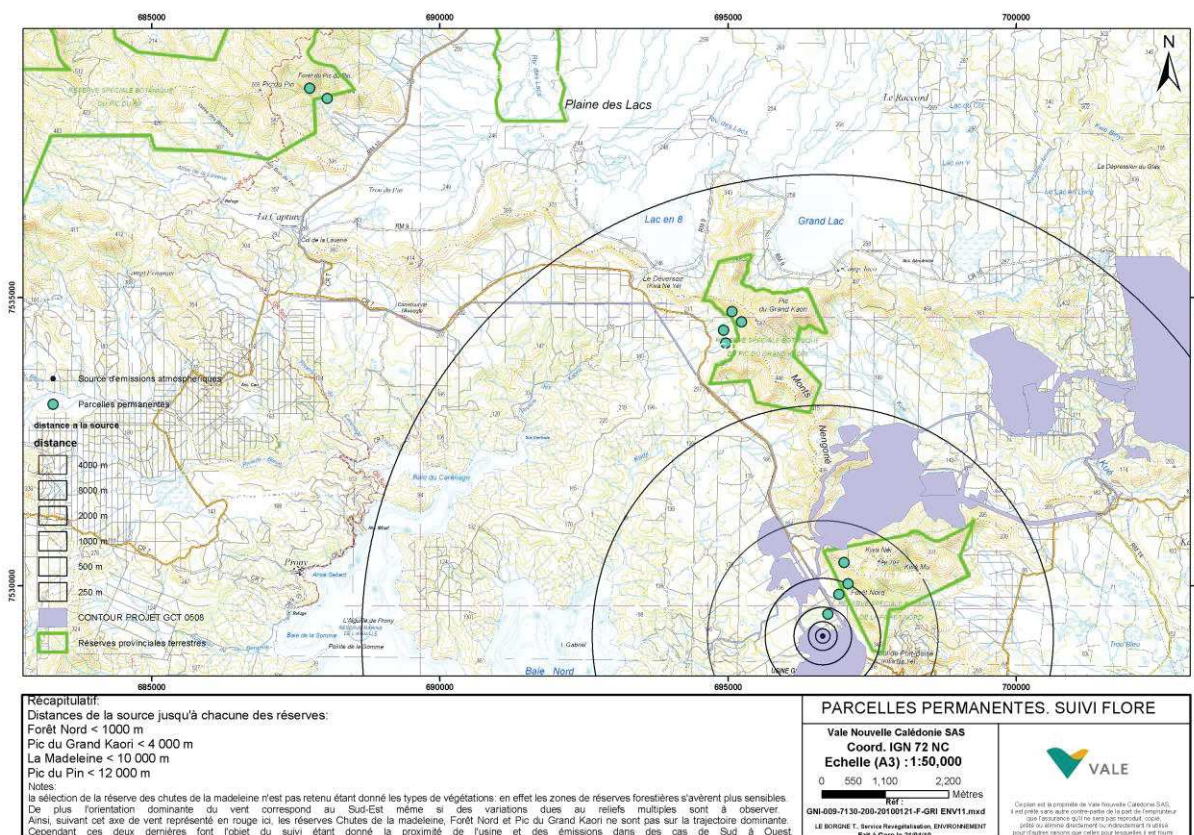


Figure 1 : Localisation des parcelles en Forêt-Nord, au Pic du Grand Kaori et au Pic du Pin

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
PGK4	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 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. 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 de présence/absence d'individus ainsi qu'état santé 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 2 : Plantes numérotées avec dispositif de clip pour les mesures de fluorimétrie



Figure 3 : Mesure de fluorescence chlorophyllienne avec un fluorimètre portatif

2.2 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.



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. 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 ce milieu récepteur pour des éventuelles signes d'émissions atmosphériques. Les espèces retenues pour l'échantillonnage foliaire à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori sont *Gardenia aubryi*, *Garcinia neglecta*, *Sparattosyce dioica* et *Xylopia vieillardii* (figure 2) sont communs dans les canopées (Munzinger *et al*, 2008).



Figure 4 : *Gardenia aubreyi* (haut gauche), *Garcinia neglecta* (haut droit), *Sparattosyce dioica* (bas gauche), *Xylopia cf. veillardii* (bas droit).

2.2.1 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 broyée 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 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 évaluées par strate sur les parcelles à Forêt-Nord et le Pic du Grand Kaori.
- 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.

- Synthèse de la teneur en éléments dans les feuilles des espèces échantillonnées la Forêt-Nord (2007-2020) et Pic du Grand Kaori (2007-2020).

Des analyses de variance multifactorielle (MANOVA) ont été appliquées aux bases de données avec le logiciel statistique 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 l'activité photosynthétique des arbres et arbustes des parcelles sur Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori selon les années de mesure depuis 2012.
- 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 2020 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 litières de Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori entre 2007 (T0) et 2020 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 2020 MANOVA
- Comparaison des teneurs en N% et S% dans les feuilles des arbres de *Gardenia aubreyi* et *Sparattosyce dioica* communes aux parcelles permanentes Forêt Nord et Pic du Grand Kaori.

2.4 Fréquence d'échantillonnage et données disponibles

Le protocole établi selon les recommandations de Murray (2004) 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 qu'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 juvéniles et plantules sont délicat 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 depuis 2018 à focaliser sur les mesures d'arbres des parcelles de 400m² x 4 et arbustes des parcelles de 10m² x 20 à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori pour quantifier 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.

Le tableau ci-dessous synthétise les données disponibles pour le suivi réalisé sur les parcelles pour la campagne de 2020.

Mesures ou analyses	FN Total	PGK Total
Nombre de placettes et parcelles évaluées	24	24
Nombre de arbres/arbustes évalué pour état santé visuel (maladies, dépérissement)	772	626
Nombre de mesures d'activité chlorophyllienne	649	512
Nombre d'échantillons de sols prélevées	20	20
Nombre d'éléments analysée (sol) (N, P, K, S, Ca, Mg, Mn, Na, Fe, Cr, Co, Ni, Al, Si, Zn, CEC, pH)	340	340
Nombre d'échantillons de litières prélevées	20	20
Nombre d'éléments analysée (litières)(N, P, K, S, Na, Ca, Mg, Mn)	180	180
Nombre d'espèces prélevées pour analyses foliaires	8	8
Nombre d'échantillons de feuilles prélevées dans la canope des arbres	40	40
Nombre d'éléments analysée (feuilles) (N, P, K, S, Na, Ca, Mg, Mn)	180	180
Total mesures ou analyses par Forêt	2121	1838

Tableau 2 : Données disponibles pour le suivi des parcelles en 2020.

3. RÉSULTATS

3.1 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

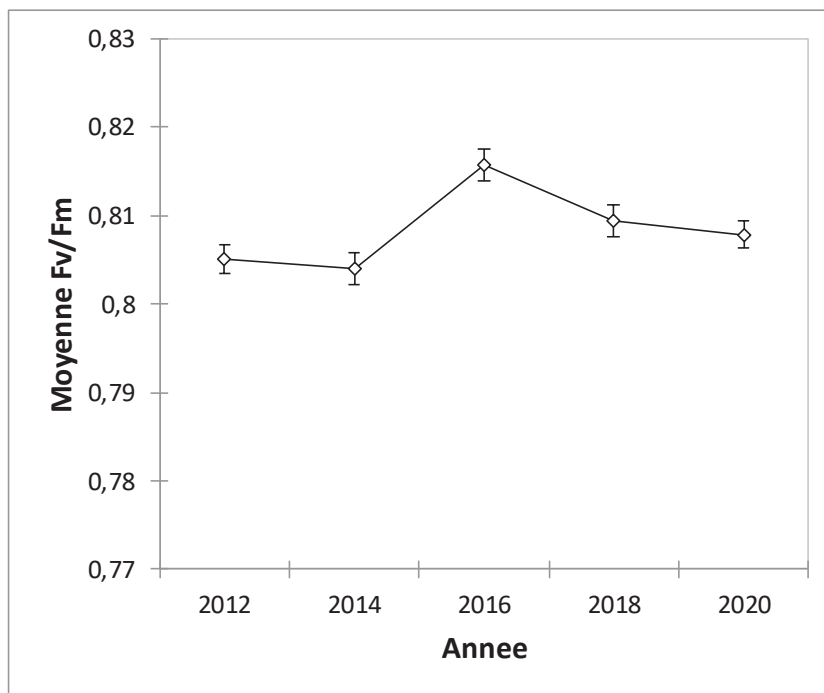


Figure 5 : Analyses de variance des mesures de fluorimétrie des arbres et arbustes sur les parcelles à Forêt Nord entre les années de 2012 à 2020 (N° 2760 ; r^2 0,01 ; F ratio 6,881 ; F prob < 0,001)

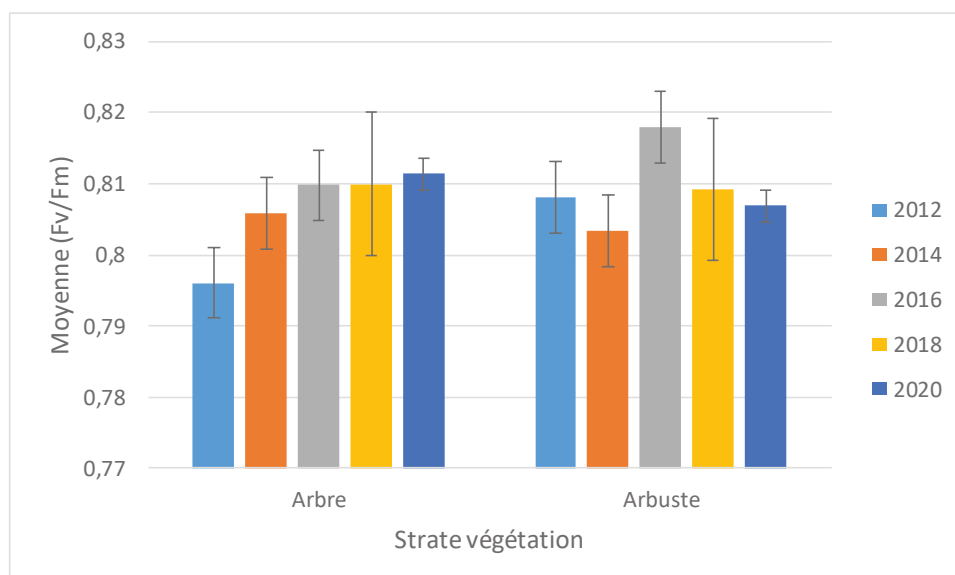


Figure 6 : Moyenne et écartypes des mesures de fluorimétrie des strates arbuste et arbres à Forêt Nord entre 2012 et 2020.

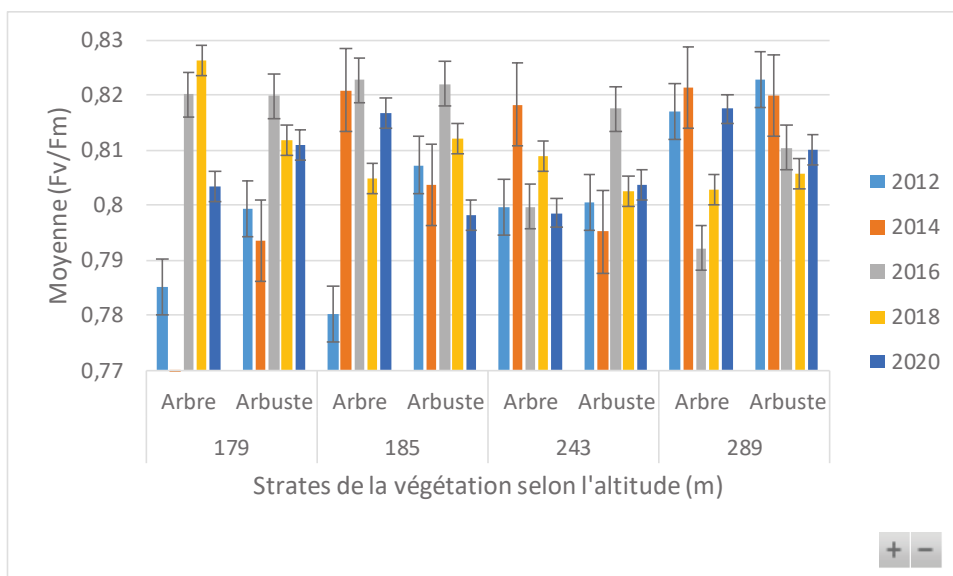


Figure 7 : Moyenne et écartypes des mesures de fluorimétrie des strates arbuste et arbres à Forêt Nord entre 2012 et 2020 par parcelle selon l'altitude (m).

Les mesures de fluorimétrie des parcelles selon la strate de végétation en Forêt-Nord ont montré une végétation en général en bonne santé avec la plupart des valeurs > 0,8, avec certaines différences entre les années et strates :

- Une baisse significative du fluorimétrie est noté sur ensemble des arbres et arbustes des parcelles entre 2016 et 2018/2020 par l'analyses de variance (ANOVA).
- Cette baisse notée par l'ANOVA pourra être liée à la diminution des valeurs de fluorimétrie des strates arbuste des sous-bois à 185 et 243m entre 2016 et 2018/2020.
- Une diminution des valeurs de fluorimétrie suggère de léger déclin de l'état de santé du système de photosynthèse des arbres entre 2018 et 2020 sur les parcelles à 179m et 143m en piedmont en Forêt-Nord.
- Une amélioration des valeurs de fluorimétrie des strates arbres et arbustes des parcelles à 289m de 2018 à 2020 suggères l'état de santé a repris de vigueur sur ce secteur de Forêt-Nord.

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

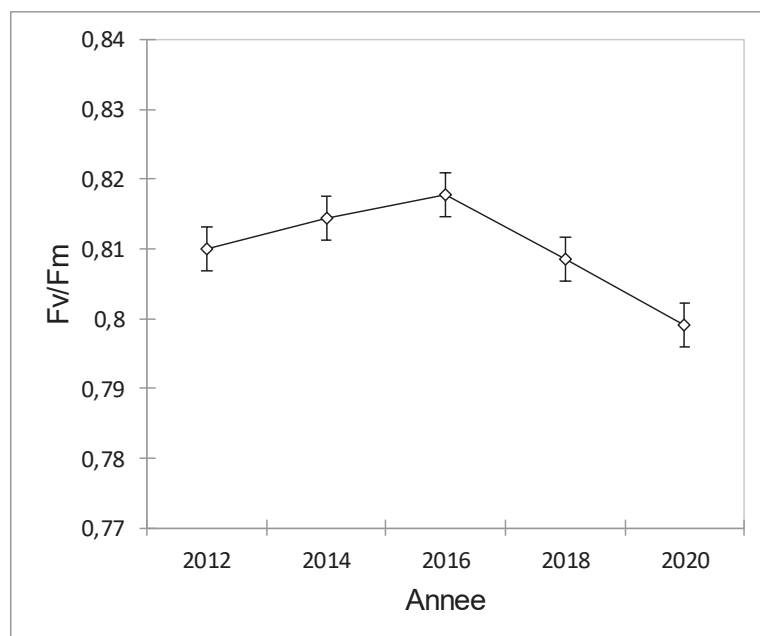


Figure 8 : Analyse de variance des mesures de fluorimétrie des arbres et arbustes sur les parcelles à Pic du Grand Kaori entre les années de 2012 à 2020 (N° 4081 ; r^2 0,019 ; F ratio 19,871 ; F prob < 0,001).

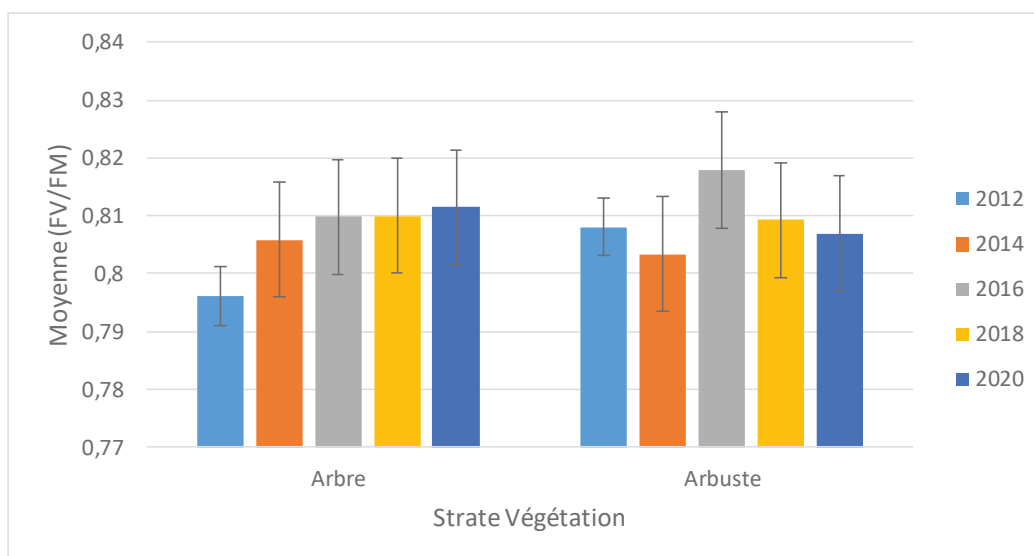


Figure 9 : Moyenne et écartypes des mesures de fluorimétrie des strates arbuste et arbres à Pic du Grand Kaori entre 2012 et 2020

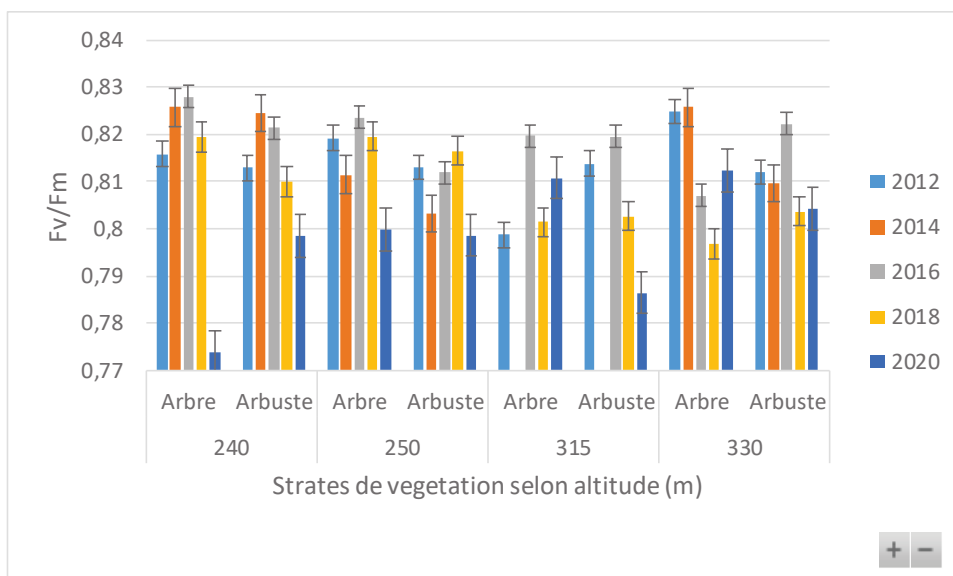


Figure 10 : Moyenne et écartypes des mesures de fluorimétrie des strates arbuste et arbres à Pic du Grand Kaori entre 2012 et 2020 par parcelle selon l'altitude (m).

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 significative des valeurs de fluorimétrie entre 2016 et 2020 pour les strates arbres et arbustes.
- Cette tendance est liée à la diminution des valeurs de fluorimétrie pour les strates arbres des parcelles à 240 et 250 m d'altitude ainsi que les arbustes sur les parcelles à 240, 315 et 330 m d'altitude.
- Diminution de valeurs de l'activité photosynthétique entre 2016 et 2020 les plus marquant sont les arbres sur la parcelle de 240 m d'altitude qui sont < 0,80.

Fluorimétrie par espèce sur les parcelles de Forêt-Nord (2020)

Espèce	FN4 (179m)		FN1 (185m)		FN2 (243m)		FN3 (289m)		Total	
	N°	FV/FM	N°	FV/FM	N°	FV/FM	N°	FV/FM	N°	FV/FM
<i>Agathis lanceolata</i>	2	0,83			2	0,83			4	0,83
<i>Agathis moorei</i>			1	0,82					1	0,82
<i>Alangium bussyanum</i>			1	0,87					1	0,87
<i>Alphitonia neocaledonica</i>							1	0,80	1	0,80
<i>Apodytes clusifolia</i>							2	0,83	2	0,83
<i>Archidendropsis granulosa</i>	15	0,82	2	0,78	6	0,78	2	0,79	25	0,81
<i>Atractocarpus pseudo-terminalis</i>			1	0,78					1	0,78
<i>Atractocarpus sp.</i>	8	0,83	1	0,85					9	0,83
<i>Austrobuxus pauciflorus</i>			1	0,71					1	0,71
<i>Austrobuxus sp.</i>							1	0,82	1	0,82
<i>Balanops sp.</i>	1	0,82	6	0,81					7	0,81
<i>Basselinia pancheri</i>							1	0,83	1	0,83
<i>Bocquillonia rhomboidea</i>	20	0,81	8	0,79					28	0,81
<i>Calophyllum caledonicum</i>	2	0,82					8	0,81	10	0,81
<i>Canarium oleiferum</i>	4	0,80					1	0,79	5	0,80
<i>Casearia sp.</i>			1	0,81			2	0,83	3	0,83
<i>Cerberiopsis candelabra</i>	1	0,82					4	0,80	5	0,81
<i>Chionanthus brachystachys</i>	1	0,86	1	0,83					2	0,84
<i>Cleidion vieillardii</i>	5	0,82							5	0,82
<i>Cleistanthus stipitatus</i>	25	0,81	12	0,80					37	0,80
<i>Codia discolor</i>							1	0,83	1	0,83
<i>Codia jaffrei</i>							3	0,84	3	0,84
<i>Codia sp.</i>							6	0,78	6	0,78
<i>Comptonella sp.</i>	1	0,78							1	0,78
<i>Cordylone neocaledonica</i>	4	0,81	2	0,84	1	0,85	1	0,86	8	0,83
<i>Crossostylis grandiflora</i>			1	0,83	2	0,82			3	0,82
<i>Cryptocarya sp.</i>	32	0,82	9	0,79	1	0,76	2	0,82	44	0,81
<i>Cupaniopsis cf. sylvatica</i>			1	0,79					1	0,79
<i>Cupaniopsis macrocarpa</i>			2	0,82					2	0,82
<i>Cupaniopsis oedipoda</i>			1	0,82					1	0,82
<i>Cupaniopsis sp.</i>	1	0,81	22	0,79	2	0,76	1	0,83	26	0,79
<i>Delarbrea sp.</i>	6	0,82					1	0,70	7	0,80
<i>Deplanchea speciosa</i>							2	0,83	2	0,83
<i>Diospyros olen</i>	6	0,81							6	0,81
<i>Diospyros sp.</i>	2	0,83	3	0,80			6	0,83	11	0,82
<i>Dysoxylum minutiflorum</i>			3	0,83					3	0,83
<i>Dysoxylum rufescens</i>	1	0,81	1	0,67					2	0,74
<i>Dysoxylum rufescens subs</i>			2	0,82					2	0,82
<i>Dysoxylum sp.</i>	2	0,81			1	0,82	6	0,80	9	0,81
<i>Elaeocarpus sp.</i>			2	0,80			1	0,83	3	0,81
<i>Elaeocarpus yateensis</i>							1	0,81	1	0,81
<i>Euroschinus elegans</i>							1	0,82	1	0,82
<i>Euroschinus sp.</i>							4	0,83	4	0,83
<i>Ficus habrophylla</i>					1	0,77			1	0,77
<i>Ficus sp.</i>			1	0,79	10	0,81	5	0,81	16	0,81
<i>Flindersia foumieri</i>	1	0,79							1	0,79
<i>Garcinia balansae</i>			1	0,82	1	0,79	1	0,79	3	0,80
<i>Garcinia neglecta</i>			2	0,78	1	0,77	5	0,83	8	0,81
<i>Garcinia sp.</i>	11	0,80	5	0,83	5	0,82	5	0,82	26	0,81
<i>Gardenia aubryi</i>	10	0,81	1	0,82			2	0,84	13	0,81
<i>Geissois pruinosa</i>	1	0,78							1	0,78
<i>Geissois sp.</i>	3	0,83							3	0,83
<i>Guettarda sp.</i>			5	0,81					5	0,81
<i>Guettarda wagapensis</i>	4	0,82	1	0,78					5	0,81
<i>Gymnostoma sp.</i>	1	0,71							1	0,71
<i>Halfordia kendac</i>	1	0,79							1	0,79
<i>Hedycarya parviflora</i>			1	0,79					1	0,79
<i>Hibbertia pancheri</i>							1	0,81	1	0,81

Espèce	FN4 (179m)		FN1 (185m)		FN2 (243m)		FN3 (289m)		Total	
	N°	FV/FM	N°	FV/FM	N°	FV/FM	N°	FV/FM	N°	FV/FM
<i>Homalium sp.</i>	11	0,83	2	0,80	1	0,81	2	0,82	16	0,82
<i>Hugonia sp.</i>			1	0,82			1	0,83	2	0,82
<i>Hypserpa sp.</i>			1	0,79					1	0,79
<i>Icacinaeae</i>							1	0,78	1	0,78
<i>Ixora montana</i>			5	0,79					5	0,79
<i>Ixora yahooensis</i>	2	0,82	4	0,79	1	0,78			7	0,79
<i>Lethedon sp.</i>	4	0,82	1	0,79			1	0,82	6	0,81
<i>Macaranga alchomeoides</i>					10	0,79			10	0,79
<i>Maxwellia lepidota</i>	1	0,83							1	0,83
<i>Meryta sp.</i>	7	0,82	2	0,83			14	0,81	23	0,81
<i>Montrouzieria gabriellae</i>							1	0,80	1	0,80
<i>Morierina montana</i>	2	0,86							2	0,86
<i>Oxera sp</i>			1	0,82					1	0,82
<i>Pagiantia cerifera</i>	6	0,80							6	0,80
<i>Pandanus sp</i>	5	0,78			2	0,71	1	0,79	8	0,76
<i>Phyllanthus caudatus</i>			1	0,80					1	0,80
<i>Phyllanthus sp</i>			1	0,79					1	0,79
<i>Pittosporum sp</i>			3	0,82			4	0,82	7	0,82
<i>Planchonella endichleri</i>					1	0,83			1	0,83
<i>Planchonella pronyensis</i>							1	0,82	1	0,82
<i>Planchonella sp</i>	4	0,80							4	0,80
<i>Planchonella thienensis</i>	1	0,78	4	0,82					5	0,81
<i>Planchonella wakere</i>					1	0,80			1	0,80
<i>Pleurocalyptus pancheri</i>							1	0,81	1	0,81
<i>Podocarpus lucienii</i>	1	0,82					1	0,84	2	0,83
<i>Polyalthia nitidissima</i>	3	0,70	3	0,80					6	0,75
<i>Polyscias sp</i>			1	0,79			2	0,83	3	0,81
<i>Psychotria sp</i>	2	0,81					3	0,82	5	0,82
<i>Pycnandra chartacea</i>	1	0,86							1	0,86
<i>Pycnandra sp</i>					6	0,79			6	0,79
<i>Rapanea cf. pronyensis</i>	1	0,79							1	0,79
<i>Sarcomelicope simplicifolia</i>	3	0,75							3	0,75
<i>Schefflera reginae</i>	4	0,82	1	0,89					5	0,83
<i>Schefflera sp</i>			1	0,79	3	0,81	1	0,84	5	0,81
<i>Sloanea sp</i>			1	0,81					1	0,81
<i>Smilax sp</i>			2	0,77	2	0,85			4	0,81
<i>Sparattosyce dioica</i>			3	0,78	1	0,80	3	0,81	7	0,80
<i>Storkiella pancheri</i>	1	0,79	1	0,77					2	0,78
<i>Storthocalyx chryseus</i>			3	0,81					3	0,81
<i>Storthocalyx sp</i>	16	0,81	1	0,75					17	0,80
<i>Syzygium arboreum</i>			1	0,88					1	0,88
<i>Syzygium multipetalum</i>							1	0,83	1	0,83
<i>Syzygium sp</i>	7	0,80	4	0,83	3	0,80	3	0,81	17	0,81
<i>Tabernaemontana cerifera</i>	6	0,79					3	0,78	9	0,78
<i>Tapeinosperma sp</i>							3	0,83	3	0,83
<i>Tarenna sp</i>	2	0,85							2	0,85
<i>Vitex sp</i>	1	0,82							1	0,82
<i>Xanthomyrtus hienghenensis</i>	2	0,78							2	0,78
<i>Xylopia sp</i>					7	0,84			7	0,84
<i>Xylopia vieillardii</i>			2	0,82					2	0,82
<i>Xylosma confusum</i>			1	0,77					1	0,77
<i>Xylosma sp</i>	2	0,83	2	0,82					4	0,82
<i>Zygogynum sp</i>	9	0,81							9	0,81
Total général	275	0,81	154	0,80	71	0,80	124	0,81	624	0,81

Tableau 3 : Fluorimétrie par espèce - Forêt-Nord

Les mesures de fluorimétrie effectuées en 2020 ont permis d'obtenir des informations sur l'activité photosynthétique de 111 genres d'arbres ou arbustes sur les parcelles permanentes. De manière globale les valeurs de 0,8 des parcelles permanentes reflètent la bonne santé de la végétation. Toutefois certains espèces représentée par des arbustes telles qu'*Austrobuxus pauciflorus*, *Ficus habrophylla*, *Geissois pruinosa*, *Storkiella pancheri* et *Pandanus sp. (balansae cf)* possédant des valeurs < 0,8 suggèrent des stressés liées aux conditions biotique et abiotique ou pathogènes existent dans les sous-bois. Les espèces sur FN1 montrant une réduction de l'activité photosynthétique sur le sous-bois semble plus nombreux que sur les autres parcelles. Cette réduction peut aussi liées au forte densité de la végétation (154 individus) sur ses parcelles qui générant une concurrence dans les sois bois pour les ressources (lumière, eau, nutritif).

Fluorimétrie par espèce sur les parcelles du Pic du Grand Kaori (2020)

Espèces	FGK1		FGK2		FGK3		FGK4		Total	
	N°	FV/FM	N°	FV/FM	N°	FV/FM	N°	FV/FM	N°	FV/FM
<i>Acropogon</i> sp			1	0,82					1	0,82
<i>Agatea longipedicellata</i>					1	0,72			1	0,72
<i>Agathis lanceolata</i>			1	0,80	2	0,83			3	0,82
<i>Alphitonia neocaledonica</i>	5	0,79							5	0,79
<i>Apodytes clusiifolia</i>			4	0,81					4	0,81
<i>Archidendropsis granulosa</i>	1	0,88	4	0,80	10	0,81	2	0,80	17	0,81
<i>Arthrophyllum</i> sp			1	0,82					1	0,82
<i>Atractocarpus ngoyensis</i>					1	0,76			1	0,76
<i>Atractocarpus pseudo-terminalis</i>	1	0,62							1	0,62
<i>Atractocarpus pterocarpon</i>	3	0,82	1	0,81					4	0,82
<i>Austrobuxus pauciflorus</i>	1	0,79			2	0,82	2	0,80	5	0,81
<i>Beccariella longipetiolata</i>			1	0,75					1	0,75
<i>Bikkia parviflora</i>					2	0,82			2	0,82
<i>Bocquillonina rhomboidea</i>			2	0,79	8	0,78	2	0,81	12	0,79
<i>Calophyllum caledonicum</i>			3	0,81	2	0,83	5	0,83	10	0,82
<i>Campecarpus fulcitus</i>			1	0,78					1	0,78
<i>Canarium oleiferum</i>							1	0,82	1	0,82
<i>Casearia montana</i>	8	0,80	1	0,82	1	0,82			10	0,80
<i>Casearia silvana</i>					3	0,82			3	0,82
<i>Cerberiopsis candelabra</i>	1	0,81							1	0,81
<i>Chionanthus brachystachys</i>							1	0,83	1	0,83
<i>Cleidion vieillardii</i>	1	0,79	1	0,79	8	0,80	1	0,79	11	0,80
<i>Codia jaffrei</i>					1	0,82	2	0,89	3	0,87
<i>Comptonella</i> sp							1	0,79	1	0,79
<i>Cordyline neocaledonica</i>			1	0,79					1	0,79
<i>Cryptocarya guillauminii</i>	1	0,59							1	0,59
<i>Cryptocarya</i> sp.	2	0,49	1	0,80	9	0,80	8	0,78	20	0,76
<i>Cunonia cf balansae</i>							2	0,83	2	0,83
<i>Cyclophyllum balansae</i>							1	0,80	1	0,80
<i>Cyphokentia macrostachya</i>			1	0,70			2	0,79	3	0,76
<i>Delarbrea</i> sp	1	0,84	1	0,81					2	0,83
<i>Deplanchea speciosa</i>	2	0,83	1	0,80	1	0,77	2	0,81	6	0,81
<i>Diospyros macrocarpa</i>					2	0,81			2	0,81
<i>Diospyros olen</i>	2	0,81	1	0,81	5	0,81	4	0,79	12	0,80
<i>Dysoxylum rufescens</i>	1	0,82							1	0,82
<i>Dysoxylum rufescens</i> ssp <i>dzumacense</i>					1	0,83			1	0,83
<i>Elaeocarpus speciosus</i>					1	0,82			1	0,82
<i>Elaeocarpus yateensis</i>							2	0,81	2	0,81
<i>Endiandra</i> sp.	1	0,57			3	0,81	2	0,81	6	0,77
<i>Eugenia</i> sp.	1	0,81	5	0,80	2	0,78	1	0,79	9	0,79
<i>Euroschinus elegans</i>					1	0,82			1	0,82
<i>Ficus asperula</i>					1	0,83			1	0,83
<i>Ficus nitidifolia</i>							2	0,80	2	0,80
<i>Fissistigma punctulatum</i>	1	0,77	1	0,80			5	0,78	7	0,78
<i>Flindersia fourmieri</i>	4	0,78					1	0,82	5	0,78
<i>Garcinia balansae</i>	3	0,81			1	0,81			4	0,81
<i>Garcinia neglecta</i>							1	0,81	1	0,81
<i>Gardenia aubryi</i>	4	0,81	1	0,80	3	0,78	2	0,79	10	0,80
<i>Gastrolepis austrocaledonica</i>	2	0,81	3	0,66	1	0,81	1	0,82	7	0,74

Espèces	FGK1		FGK2		FGK3		FGK4		Total	
	N°	FV/FM	N°	FV/FM	N°	FV/FM	N°	FV/FM	N°	FV/FM
<i>Gea platycarpa</i>	2	0,74							2	0,74
<i>Geniostoma rupestre</i>							1	0,82	1	0,82
<i>Guettarda eximia</i>	3	0,74	7	0,82	5	0,82	4	0,77	19	0,80
<i>Guioa villosa</i>					1	0,83			1	0,83
<i>Hibbertia lucens</i>	1	0,83	3	0,83	1	0,84			5	0,83
<i>Homalium sp.</i>			1	0,64			1	0,82	2	0,73
<i>Hugonia sp.</i>					2	0,81			2	0,81
<i>Hybanthus sp.</i>	5	0,80	1	0,78					6	0,80
<i>Ixora cauliflora</i>							1	0,82	1	0,82
<i>Ixora sp.</i>	1	0,80	1	0,81			1	0,80	3	0,81
<i>Lethedon sp.</i>	3	0,85							3	0,85
<i>Melicope vieillardii</i>	4	0,79					2	0,79	6	0,79
<i>Meryta sp.</i>			7	0,82	1	0,81			8	0,82
<i>Montrouzieria gabriellae</i>			1	0,72	3	0,81			4	0,79
<i>Myodocarpus fraxinifolius</i>	1	0,83	2	0,83	6	0,82			9	0,82
<i>Myodocarpus involucrat</i>							1	0,84	1	0,84
<i>Ochrosia balansae</i>	5	0,77							5	0,77
<i>Periomphale balansae</i>					1	0,81			1	0,81
<i>Phelline billardieri</i>	2	0,81			1	0,80			3	0,81
<i>Phyllanthus sp</i>	2	0,85	1	0,83	3	0,81			6	0,83
<i>Pittosporum deplanchei</i>	1	0,80	1	0,82					2	0,81
<i>Pittosporum pronyense</i>	2	0,82							2	0,82
<i>Planchonella endichleri</i>	3	0,82	5	0,82	6	0,81	1	0,79	15	0,81
<i>Planchonella sp</i>			1	0,84	5	0,82			6	0,82
<i>Planchonella wakere</i>	1	0,79	3	0,81	1	0,79			5	0,81
<i>Pleurocalyptus pancheri</i>			1	0,79			1	0,78	2	0,78
<i>Polyscias dioica</i>	3	0,80							3	0,80
<i>Psychotria douarrei</i>	2	0,76							2	0,76
<i>Psychotria leratii</i>					2	0,79	1	0,80	3	0,79
<i>Psychotria semperflorens</i>							1	0,76	1	0,76
<i>Rauvolfia balansae</i>			3	0,81	1	0,84			4	0,82
<i>Rourea balanseana</i>					1	0,79			1	0,79
<i>Schefflera gordonii</i>					1	0,85			1	0,85
<i>Schefflera sp</i>					1	0,83			1	0,83
<i>Sebertia acuminata</i>	1	0,80	2	0,83	1	0,85			4	0,83
<i>Semecarpus sp</i>					1	0,79			1	0,79
<i>Sparattosyce dioica</i>	1	0,79	1	0,81	4	0,79	3	0,80	9	0,79
<i>Spiraeanthemum meridionale</i>			2	0,82	5	0,82			7	0,82
<i>Stenocarpus sp</i>			1	0,82					1	0,82
<i>Stenocarpus trinervis</i>					1	0,83			1	0,83
<i>Storthalcalyx leioneurus</i>							1	0,76	1	0,76
<i>Styphelia cymbulae</i>	1	0,84	1	0,83					2	0,83
<i>Syzygium multipetalum</i>	1	0,81	1	0,81			1	0,80	3	0,81
<i>Tabernaemontana cerifera</i>	3	0,83	4	0,78	3	0,80	1	0,80	11	0,80
<i>Tapeinosperma sp</i>							1	0,79	1	0,79
<i>Virotia neurophylla</i>							2	0,82	2	0,82
<i>Vitex sp</i>					1	0,82			1	0,82
<i>Zygogynum sp</i>	2	0,82	2	0,80			1	0,81	5	0,81
Total général	96	0,79	89	0,80	130	0,81	78	0,80	393	0,80

Tableau 4 : Fluorimétrie par espèce - Pic du Grand Kaori

Les mesures de fluorimétrie des arbres et arbustes des parcelles à Pic du Grand Kaori montrant de manière générale que la plupart des 97 espèces/genres de plantes identifiées ont une activité photosynthétique performant avec des valeurs > 0,8. Toutefois, certaines espèces du sous-bois notamment sur FGK1 telles que *Attractocarpus pseudoterminalis*, *Cryptocarya guillauminii*, *Endiandra* sp. *Gea platycarpa*, *Gea eximia* possèdent des valeurs < 0,8 suggérant des concurrences ou stress sur les sous-bois de FGK1. Ce stress peut être liée au facteurs biotique ou abiotique ainsi que la concurrence pour les ressources. Le faible nombre d'individus avec des valeurs < 0,8 peut aussi être liées à des dégradations localisées des sous-bois par les cochons sur les parcelles qui générant une dégradation ponctuelle du milieu racinaire des plantes.

3.2 Caractéristiques chimiques du sol et de la litière des stations

Caractéristiques chimiques des parcelles de Forêt-Nord

LITIERE

PARCEL		FN1										FN2										FN3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
		Altitude (mètres)										243										237																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Année		Date										Date										Date																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
Analyses		Elément										Elément										Elément																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
		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=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=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
CHNS Humide	N %	0.92	1.09	1.21	1.54	1.10	1.22	0.78	1.22	1.10	0.87	1.14		0.85	0.95	1.00	1.27	1.11	1.10	1.11	0.40	1.37	0.97	0.76	0.92		0.93	1.01	0.97	1.30	1.05	1.08	0.87	1.03	1.10	0.89	1.07	0.18	0.76	0.82																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	C %	48.97	50.35	46.86	48.45	51.29	43.73	51.29	43.59	46.08	43.32	44.92		49.63	47.76	47.84	50.30	50.41	50.30	44.77	45.04	44.67	41.00	45.54		0.19	0.15	44.47	35.53	44.66	45.48	41.50	45.45	41.59	43.89	40.50	46.76		46.90																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	S %	0.11	0.05	0.12	0.13	0.13	0.17	0.13	0.17	0.13	0.05	0.13	0.19		0.12	0.08	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.12	0.06	0.14	0.11	0.19		0.15	0.08	0.12	0.14	0.15	0.13	0.17	0.10	0.06	0.14	0.18	0.10	0.12	0.11	0.14	0.04	0.11	0.17	0.18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	Ca %	1.44	1.23	1.47	1.50	1.51	1.65	1.57	1.67	1.59	0.89	1.16	1.70	1.57	1.82	1.50	1.63	1.54	1.24	0.95	1.28	1.22	2.32	1.50	1.32	1.56	1.50	1.43	1.25	1.05	1.46	1.89	1.97	1.99	1.81	1.29	1.05	0.72	1.67	1.67																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
	Mg %	0.23	0.23	0.29	0.38	0.22	0.19	0.27	0.19	0.26	0.12	0.15	0.22	0.22	0.22	0.30	0.32	0.32	0.33	0.28	0.33	0.31	0.19	0.16	0.31	0.27	0.38	0.43	0.39	0.39	0.42	0.39	0.36	0.39	0.43	0.19	0.19	0.33	0.32	0.39	0.24	0.22	0.27	0.27	0.24	0.27	0.27	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21	0.23	0.12	0.23	0.21

Tableau 5 : Caractéristiques chimiques des échantillons de litière et de sol - Forêt-Nord (2007-2020)

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.

LITIERE	Parcel		PGK1												PGK2												PGK4												PGK3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	Altitude (metres)		240												250												315												330																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	Année		2007												2008												2009												2010												2011												2012												2013												2014												2015												2016												2017												2018												2019												2020																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	Date		28/11/07												06/10/08												15/12/09												20/12/10												29/02/12												17/03/13												05/03/14												09/03/15												11/02/16												12/07/17												24/01/18												12/02/19												21/10/20												29/11/07												14/10/08												16/12/09												15/01/10												19/03/11												17/01/13												15/03/14												17/03/15												17/02/16												16/02/17												27/02/18												28/01/19												05/12/20												07/09/20												06/01/21												23/01/21												23/04/22												16/01/23												27/02/24												17/03/25												15/03/26												19/01/27												28/02/28												05/03/29												04/02/30												04/12/20												16/10/08												17/12/09												17/03/11												12/04/12												16/01/13												19/02/14												17/03/15												15/03/16												18/01/17												20/02/18												05/03/19												04/02/20												16/10/20												17/12/20												17/03/21												12/04/22												16/01/23												19/02/24												17/03/25												15/03/26												18/01/27												20/02/28												05/03/29												04/02/30												16/10/30												17/12/30												17/03/31												12/04/32												16/01/33												19/02/34												17/03/35												15/03/36												18/01/37												20/02/38												05/03/39												04/02/40												16/10/40												17/12/40												17/03/41												12/04/42												16/01/43												19/02/44												17/03/45												15/03/46												18/01/47												20/02/48												05/03/49												04/02/50												16/10/50												17/12/50												17/03/51												12/04/52												16/01/53												19/02/54												17/03/55												15/03/56												18/01/57												20/02/58												05/03/59												04/02/60												16/10/60												17/12/60												17/03/61												12/04/62												16/01/63												19/02/64												17/03/65												15/03/66												18/01/67												20/02/68												05/03/69												04/02/70												16/10/70												17/12/70												17/03/71												12/04/72												16/01/73												19/02/74												17/03/75												15/03/76												18/01/77												20/02/78												05/03/79												04/02/80												16/10/80												17/12/80												17/03/81												12/04/82												16/01/83												19/02/84												17/03/85												15/03/86												18/01/87												20/02/88												05/03/89												04/02/90												16/10/90												17/12/90												17/03/91												12/04/92												16/01/93												19/02/94												17/03/95												15/03/96												18/01/97												20/02/98												05/03/99												04/02/100												16/10/100												17/12/100												17/03/101												12/04/102												16/01/103												19/02/104												17/03/105												15/03/106												18/01/107												20/02/108												05/03/109												04/02/110												16/10/110												17/12/110												17/03/111												12/04/112												16/01/113												19/02/114												17/03/115												15/03/116												18/01/117												20/02/118												05/03/119												04/02/120												16/10/120												17/12/120												17/03/121												12/04/122												16/01/123												19/02/124												17/03/125												15/03/126												18/01/127												20/02/128												05/03/129												04/02/130												16/10/130												17/12/130												17/03/131												12/04/132												16/01/133												19/02/134												17/03/135												15/03/136												18/01/137												20/02/138												05/03/139												04/02/140												16/10/140												17/12/140												17/03/141												12/04/142												16/01/143												19/02/144												17/03/145												15/03/146												18/01/147												20/02/148												05/03/149												04/02/150												16/10/150												17/12/150												17/03/151												12/04/152												16/01/153												19/02/154												17/03/155												15/03/156												18/01/157																							

Tableau 6 : Caractéristiques chimiques des échantillons de litière et de sol - Pic du Grand Kaori (2007-2020)

Les analyses chimiques des litières et des sols des parcelles du Pic du Grand Kaori montrent plusieurs tendances :

- Les teneurs en Azote (N), Carbone (C) et Phosphore (P) sont en général plus élevées dans la litière que dans les sols de toutes les parcelles.
- Les teneurs en Soufre (S), Calcium (Ca), Magnésium (Mg), Sodium (Na) et Manganèse (Mn) sont en général plus élevées dans le sol que dans la litière des parcelles.
- Les différences de teneur en Potasse (K) entre les horizons de litières et de sols varient indépendamment des facteurs horizons et 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), Cuivre (Cu) et aluminium (Al).
- Le Magnésium (Mg) est plus élevé sur les parcelles PGK3 et PGK4 que sur les autres parcelles à cause des affleurements de péridotite riche dans cette élément.

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

Espèce	Année	Altitude (m)	N		P		K		Ca		Mg		Na		Mn		S	
			%	Écart	ppm	Écart	%	Écart	%	Écart	%	Écart	%	Écart	ppm	Écart	%	Écart
Garcinia-neglecta	2007	185	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
	Total 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
		2008	185	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
	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
	Total 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
		2009	185	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
	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
	Total 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
		2010	185	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
	287																	
	Total 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
		2011	185	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
	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
	Total 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
		2012	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
	185		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
	Total 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
		2014	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
	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
	Total 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
		2015	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
	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
	Total 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
		2016	179	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
	185		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
	Total 2016		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	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
	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
	Total 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
		2018	179	1,30	0,25	274	135	0,38	0,47	1,28	0,43	0,18	0,04	0,11	0,02	398	214	0,11
	185		1,10	0,32	395	52	0,33	0,11	1,84	0,27	0,38	0,07	0,09	0,03	1112	594	0,20	0,03
	Total 2018		1,20	0,29	335	116	0,35	0,33	1,56	0,45	0,28	0,11	0,10	0,03	755	565	0,15	0,07
		2019	179	0,82	0,11	217	57	0,51	0,16	1,11	0,09	0,22	0,03	0,18	0,07	811	161	0,17
	185		1,13	0,30	333	58	0,30	0,06	1,75	0,17	0,40	0,03	0,11	0,03	863	1121	0,16	0,03
	Total 2019		0,98	0,27	275	82	0,40	0,16	1,43	0,36	0,31	0,10	0,15	0,06	837	755	0,16	0,03
		2020	179	1,49	0,77	371	158	0,31	0,14	1,83	0,69	0,24	0,03	0,28	0,16	602	306	0,17
	185		1,28	0,12	558	105	0,38	0,26	3,02	0,60	0,46	0,05	0,13	0,04	1520	1527	0,19	0,04
	Total 2020		1,38	0,53	465	160	0,35	0,20	2,43	0,87	0,35	0,12	0,21	0,13	1061	1146	0,18	0,03
			1,10	0,27	396	137	0,51	0,25	1,91	0,74	0,32	0,12	0,15	0,11	725	690	0,17	0,04
	Total Garcinia-neglecta																	
	Gardenia-aubreyii	2007	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
287			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
Total 2007			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
		2008	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
2009			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
		Total 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
2010			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
		Total 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
2011			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
		Total 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
2012			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
		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
Total 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
		2014	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
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
Total 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
		2015	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
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
Total 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
		2016	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
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
Total 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
		2017	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
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
Total 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
		2018	179	0,92	0,21	314	64	1,02	0,15	0,89	0,23	0,25	0,06	0,19	0,03	85	18	0,17
287			1,30	0,16	355	61	0,93	0,25	1,58	0,21	0,33	0,07	0,29	0,05	147	37	0,14	0,02
Total 2018			1,11	0,27	335	63	0,97	0,20	1,23	0,42	0,29	0,07	0,24	0,07	116	43	0,16	0,03
		2019	179	1,09	0,30	273	60	0,87	0,21	0,99	0,15	0,29	0,09	0,37	0,10	46	10	0,17
287			1,11	0,19	269	19	1,04	0,17	1,20	0,36	0,27	0,06	0,34	0,08	37	26	0,13	0,03</

Espèce	Année	Altitude (m)	N		P		K		Ca		Mg		Na		Mn		S	
			%	Écart	ppm	Écart	%	Écart	%	Écart	%	Écart	%	Écart	ppm	Écart	%	Écart
<i>Sparattosyce-dioica</i>	2007	287	1,12	0,08	349	30	0,72	0,21	2,27	0,26	0,48	0,07	0,68	0,10	90	22	0,11	0,00
	Total 2007		1,12	0,08	349	30	0,72	0,21	2,27	0,26	0,48	0,07	0,68	0,10	90	22	0,11	0,00
	2008	287	1,25	0,06	354	37	1,00	0,15	2,27	0,46	0,26	0,04	0,32	0,07	73	21	0,10	0,01
	Total 2008		1,25	0,06	354	37	1,00	0,15	2,27	0,46	0,26	0,04	0,32	0,07	73	21	0,10	0,01
	2009	287	1,18	0,08	342	34	1,18	0,16	2,20	0,46	0,31	0,08	0,38	0,08	102	24	0,10	0,01
	Total 2009		1,18	0,08	342	34	1,18	0,16	2,20	0,46	0,31	0,08	0,38	0,08	102	24	0,10	0,01
	2010	287																
	Total 2010																	
	2011	287	1,44	0,10	370	31	0,90	0,23	1,95	0,32	0,37	0,09	0,34	0,12	121	47	0,12	0,02
	Total 2011		1,44	0,10	370	31	0,90	0,23	1,95	0,32	0,37	0,09	0,34	0,12	121	47	0,12	0,02
	2012	243	1,39	0,18	476	65	0,82	0,33	1,78	0,34	0,47	0,10	0,27	0,16	62	5	0,13	0,01
	Total 2012		1,36	0,10	332	23	0,91	0,24	1,76	0,14	0,30	0,05	0,30	0,05	93	30	0,13	0,01
	2014	243	1,24	0,13	491	56	1,09	0,23	1,78	0,22	0,59	0,06	0,38	0,08	79	28	0,13	0,01
	Total 2014		1,54	0,12	345	36	0,98	0,19	2,23	0,22	0,45	0,07	0,36	0,07	97	21	0,13	0,00
	2015	243	1,39	0,20	418	89	1,03	0,21	2,01	0,32	0,52	0,10	0,37	0,07	88	25	0,13	0,01
	Total 2015		1,21	0,05	422	20	0,65	0,31	3,38	2,96	0,47	0,13	0,35	0,12	64	16	0,12	0,01
	2016	287	1,12	0,11	401	72	0,90	0,39	2,66	0,46	0,49	0,09	0,57	0,16	70	17	0,12	0,01
	Total 2016		1,17	0,09	411	51	0,77	0,35	3,02	2,04	0,48	0,11	0,46	0,18	67	16	0,12	0,01
	2017	243	1,37	0,07	516	32	0,80	0,19	0,94	0,10	0,29	0,03	0,25	0,05	30	19	0,16	0,03
	Total 2017		1,36	0,06	262	39	0,88	0,21	0,87	0,14	0,27	0,04	0,33	0,06	26	5	0,14	0,01
	2018	287	1,36	0,06	389	138	0,84	0,20	0,91	0,12	0,28	0,04	0,29	0,07	28	14	0,15	0,02
	Total 2018		1,37	0,10	522	118	0,67	0,19	0,71	0,11	0,28	0,06	0,19	0,07	19	3	0,13	0,02
	2019	287	1,19	0,06	297	49	0,85	0,19	1,22	0,17	0,25	0,04	0,19	0,07	62	25	0,08	0,02
	Total 2019		1,28	0,12	409	146	0,76	0,20	0,97	0,30	0,26	0,05	0,19	0,06	40	28	0,10	0,03
	2020	243	1,11	0,39	414	105	0,66	0,19	1,51	0,26	0,40	0,08	0,30	0,09	131	25	0,13	0,03
	Total 2020		1,11	0,20	313	94	0,87	0,18	0,96	0,23	0,27	0,05	0,29	0,03	78	14	0,13	0,02
	2021	287	1,11	0,29	364	108	0,77	0,20	1,23	0,37	0,33	0,09	0,29	0,07	105	34	0,13	0,02
	Total 2021		1,42	0,17	389	47	0,84	0,30	1,28	0,10	0,60	0,09	0,43	0,14	47	10	0,12	0,02
	2022	243	1,34	0,17	289	31	1,23	0,18	1,56	0,28	0,27	0,05	0,30	0,08	60	15	0,11	0,03
	Total 2022		1,38	0,17	345	65	1,02	0,32	1,40	0,24	0,45	0,19	0,37	0,13	53	14	0,11	0,02
	2023	243	1,43	0,08	551	46	0,87	0,64	1,78	0,32	0,58	0,08	0,44	0,10	241	12	0,15	0,02
	Total 2023		1,03	0,28	393	86	0,79	0,18	1,88	0,37	0,38	0,13	0,41	0,10	218	35	0,14	0,02
Total Sparattosyce-dioica			1,23	0,29	472	106	0,83	0,44	1,83	0,33	0,48	0,15	0,42	0,10	230	28	0,15	0,02
<i>Xylopia-sp.</i>	2007	243	1,21	0,18	567	36	0,82	0,19	1,21	0,15	0,43	0,06	0,39	0,08	37	12	0,16	0,02
	Total 2007		1,21	0,09	567	36	0,82	0,19	1,21	0,15	0,43	0,06	0,39	0,08	37	12	0,16	0,02
	2008	243	1,39	0,06	508	27	0,76	0,18	1,27	0,15	0,38	0,04	0,29	0,05	87	78	0,17	0,05
	Total 2008		1,39	0,06	508	27	0,76	0,18	1,27	0,15	0,38	0,04	0,29	0,05	87	78	0,17	0,05
	2009	243	1,58	0,07	616	23	0,80	0,08	1,09	0,11	0,40	0,05	0,32	0,04	32	6	0,16	0,02
	Total 2009		1,58	0,07	616	23	0,80	0,08	1,09	0,11	0,40	0,05	0,32	0,04	32	6	0,16	0,02
	2010	243	1,63	0,07	579	32	0,75	0,11	1,08	0,12	0,40	0,03	0,38	0,08	32	8	0,16	0,02
	Total 2010		1,63	0,07	579	32	0,75	0,11	1,08	0,12	0,40	0,03	0,38	0,08	32	8	0,16	0,02
	2011	243	1,57	0,18	650	78	0,80	0,11	1,00	0,11	0,37	0,06	0,23	0,07	30	6	0,16	0,01
	Total 2011		1,57	0,18	650	78	0,80	0,11	1,00	0,11	0,37	0,06	0,23	0,07	30	6	0,16	0,01
	2012	185	1,54	0,10	647	66	0,89	0,17	1,10	0,13	0,27	0,06	0,18	0,07	145	96	0,20	0,03
	Total 2012		1,61	0,09	648	87	0,89	0,16	1,00	0,06	0,29	0,03	0,17	0,05	24	6	0,18	0,01
	2014	185	1,57	0,10	648	73	0,89	0,16	1,05	0,11	0,28	0,04	0,17	0,06	84	90	0,19	0,03
	Total 2014		1,28	0,10	677	23	1,17	0,15	1,28	0,27	0,34	0,09	0,18	0,09	233	138	0,24	0,03
	2015	243	1,31	0,06	658	41	1,06	0,25	1,13	0,05	0,38	0,04	0,28	0,05	30	3	0,19	0,02
	Total 2015		1,30	0,08	668	33	1,12	0,20	1,21	0,20	0,36	0,07	0,23	0,09	131	141	0,21	0,04
	2016	185	0,79	0,06	426	82	0,44	0,06	1,69	0,79	0,31	0,06	0,14	0,02	578	375	0,15	0,05
	Total 2016		1,30	0,07	571	66	0,74	0,05	1,05	0,32	0,32	0,04	0,25	0,04	26	8	0,15	0,02
	2017	243	1,04	0,28	499	103	0,59	0,17	1,37	0,66	0,32	0,05	0,20	0,06	302	384	0,15	0,03
	Total 2017		1,47	0,10	496	46	0,79	0,08	0,89	0,07	0,26	0,06	0,14	0,06	174	93	0,20	0,02
	2018	243	1,47	0,10	437	42	0,97	0,36	1,61	0,47	0,43	0,10	0,27	0,11	57	11	0,11	0,01
	Total 2018		1,47	0,09	466	51	0,88	0,27	1,25	0,50	0,34	0,12	0,20	0,11	116	87	0,16	0,05
	2019	185	1,31	0,11	566	126	0,62	0,28	0,98	0,27	0,23	0,06	0,13	0,04	165	71	0,21	0,04
	Total 2019		1,32	0,07	377	71	0,55	0,29	1,39	0,61	0,40	0,09	0,28	0,06	50	11	0,09	0,02
	2020	243	1,32	0,09	471	139	0,59	0,27	1,18	0,49	0,31	0,12	0,20	0,10	107	77	0,15	0,07
	Total 2020		1,52	0,11	472	44	0,56	0,08	0,93	0,15	0,19	0,04	0,13	0,05	198	72	0,24	0,03
	2021	243	1,32	0,14	530	33	0,67	0,21	0,81	0,16	0,29	0,08	0,20	0,05	77	17	0,15	0,02
	Total 2021		1,42	0,16	501	47	0,61	0,16	0,87	0,16	0,24	0,08	0,17	0,06	137	80	0,19	0,06
	2022	185	1,54	0,16	465	23	0,81	0,07	0,86	0,10	0,29	0,09	0,14	0,10	168	125	0,22	0,02
	Total 2022		1,42	0,19	443	61	0,80	0,17	0,87	0,09	0,37	0,06	0,33	0,03	28	4	0,14	0,02
	2023	185	1,48	0,18	453	47	0,81	0,13	0,86	0,09	0,33	0,08	0,25	0,12	90	106	0,18	0,04
	Total 2023		1,56	0,09	736	87	0,94	0,23	1,44	0,15	0,36	0,12	0,29	0,13	456	287	0,30	0,05
Total Xylopia-sp.			1,45	0,09	682	70	0,49	0,19	1,26	0,30	0,37	0,04	0,35	0,04	135	20	0,22	0,05
Total général			1,51	0,10	709	80	0,71	0,31	1,35	0,24	0,37	0,08	0,32	0,10	295	256	0,26	0,06
			1,41	0,21	563	108	0,78	0,23	1,14	0,34	0,35	0,09	0,25	0,10	120	170	0,18	0,05
			1,28	0,35	426	138	0,82	0,44	1,51	0,73	0,34	0,11	0,27	0,15	295	487	0,17	0,07

Tableau 7 : Teneur foliaire des espèces communes - Forêt-Nord (2007-2020)

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 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*, de *Sparattosyce dioica* et *Xylopi 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	0,84	0,35	1,00	0,37	0,33	0,09	0,36	0,36	67	239	0,15	0,03
	1,03	0,16	266	40	0,80	0,30	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	0,91	0,18	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	1,00	0,14	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	0,93	0,18	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	0,36	0,06	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	0,95	0,21	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	0,95	0,22	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	0,78	0,14	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	0,98	0,17	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	1,10	0,20	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	0,92	0,17	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	0,91	0,15	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	1,05	0,10	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	0,92	0,17	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	0,69	0,21	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	0,83	0,24	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	0,69	0,21	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	0,87	0,21	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	0,78	0,30	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	0,99	0,10	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	1,09	0,29	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	1,11	0,18	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	1,41	0,22	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	0,95	0,23	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	0,92	0,23	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	0,96	0,20	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	0,89	0,19	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	1,03	0,21	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	0,86	0,20	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	1,05	0,17	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	1,01	0,21	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	1,10	0,26	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	1,09	0,16	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	0,94	0,25	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	0,91	0,12	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	0,77	0,41	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	1,05	0,27	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	1,11	0,21	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	1,09	0,20	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	0,85	0,18	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	1,03	0,23	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	1,09	0,20	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	0,85	0,18	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	1,03	0,23	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	0,94	0,25	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	0,61	0,18	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	0,70	0,16	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	0,64	0,16	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	0,66	0,16	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	0,44	0,15	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	0,77	0,24	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	0,79	0,19	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	0,90	0,18	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	0,82	0,12	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	0,51	0,33	0,70	0,28	0,23	0,03	0,18	0,18	187	253	0,10	0,01
2019	1,05	0,15	262	53	0,99	0,22	0,95	0,17	0,32	0,06	0,40	0,08	94	106	0,14	0,02
240	1,18	0,20	227	30	1,18	0,15	0,99	0,22	0,29	0,08	0,42	0,11	229	143	0,14	0,01
250	0,95	0,09	280	42	1,01	0,19	0,88	0,12	0,33	0,05	0,39	0,09	59	36	0,14	0,02
315	1,07	0,12	228	37	0,84	0,10	1,02	0,22	0,32	0,02	0,37	0,07	48	23	0,14	0,02
330	1,02	0,06	314	51	0,92	0,28	0,89	0,06	0,35	0,08	0,45	0,04	41	20	0,14	0,02
2020	1,03	0,15	262	80	1,34	0,52	1,50	0,50	0,45	0,13	0,48	0,11	160	47	0,17	0,03
240	1,08	0,04	275	60	0,97	0,16	1,11	0,31	0,33	0,06	0,42	0,10	119	28	0,17	0,03
250	0,91	0,15	252	30	0,97	0,22	1,21	0,23	0,47	0,14	0,54	0,05	158	21	0,17	0,04
315	0,99	0,07	201	85	1,62	0,54	1,94	0,48	0,47	0,09	0,48	0,10	157	27	0,17	0,02
330	1,15	0,17	320	88	1,83	0,40	1,75	0,38	0,54	0,14	0,48	0,15	204	59	0,15	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>Sparattocyce dioica</i> 2013	1,28	0,17	349	84	0,95	0,27	1,29	0,41	0,40	0,13	0,24	0,09	86	49	0,11	0,03
	1,33	0,11	372	45	1,09	0,22	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	1,06	0,24	1,61	0,23	0,35	0,05	0,27	0,07	72	33	0,13	0,01
	1,28	0,10	361	36	1,14	0,22	1,44	0,14	0,50	0,15	0,23	0,08	84	21	0,13	0,01
	1,25	0,06	340	22	0,87	0,08	1,70	0,29	0,44	0,15	0,30	0,07	141	118	0,14	0,00
	1,36	0,08	389	56	1,28	0,12	1,40	0,08	0,31	0,08	0,18	0,07	106	29	0,14	0,01
	1,28	0,26	369	43	1,11	0,24	1,67	0,33	0,51	0,15	0,30	0,09	111	41	0,13	0,01
250	1,24	0,43	374	57	1,11	0,13	1,58	0,33	0,60	0,06	0,25	0,05	89	43	0,12	0,01
	1,17	0,21	333	36	1,19	0,34	1,53	0,35	0,45	0,20	0,23	0,04	134	45	0,12	0,01
	1,30	0,12	381	27	1,21	0,22	1,59	0,12	0,38	0,05	0,31	0,05	109	36	0,13	0,01
	1,40	0,17	385	34	0,93	0,20	1,98	0,32	0,60	0,10	0,42	0,08	113	41	0,15	0,01
	1,21	0,07	347	61	0,86	0,23	1,26	0,30	0,40	0,11	0,28	0,08	86	43	0,12	0,02
315	1,25	0,09	308	32	0,76	0,06	0,91	0,24	0,31	0,05	0,33	0,08	70	65	0,14	0,01
	1,18	0,06	353	51	1,16	0,16	1,29	0,16	0,36	0,12	0,23	0,05	111	49	0,11	0,01
	1,23	0,05	351	54	0,71	0,23	1,52	0,17	0,41	0,12	0,31	0,06	86	25	0,12	0,01
	1,18	0,05	375	89	0,81	0,15	1,34	0,28	0,51	0,05	0,26	0,09	78	22	0,13	0,02
	1,42	0,09	407	112	1,04	0,22	1,23	0,24	0,39	0,10	0,20	0,05	81	44	0,11	0,01
330	1,43	0,11	351	86	0,86	0,15	1,28	0,24	0,35	0,08	0,21	0,06	85	68	0,12	0,02
	1,46	0,07	514	98	1,10	0,21	1,14	0,24	0,44	0,09	0,17	0,04	88	37	0,09	0,01
	1,41	0,06	466	60	1,23	0,17	1,35	0,24	0,39	0,13	0,24	0,04	69	23	0,11	0,01
	1,39	0,11	298	34	0,95	0,20	1,16	0,24	0,40	0,11	0,20	0,06	82	51	0,10	0,01
	1,16	0,14	252	45	0,67	0,15	0,76	0,25	0,32	0,10	0,17	0,05	48	18	0,07	0,01
2014	1,25	0,07	272	39	0,57	0,16	1,03	0,26	0,37	0,07	0,22	0,04	59	27	0,08	0,01
	1,13	0,11	276	37	0,78	0,15	0,75	0,09	0,37	0,10	0,13	0,02	53	13	0,07	0,01
	1,20	0,10	225	63	0,69	0,13	0,72	0,17	0,23	0,09	0,18	0,06	39	8	0,07	0,01
	1,07	0,21	234	16	0,66	0,13	0,55	0,22	0,31	0,10	0,18	0,04	42	17	0,06	0,01
	1,28	0,22	248	42	0,65	0,17	1,00	0,28	0,34	0,12	0,20	0,08	148	47	0,10	0,01
2015	1,28	0,10	233	50	0,54	0,08	1,07	0,46	0,35	0,12	0,21	0,08	140	39	0,10	0,01
	1,27	0,34	233	32	0,75	0,20	0,95	0,24	0,34	0,11	0,17	0,05	144	51	0,09	0,01
	1,36	0,13	239	45	0,63	0,23	0,94	0,17	0,34	0,12	0,19	0,10	171	55	0,10	0,02
	1,22	0,26	280	27	0,68	0,10	1,04	0,24	0,34	0,16	0,22	0,08	139	48	0,10	0,02
	1,37	0,13	285	91	1,27	0,37	1,31	0,22	0,47	0,14	0,26	0,08	159	272	0,10	0,01
2016	1,44	0,16	258	137	1,32	0,39	1,32	0,39	0,53	0,13	0,25	0,07	428	469	0,09	0,01
	1,38	0,12	279	65	1,38	0,54	1,21	0,13	0,54	0,16	0,23	0,09	49	44	0,09	0,01
	1,29	0,04	261	49	1,26	0,31	1,31	0,11	0,41	0,16	0,23	0,08	73	33	0,10	0,01
	1,37	0,15	340	90	1,13	0,23	1,41	0,18	0,42	0,08	0,32	0,06	88	77	0,10	0,01
	1,32	0,09	346	85	1,47	0,75	1,96	0,96	0,51	0,17	0,32	0,13	238	88	0,12	0,03
2017	1,31	0,07	360	121	0,91	0,59	1,49	0,96	0,47	0,19	0,3	0,16	208	110	0,13	0,03
	1,35	0,09	322	70	1,11	0,64	1,23	0,67	0,51	0,22	0,25	0,09	230	80	0,1	0,02
	1,29	0,08	358	88	1,93	0,62	2,24	0,65	0,49	0,07	0,31	0,12	229	39	0,13	0,04
	1,33	0,12	341	52	1,93	0,57	2,88	0,6	0,56	0,17	0,42	0,05	285	98	0,11	0,01

Tableau 8 : Teneur foliaire des espèces communes - Pic du Grand Kaori (2007-2020)

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 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 *Gardenia aubreyi* suivi de *Sparattocyce dioica*.

3.3 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

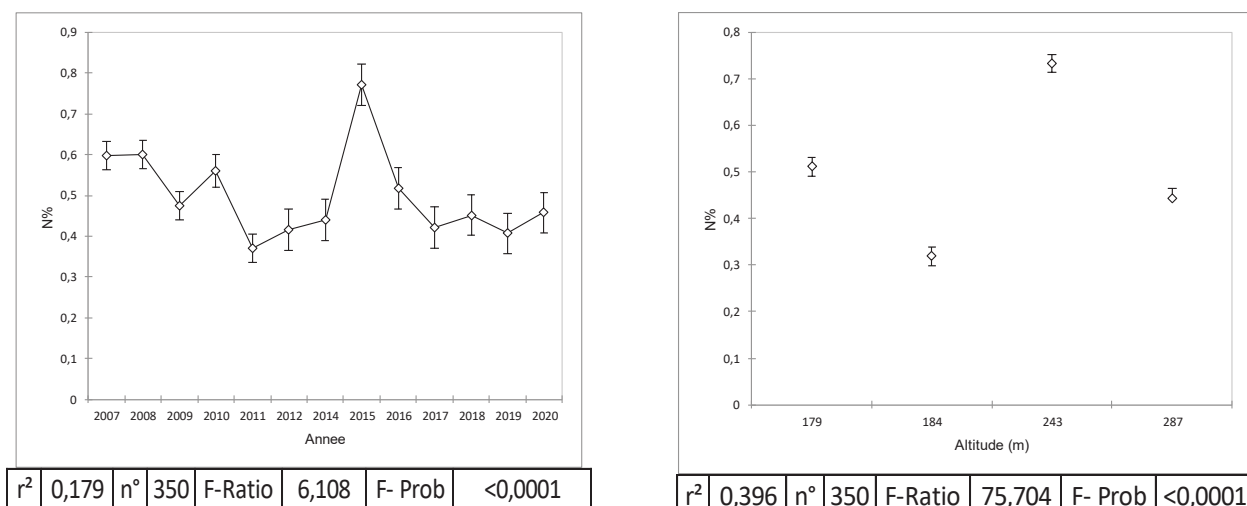


Figure 11 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

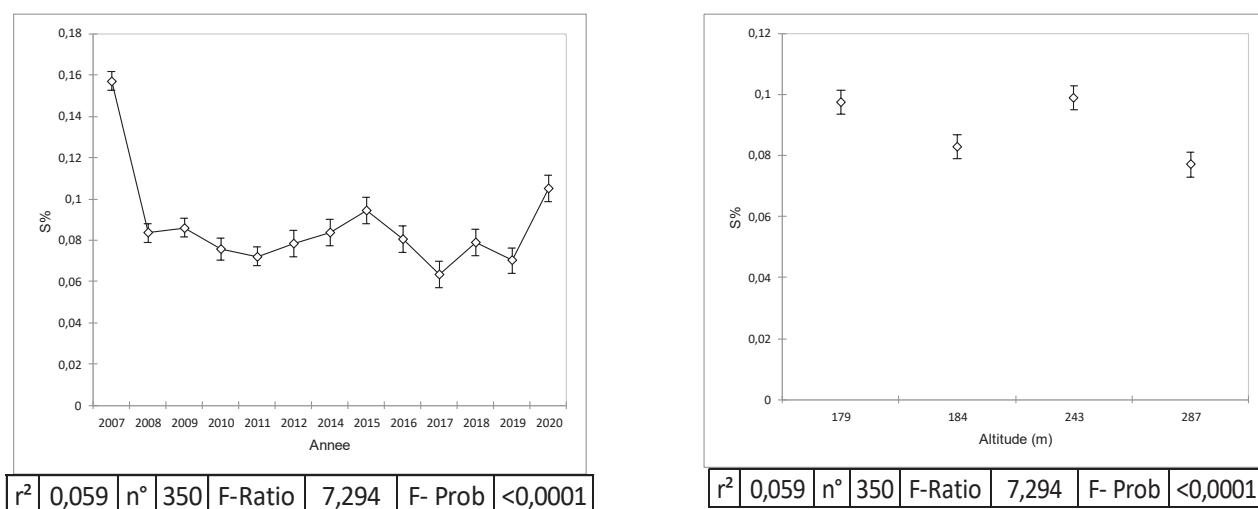


Figure 12 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Forêt-Nord

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des sols de Forêt-Nord prélevés sur les parcelles permanentes de 2007 à 2020 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 à la finale en 2020
- 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

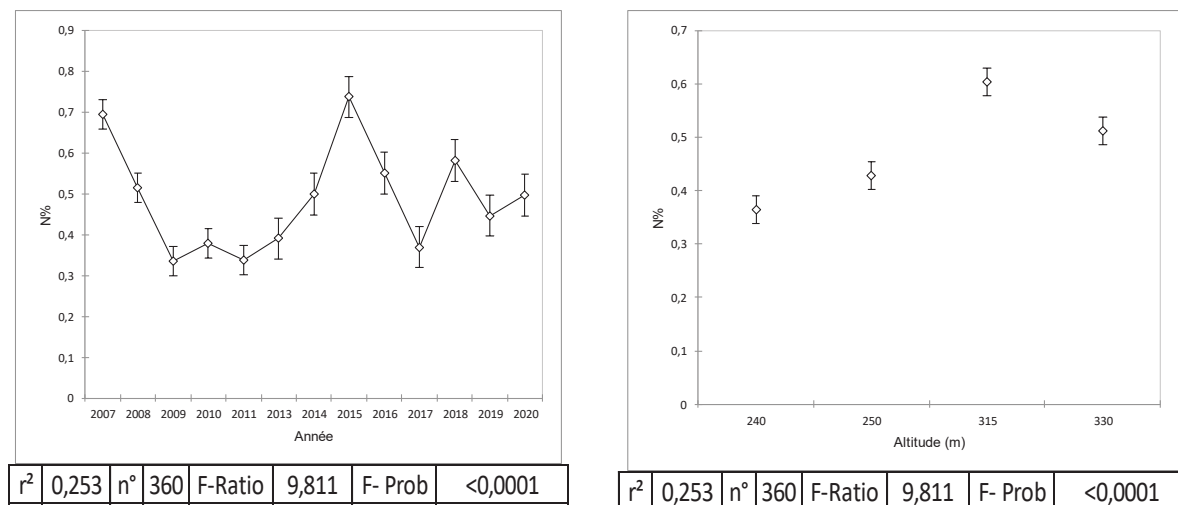


Figure 13 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

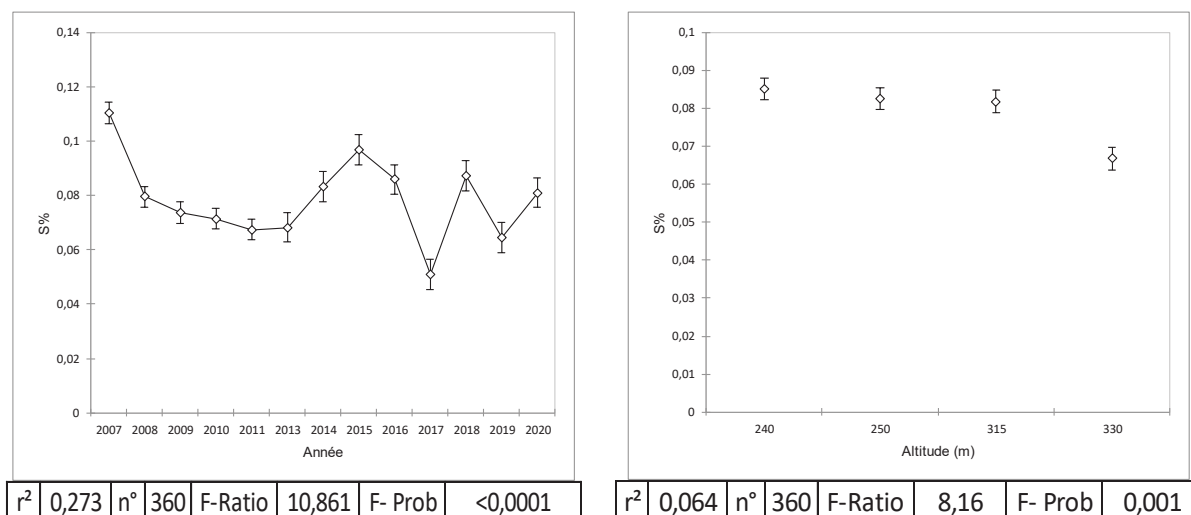


Figure 14 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des sols de Pic du Grand Kaori prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2020 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 finalement augmenter en 2020.
- 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 selon l'augmentation en altitude.

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

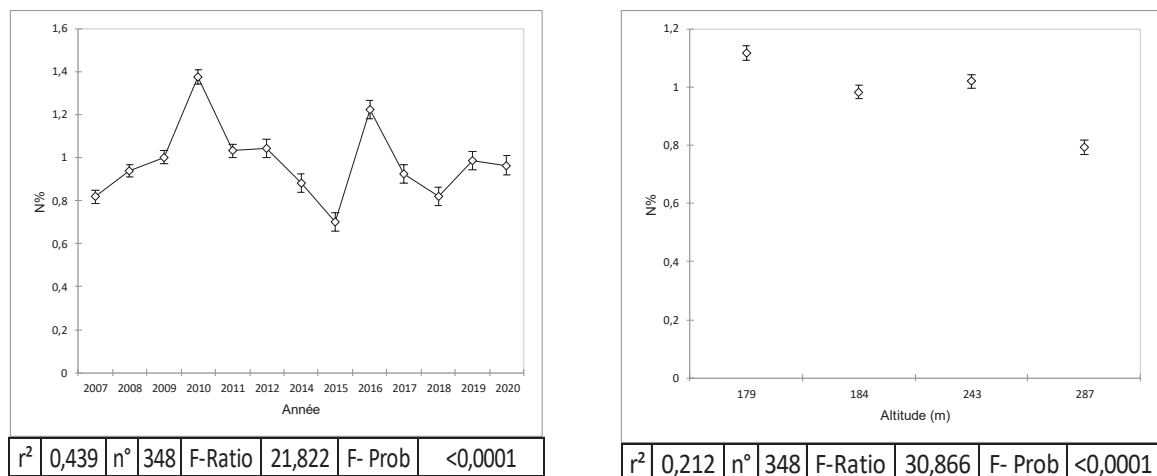
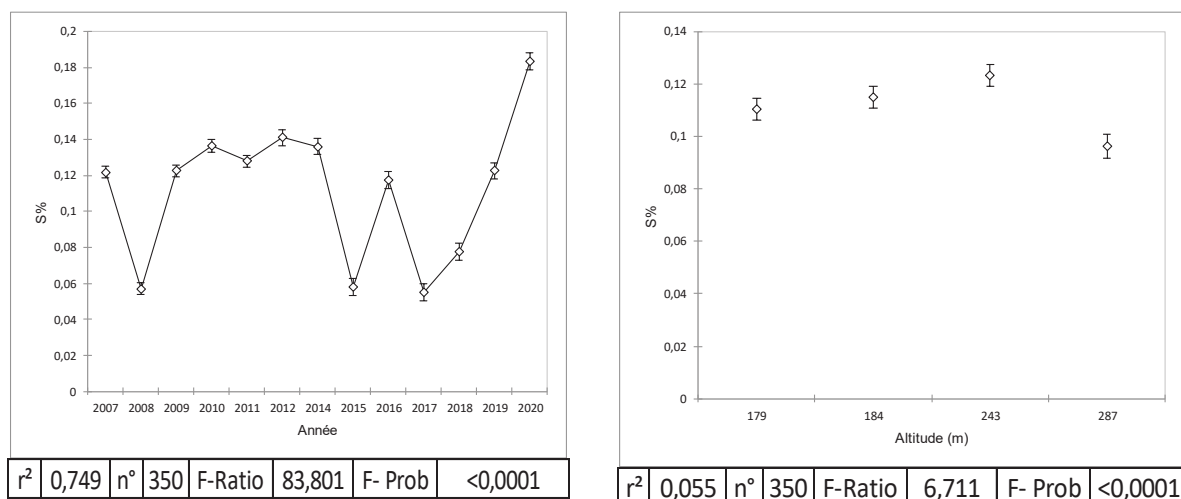


Figure 15 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des litières - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)



L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des litières de Forêt-Nord prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2020 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 puis une montée pour atteindre une valeur maximale en 2020. Ces changements pourraient être considérés comme des variations cycliques avec une accumulation des apport émission industriel plus conséquent en 2019 comme témoin les valeurs de début 2020.
- 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

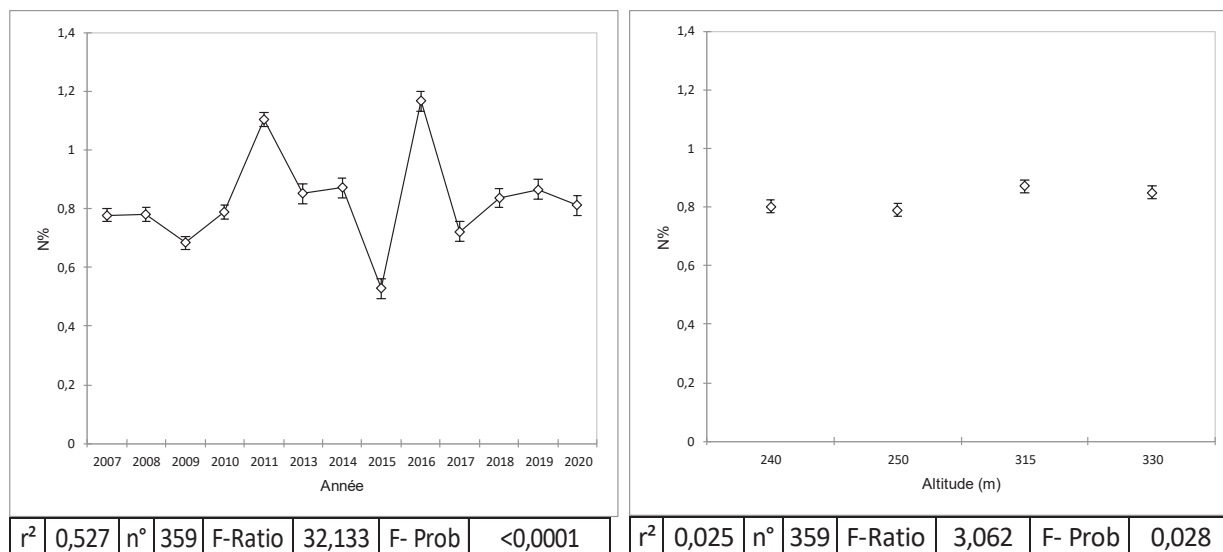


Figure 16 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des litières - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

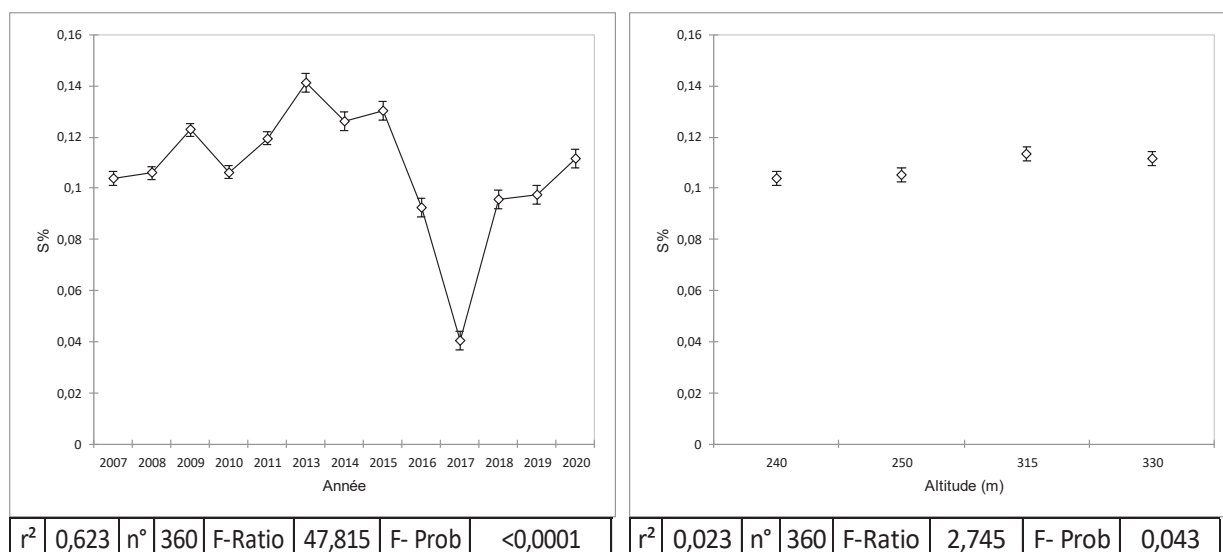
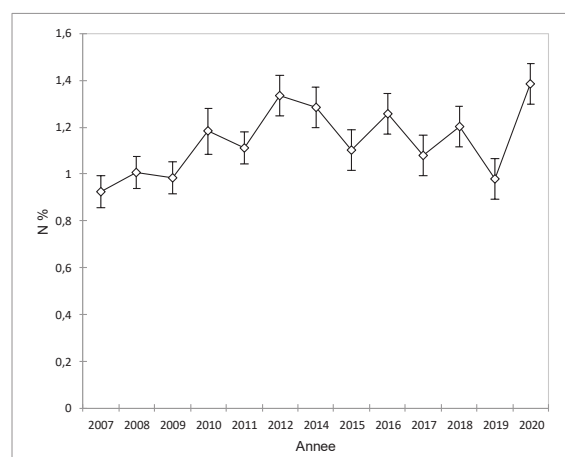


Figure 17 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des litières - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

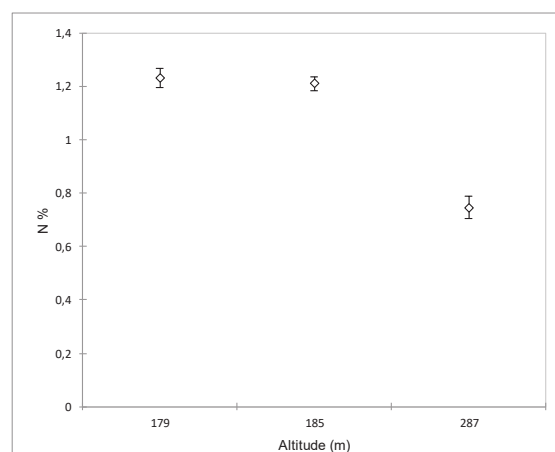
L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des litières du Pic du Grand Kaori prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2020 montre plusieurs tendances :

- Les teneurs en N montrent une augmentation significative de 2007 à 2011 suivis d'une oscillation entre 2015 et 2020 suggérant des variations cycliques.
- Les teneurs en S augment de manière significative entre 2007 et 2015 et ensuite diminuent en 2016 pour remonter à des valeurs semblant à 2015 en 2020...
- 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.
- Légère variation significative en N et S selon les altitudes avec les parcelles plus élevées avec des plus forte teneurs en azote et soufre.

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

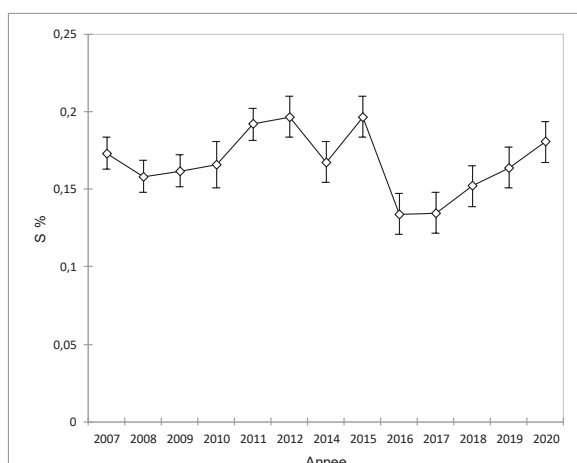


r ²	0,226	n°	152	F-Ratio	3,373	F- Prob	0,001
----------------	-------	----	-----	---------	-------	---------	-------

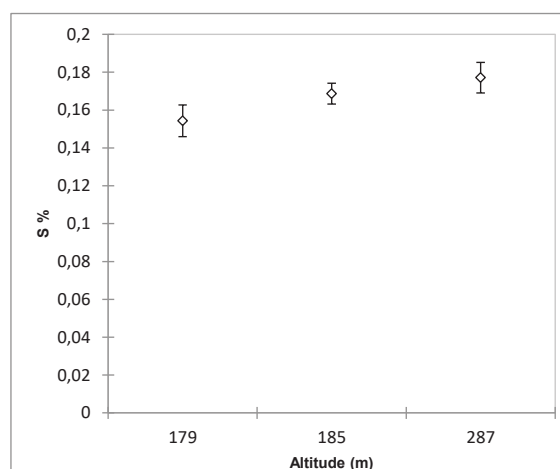


r ²	0,417	n°	152	F-Ratio	53,319	F- Prob	<0,0001
----------------	-------	----	-----	---------	--------	---------	---------

Figure 18 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Garcinia neglecta* (Guttiferae) - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)



r ²	0,187	n°	152	F-Ratio	2,659	F- Prob	0,003
----------------	-------	----	-----	---------	-------	---------	-------



r ²	0,044	n°	152	F-Ratio	1,662	F- Prob	0,193
----------------	-------	----	-----	---------	-------	---------	-------

Figure 19 : 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

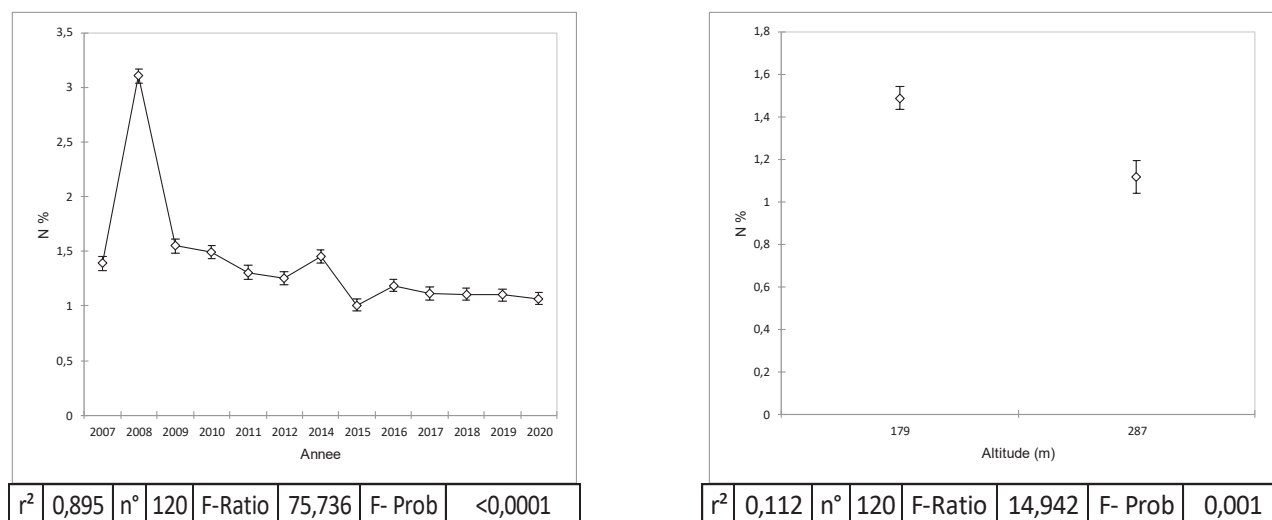


Figure 20 : ANOVA teneur en Azote total (N- %) des feuilles de *Gardenia aubreyi* - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

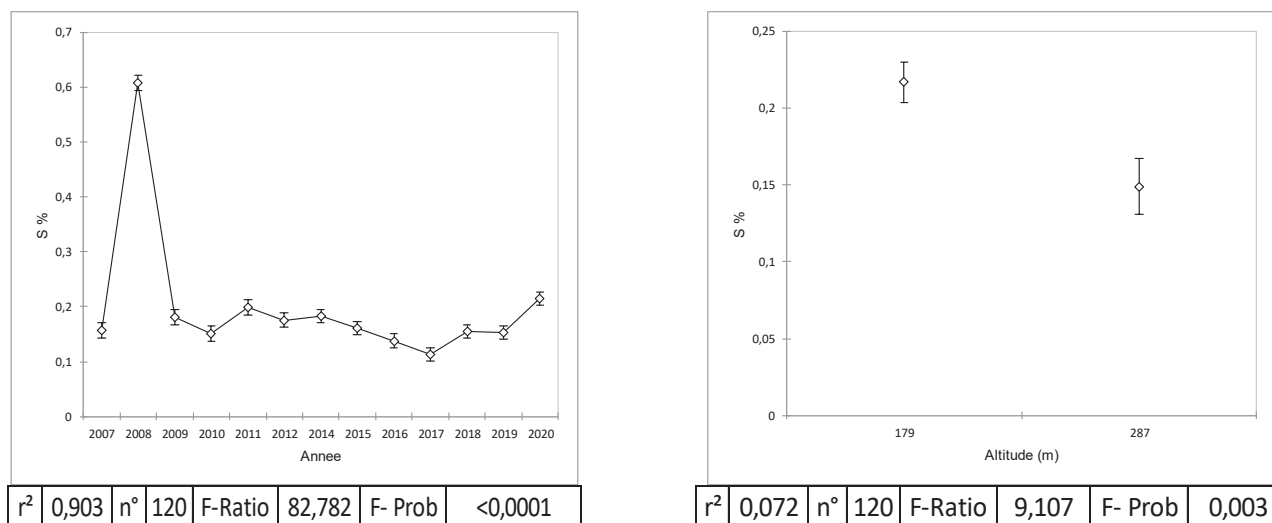


Figure 21 : ANOVA teneur en Soufre total (S- %) des feuilles de *Gardenia aubreyi* - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

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

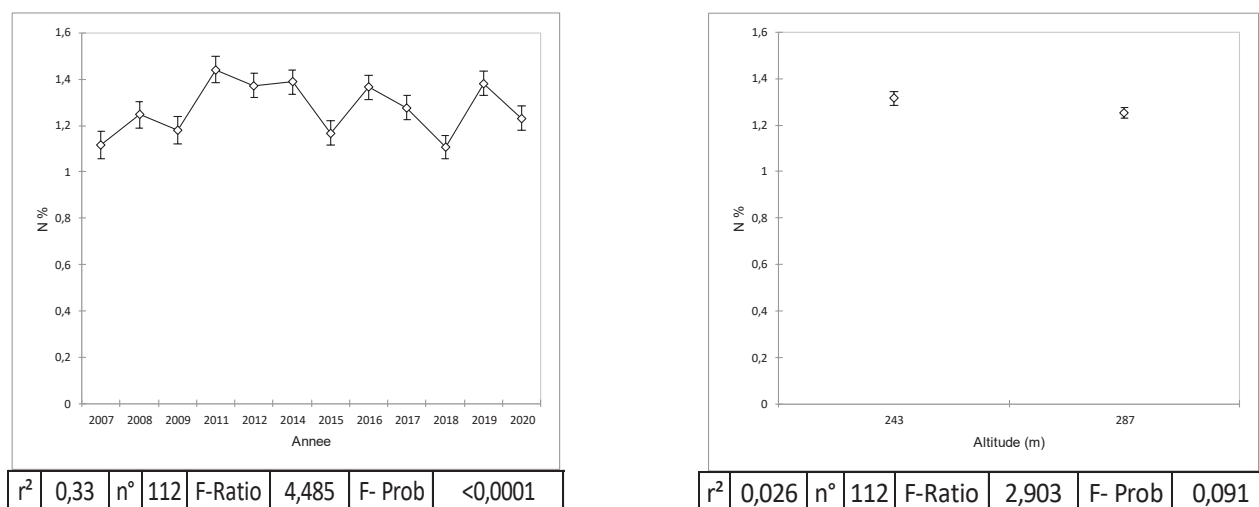


Figure 22 : ANOVA teneur en Azote total (N- %) des feuilles de *Sparattosyce dioica* - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

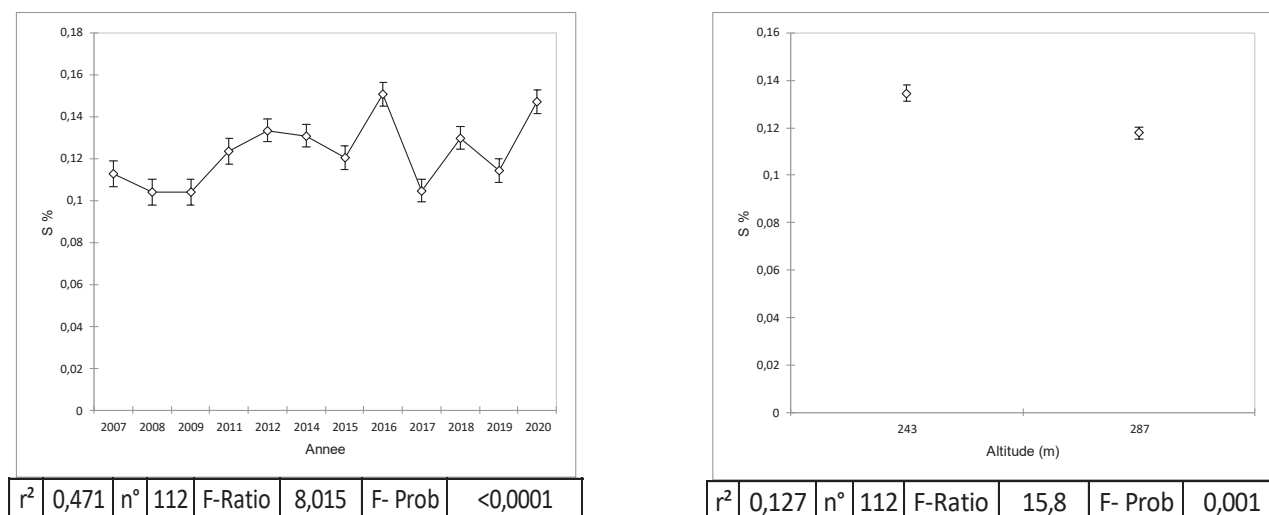


Figure 23 : ANOVA teneur en Soufre total (S- %) des feuilles de *Sparattosyce dioica* - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

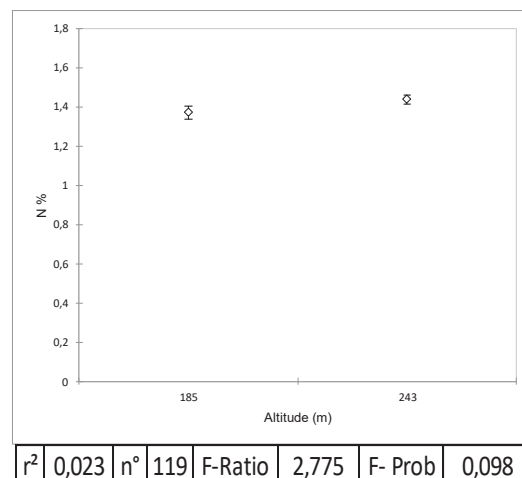
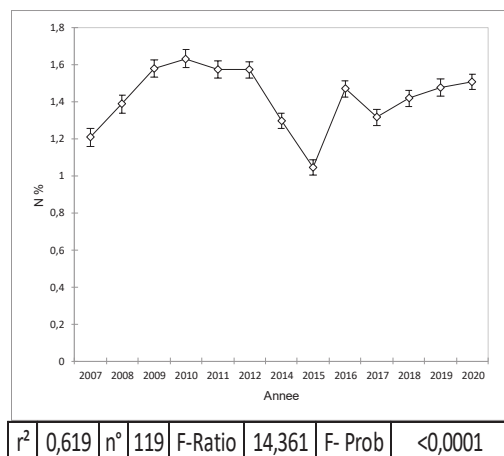
ANOVA des éléments dans les feuilles de *Xylopi* sp. sur les parcelles de Forêt-Nord


Figure 24 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Xylopi* sp. - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

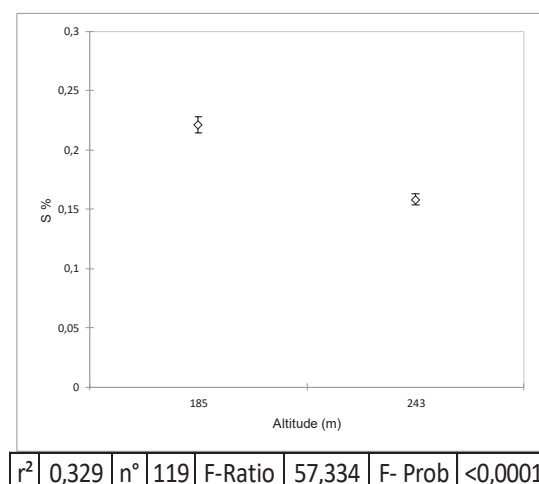
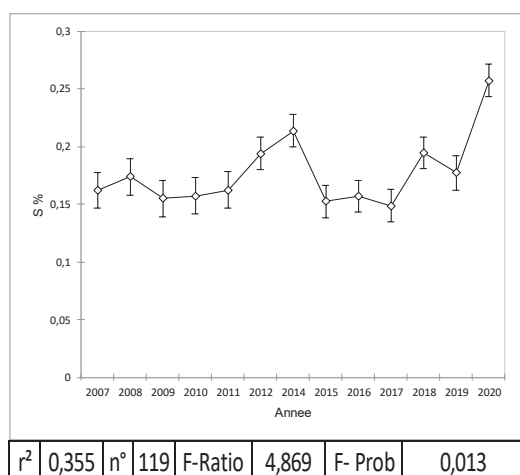


Figure 25 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de *Xylopi* sp. - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des feuilles de *Garcinia neglecta*, *Gardenia aubreyi*, *Sparattosyce dioica* et *Xylopia pancheri* prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2020 en Forêt-Nord montrent plusieurs tendances :

- Ensemble des espèces présentent une augmentation progressive de leurs teneurs en S de 2007 à 2015 suivis d'une diminution en 2016 pour ensuite augmenter de 2017 à 2020.
- Teneurs en N et S sont plus élevées sur les *Garcinia*, *Gardenia* et *Sparattosyce* sur les parcelles de basse altitude que les parcelles de haute altitude.
- *Xylopia* présent les teneurs les plus élevés en S en 2020

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

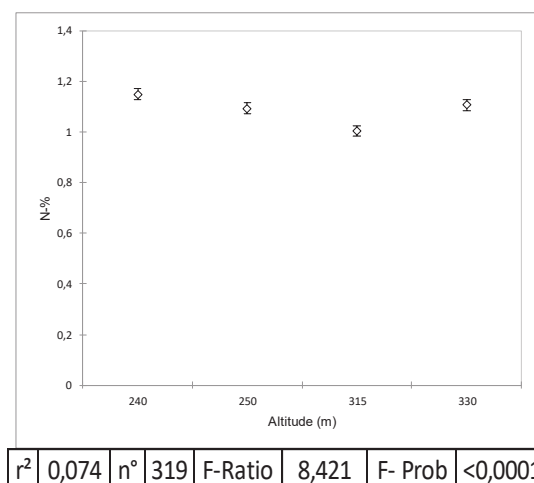
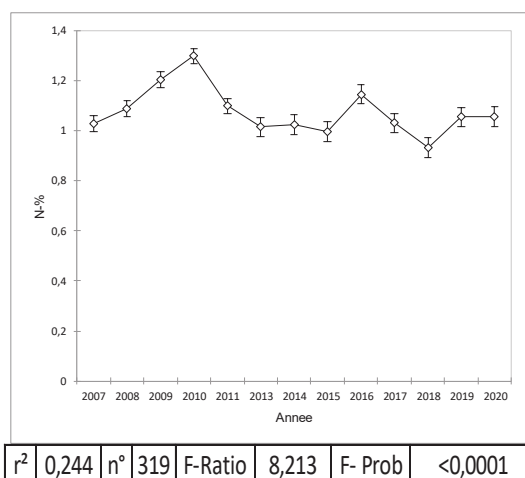


Figure 26 : ANOVA teneur en Azote total (N- %) des feuilles de *Gardenia aubreyi* – Pic du Grand kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

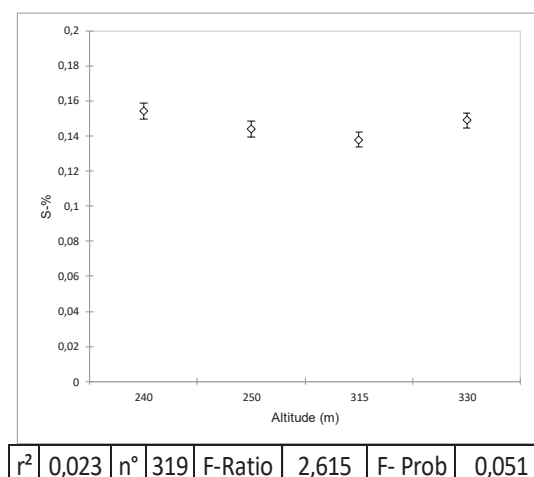
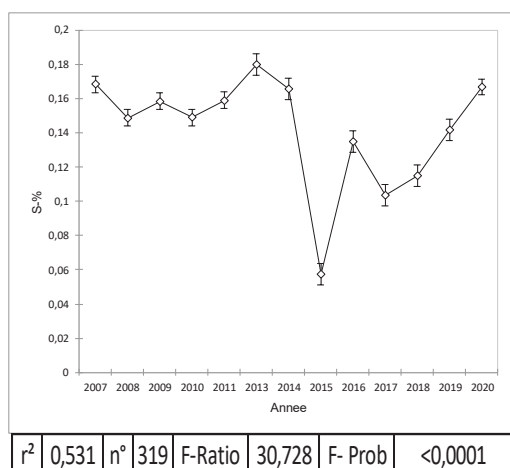


Figure 27 : ANOVA teneur en Soufre total (S- %) des feuilles de *Gardenia aubreyi* – Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

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

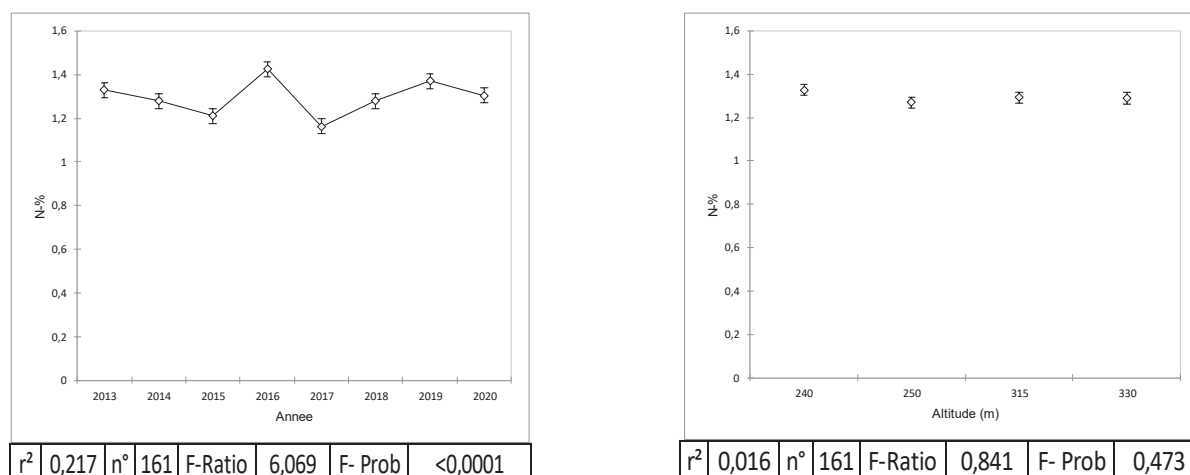


Figure 28 : ANOVA teneur en Azote total (N - %) des feuilles de *Sparattosyce dioica* – Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

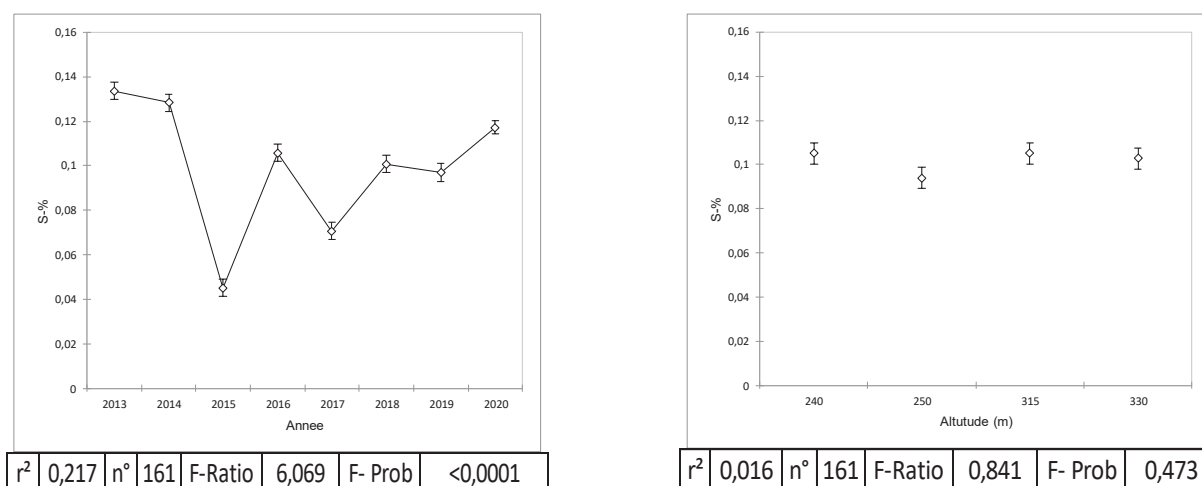


Figure 29 : ANOVA teneur en Soufre (S - %) des feuilles de *Sparattosyce dioica* – Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

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 2020 à Pic du Grand Kaori montre plusieurs tendances :

- Les feuilles de *Gardenia* et *Sparattosyce* montrent une augmentation significative de leurs teneurs en N de 2013 à 2016 suivie diminution en 2017 et augmentation significative à 2020.
- Les teneurs en S des feuilles de *Gardenia* et *Sparattosyce* montrent une tendance générale de diminution entre 2007 et 2015 suivi d'une augmentation à 2020 qui sont significative.
- La teneur en S des feuilles de *Gardenia* montre des différences significatives entre les parcelles selon l'altitude et de manière aléatoire.

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

Gardenia aubreyi (Rubiaceae)

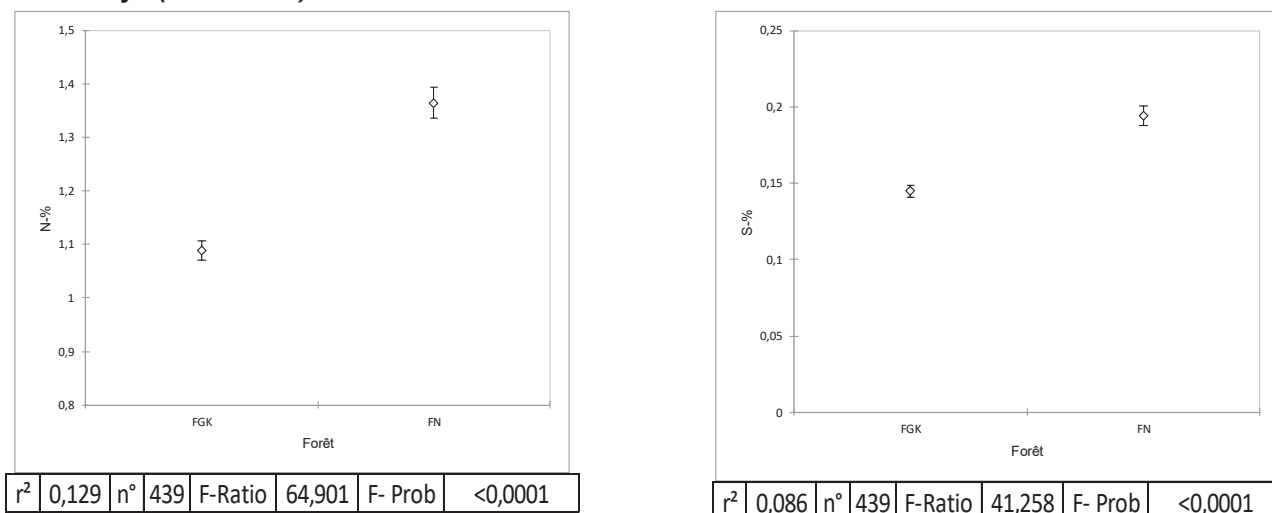


Figure 30: ANOVA teneur en Azote total (N-%) (gauche) et Soufre (S%) (droite) des feuilles de *Gardenia aubreyi* entre Forêt Nord et Pic du Grand Kaori.

Sparattosyce dioica (Moraceae)

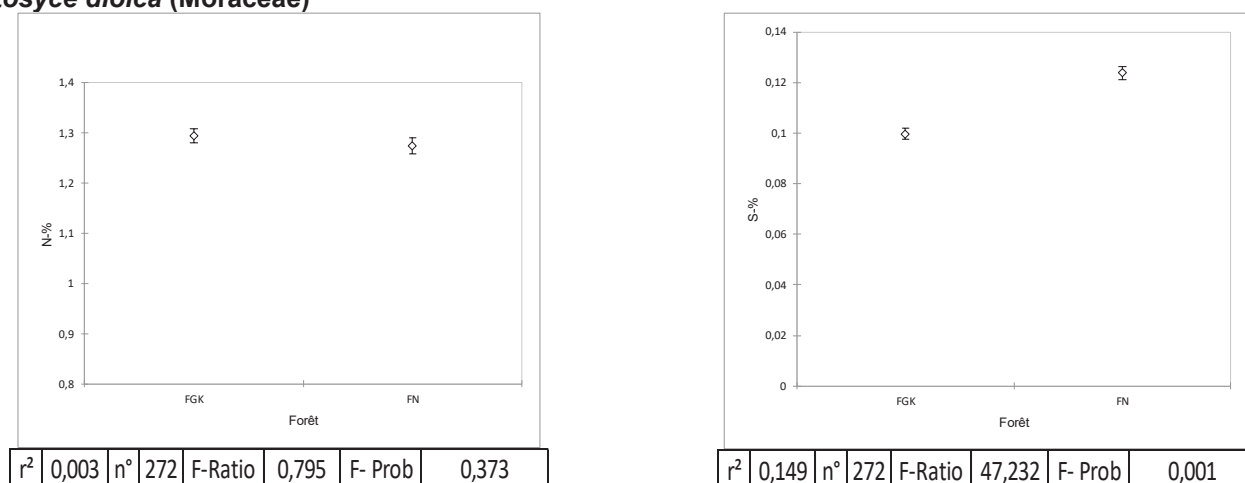


Figure 31: ANOVA teneur en Azote total (N-%) (gauche) et Soufre (S%) (droite) des feuilles de *Sparattosyce dioica* entre Forêt Nord, Pic du Grand Kaori

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 2020 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.
- Les teneurs en N de *Sparattosyce* ne montrent pas de différences significatives entre les forêts.
- Les teneurs en S de *Sparattosyce* sont significativement plus élevées à Forêt Nord qu'à Pic du Grand Kaori. Toutefois cette différence est que de 0,02% de 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 2020 a débuté en début Janvier à Forêt Nord pour terminer sur Pic du Grand Kaori en Février 2020.

La campagne de mesure en 2020 a été moins perturbées par les conditions d'intempérie avec 624 identification et mesures de fluorimétrie à Forêt Nord et 393 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 3 personnes.

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

Mesures ou analyses	FN Total	PGK Total
Nombre de placettes et parcelles évaluées	24	24
Nombre de arbres/arbustes évalué pour état santé visuel (maladies, dépérissement)	772	626
Nombre de mesures d'activité chlorophyllienne	624	393
Nombre d'échantillons de sols prélevées	20	20
Nombre d'éléments analysée (sol) (N, P, K, S, Ca, Mg, Mn, Na, Fe, Cr, Co, Ni, Al, Si, Zn, CEC, pH)	340	340
Nombre d'échantillons de litières prélevées	20	20
Nombre d'éléments analysée (litières)(N, P, K, S, Na, Ca, Mg, Mn)	180	180
Nombre d'espèces prélevées pour analyses foliaires	8	8
Nombre d'échantillons de feuilles prélevées dans la canope des arbres	40	40
Nombre d'éléments analysée (feuilles) (N, P, K, S, Na, Ca, Mg, Mn)	180	180
Total mesures ou analyses par Forêt	2096	1719

Tableau 9: Les nombres de mesures, de prélèvements et d'analyses chimiques fait pour la campagne de suivi concernant la période janvier à février 2020.

4.2 Evaluation des impacts des cochons sur les Réserves forestières

Une évaluation visuelle 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. Toutefois certaines zones de fouilles recouvertes de litières constatées sur les parcelles PGK 1 et PGK 2 en 2018/2019/2020 suggérant de passages saisonniers et non pas une permanence de cochon. Toutefois l'évaluation fait en 2020 montre que les fouilles de cochons entre FGK 1 et FGK 2 ont montée à FGK 4 à 315m d'altitude via les zones accessibles au passage dans les éboulis sur la pente.



Figure 32: Trace de fouille ponctuelle récent de cochon sur la parcelle PGK 2 à 250m d'altitude au Pic du Grand Kaori et sur la montée pour aller au PGK 4 à 315m.



Figure 33 : Traces de fouilles ponctuelles récentes de cochon sur le sentier forestier des bagnardes à 300m 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 2019. Au contraire une régénération importante de plantules dans le sous-bois de la plaine de Forêt Nord sur FN1 et FN 4 laisse penser que les ouvrages industriel (clôtures, couloir de conduites) le long de la route public (RM19) génèrent une protection efficace contre de cochons venu des zones anthropisée du littoral de Prony.

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 2020 suggérant peu de mortalité et une bonne santé. Les nombres plus élevés d'arbuste sur les parcelles à Forêt Nord sur la parcelle FN4 est certainement liée à l'enregistrement de nouveaux individus > 1m de haut sur les parcelles de 5 x 2m en 2020 qui étaient auparavant < 1m de hauteur et donc pas inclus dans les dénombrements.

Parcelle	Arbre					Arbuste				
	2012	2014	2016	2018	2020	2012	2014	2016	2018	2020
FN1	49	49	49	50	48	146	124	127	153	130
FN2	18	9	18	19	19	54	49	48	65	53
FN3	52	50	49	52	47	108	92	96	113	93
FN4	40	35	36	42	36	126	118	114	137	216
Total	159	143	152	163	150	434	383	385	468	492
FGK1	46	33	47	48	30	107	109	104	120	107
FGK2	45	44	41	46	42	107	110	101	112	98
FGK3	47	41	41	48	45	126	39	119	128	123
FGK4	42		41	40	37	88		81	82	76
Total	180	118	170	182	154	428	258	405	442	404

Tableau 10 : Le nombre d'arbres et arbustes total des parcelles permanentes ayant fait l'objet d'une mesure d'activités photosynthétiques de 2012 à 2020.

Les mesures ponctuelles de l'activité photosynthétique avec le PEA mètre des arbres et arbustes 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 2020 pour les différentes strates de végétation. Toutefois, une analyse de variance de l'ensemble des valeurs montre qu'il y a une diminution légère des valeurs d'activité photosynthétique des arbres et arbustes sur les deux forêts en 2020 (figures 7 et 10) par rapport aux années précédant suggérant que qu'une cumulée de conditions abiotique a eu un effet sur soit les arbres ou soit les sous-bois des parcelles permanentes.

La tendance de bonne santé photosynthétique se reflète au niveau de la composition floristique à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori, comme en témoignent les valeurs FV/FM des espèces/genres identifiés à la Forêt-Nord qui a changée très peu entre 2012 et les mesures en 2020 (Tableau 8).

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

4.4.1 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 groupements végétaux selon leur minéralogie (Jaffré, 1980).

La figure 41 illustre la topo-séquence des sols caractéristiques des reliefs en Forêt-Nord et au Pic du Grand Kaori. 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 au 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 ferrallitiques 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 ferrallitiques 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).

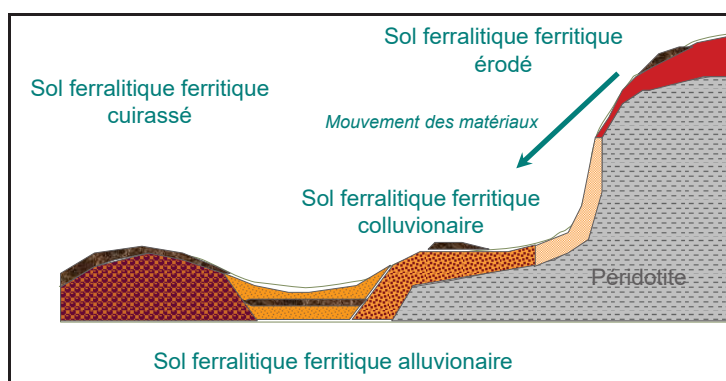


Figure 34 : Schéma d'une topo-séquence du Grand Massif du Sud montrant l'emplacement des différents types de sol

Les résultats des analyses chimiques des sols des parcelles permanentes de Forêt Nord et Pic du Grand Kaori 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 et Pic du Grand Kaori 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 ont des teneurs en P et K qui sont plus faible et s'approche plutôt aux 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	
				2007-2019	2020	2007-2019	2020
	Forêt à <i>Nothofagus</i>	Forêt Humide	Maquis	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
pH	3.5 - 5.9	4.1 – 6.0	4.4 – 6.1	5,64	5,86	5,33	5,94
N (mg g ⁻¹)	0.9 – 3.6	0.7 – 3.8	0.8 – 1.6	0,48	0,46	0,45	0,50
P (mg g ⁻¹)	0.07 – 0.24	0.10 – 0.18	0.06 – 0.32	0,03	0,03	0,01	0,08
K (mg g ⁻¹)	0.01 – 0.12	0.03 – 0.28	0.04 – 2.10	0,02	0,02	0,02	0,06
Ca (mg g ⁻¹)	0.07 – 1.20	0.40 – 1.15	0.05 – 1.5	2,43	2,07	2,22	1,90
Mg (mg g ⁻¹)	0.01 – 60	3.1 – 17	0.4 – 12.0	10,10	5,9	7,00	7,0
S (mg g ⁻¹)				0,08	0,11	0,07	0,08
Ni (mg g ⁻¹)	0.5 – 6.7	2.3 – 8.5	1.3 – 10.4	5,90	7,5	4,00	6,1
Fe (mg g ⁻¹)	50 – 490	270 – 460	290 - 510	262,00	278	295,50	273
Cr (mg g ⁻¹)	2 – 134	25 – 184	14 - 110	30,00	72	26,80	68

Tableau 11 : Caractéristiques chimiques des sols des formations du Grand massif du Sud (Read *et al*, 2006) et valeurs moyennes des stations (2007-2019) et 2020.

L'analyse de variance des teneurs en Azote (N) et Soufre (S) des sols des deux stations forestières montre plusieurs tendances significatives spatiales et temporelles. A Forêt Nord et Pic du Grand Kaori les teneurs en N ont montré une oscillation en N très significative de 2007 à 2020. Cette oscillation est aussi présente dans les teneurs en S sur les mêmes années qui suggèrent plutôt des cycles naturels. Toutefois, les valeurs en S sur Forêt Nord sont plus élevées en début 2020 que à Pic du Grand Kaori suggérant une accumulation de S industriel (SO_2) a eu lieu liés à l'opération de l'usine depuis l'échantillonnage en Février 2019. Les valeurs en accumulation comparées aux valeurs des litières forestières proches des complexes industriels

Les teneurs N et S sont plus élevées sur FN 2 à 243m d'altitude suggérant que le cœur de forêt sur cette station en piedmont a un cycle de décomposition assez dynamiques comparée aux autres habitats forestiers 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 altitudinales des teneurs en N et S dans les sols des parcelles permanentes à Pic du Grand Kaori sont moins importantes qu'à 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 faibles teneurs en S.

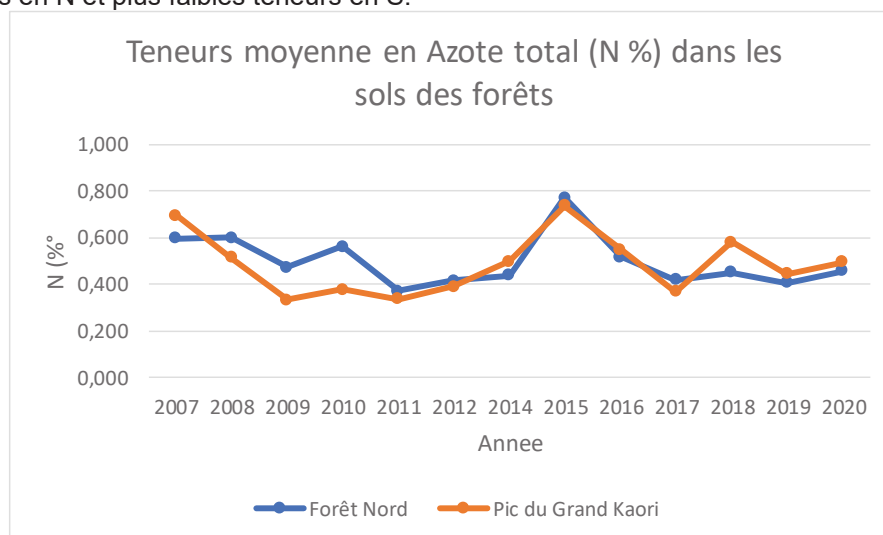


Figure 35 : Comparaison des teneurs moyenne en Azote total des sols des parcelles sur Forêt Nord et Pic du Grand Kaori

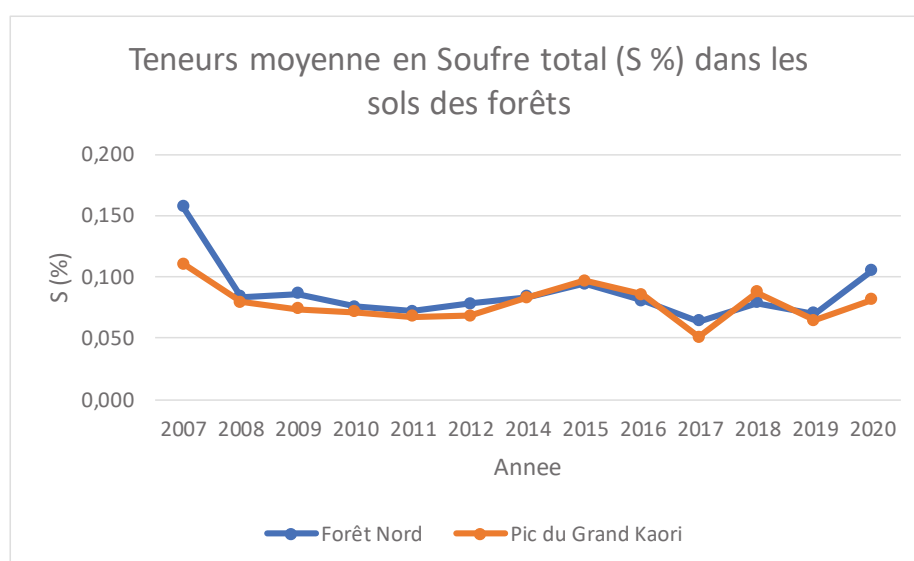


Figure 36 : Comparaison des teneurs en Soufre total des sols des parcelles sur Forêt Nord et Pic du Grand Kaori.

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 2007-2019 et 2020.

4.4.1 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 et au Pic du Grand Kaori 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			
Analyse litière				2019		2020		2019		2020	
	Forêt à <i>Nothofagus</i>	Forêt Humide	Maquis	Moyenne	Ecartype	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	0,987	0,178	0,963	0,121	0,860	0,155	0,811	0,139
P (mg g ⁻¹)	0.125 ± 0.040	0.123 ± 0.050	0.084 ± 0.033	0,017	0,052	0,023	0,010	0,010	0,001	0,026	0,015
K (mg g ⁻¹)	0.142 ± 0.044	0.147 ± 0.065	0.072 ± 0.023	0,070	0,026	0,115	0,118	0,059	0,017	0,071	0,023
Ca (mg g ⁻¹)	0.281 ± 0.098	0.700 ± 0.225	0.092 ± 0.015	1,420	0,451	1,801	0,576	1,250	0,374	2,070	1,105
Mg (mg g ⁻¹)	7.27 ± 2.60	11.47 ± 4.84	5.36 ± 1.48	25,600	6,960	30,700	9,200	24,700	5,960	31,400	11,200
Mn (mg g ⁻¹)	7.60 ± 2.09	7.32 ± 2.24	3.91 ± 0.961	5,910	5,815	8,430	7,180	5,870	4,230	11,030	9,500

Tableau 12 : Caractéristiques chimiques des litières des formations du Grand massif du Sud (Read *et al*, 2006) et valeurs moyennes des stations 2019-2020

Le peu d'informations disponibles indiquent que les teneurs en P, K et Ca en Forêt-Nord et Pic du Grand Kaori (Tableau 19). Cependant les valeurs sont semblables à celles des analyses effectuées sur des forêts à Mouirange (Read *et al*, 2006). Les écartypes des valeurs moyennes enregistrées sur les parcelles permanentes suggèrent que les différences restent faibles comparées aux forêts de Read *et al*, 2006.

L'analyse de variance effectuée sur les teneurs en N et S des échantillons de litières montrent plusieurs tendances. Les teneurs en N de litière à Forêt Nord montrent une augmentation de manière significative de 2007 à 2010. De 2011 à 2015 les teneurs en N diminuent pour ensuite osciller de 2016 à 2020 qui suggèrent que les variations en N sont liées possiblement au cycliques de décomposition. Ce flux en N notable à Forêt Nord est perçu aussi à Pic du Grand Kaori pendant la même période comme témoigne les courbes de teneurs en N semblable évident sur figure 35.

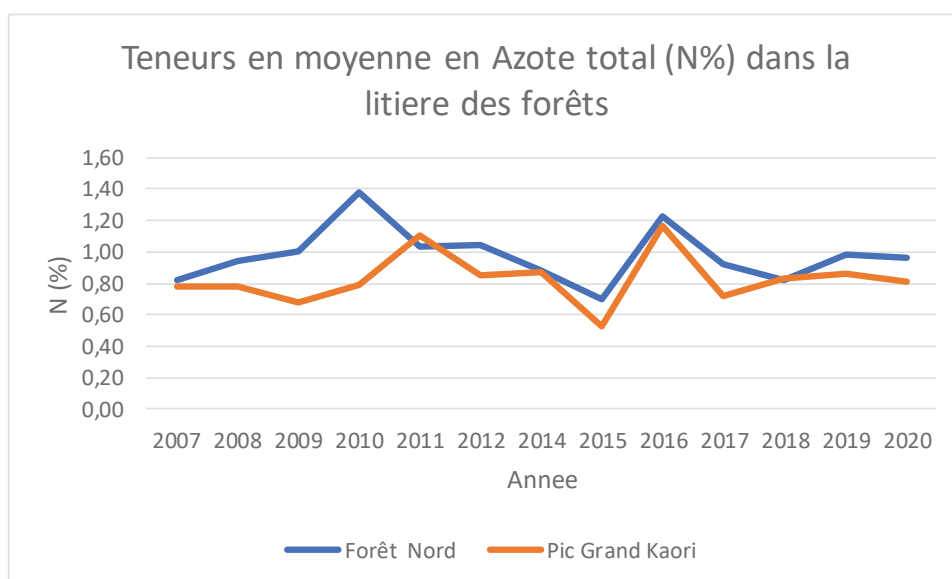


Figure 37 : Evolution des teneurs en azote total des litières des parcelles permanentes à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori.

Des manière générale les teneurs en S dans la litière de Forêt-Nord et Pic du Grand Kaori présenté dans figure 36 sont similaire et faible (<0,15%). L'analyse de variance montre une augmentation de façon significative entre 2007 et 2014 pour ensuite diminuer à 2017 puis remonter à 2019 à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori. En 2020 les teneurs en S sont plus élevées sur les parcelles permanentes à Forêt Nord qu'à Pic du Grand Kaori laissant suggérer qu'une accumulation des dépôts de S des émission industriel pendant 2019 a eu lieu. Toutefois la différence entre les deux forêts en teneurs en S est de 0,1% en 2020 est faible suggérant que ce dépôt été certainement ponctuel et de courte durée.

L'analyse de variance de la teneur des éléments d'origine organique montre que la teneur en azote diminue de manière significative selon l'augmentation d'altitude en Forêt-Nord. Cette différence pourrait être due à la diminution de biomasse aérienne qui baisse naturellement aussi avec l'altitude puisque moins de sol pour y développer. Les variations des teneurs en S s'inverse selon l'altitude avec la litière des parcelles du bas contenant des plus fortes teneurs en S. Ceci pourrait liées à des dépôts (sec ou humide) de soufre des d'émission atmosphériques accumulées dans les litières en 2019 sur ses parcelles qui sont plus proche des source (usine, route) ou être due à des effets localisés de dominance d'une espèce accumulatrice de soufre (ex : Apocynaceae, 1% S chez *Tabernaemontana cerifera*) 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.

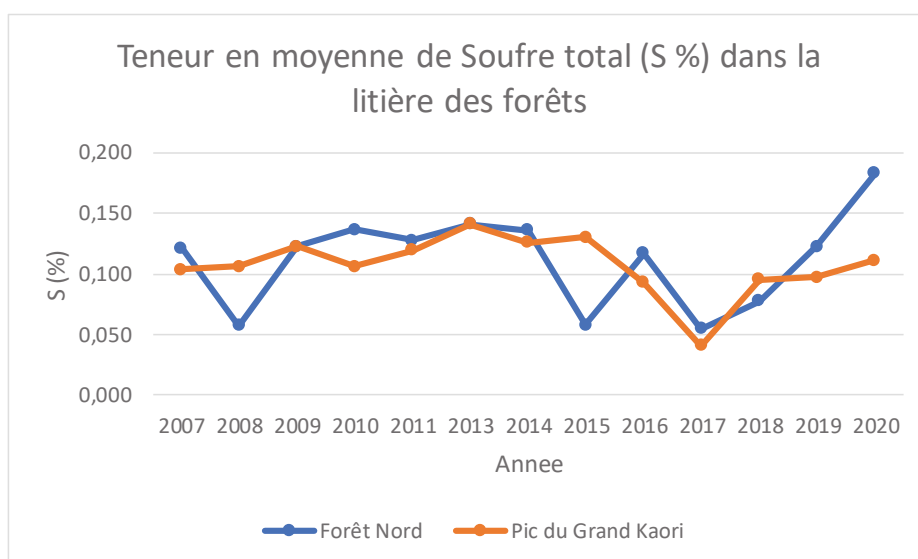


Figure 38 : L'évolution des teneurs en S total des litières des parcelles permanentes des deux forêts.

Aucune analyse de variance a été fait des métaux (Mg, Mn) et éléments liés 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.

4.4.2 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 ; Isnard *et al*, 2016).

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).

Espèces	Localité	Année	N	P	K	Ca	Mg	Na	Mn	S
			%	ppm	%	%	%	%	ppm	%
<i>Garcinia neglecta</i>	Forêt Nord	2020	1,38	465	0,35	2,43	0,35	0,21	1061	0,180
<i>Gardenia aubreyi</i>			1,07	377	0,75	1,23	0,32	0,32	241	0,215
<i>Sparattosyce dioica</i>			1,23	472	0,83	1,83	0,48	0,42	230	0,147
<i>Xylopia veillardii</i>			1,51	709	0,71	1,35	0,37	0,32	295	0,257
<i>Gardenia aubreyi</i>	Pic du Grand Kaori	2020	1,03	262	1,34	1,50	0,45	0,48	160	0,167
<i>Sparattosyce dioica</i>			1,32	346	1,47	1,96	0,51	0,32	238	0,117
Moyenne des espèces communes parcelles permanentes Forêt Nord		2020	1,30	506	0,66	1,71	0,38	0,32	457	0,20
Moyenne des espèces communes parcelles permanentes Pic du Grand Kaori		2020	1,18	304	1,41	1,73	0,48	0,40	199	0,14
Moyenne des espèces communes des parcelles permanentes sur Forêt Nord, Pic du Grand Kaori		2020	1,24	405	1,03	1,72	0,43	0,36	328	0,17
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 ferrallitique ferritique désaturée (Jaffré <i>et al</i> , 1994 b)			0,91	320	0,59	1,10	0,24	0,21	950	

Tableau 13 : Comparaison de la teneur foliaire en 2020 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 2020 des espèces d'arbres communs aux parcelles de Forêt-Nord et Pic du Grand Kaori 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 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 à Forêt Nord. 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 reliques en provenance du trafic routier de la CR7. Les teneurs en phosphore des arbres des stations du Pic du Grand Kaori et Forêt Nord 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 au données moyenne de 118 espèces de Jaffré *et al* (1994).

Aucune information n'a encore été publiée sur les teneurs 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).

Les mesures effectuées dans le cadre de cette étude montrent que la teneur en moyenne de soufre des arbres commun échantillonnée à Forêt-Nord sont les plus élevées suivi du Pic du Grand Kaori. Les variations de la teneur en soufre pour ces espèces à Forêt Nord entre 2007 à 2020 (ref : Figs 19, 21, 23, 25) montrent une augmentation depuis 2017 qui pourrait être associée avec une montée en puissance des émissions industrielles mais plutôt des variations entre les années qui pourrait 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 du soufre indépendant des apports avec les émissions industrielles.

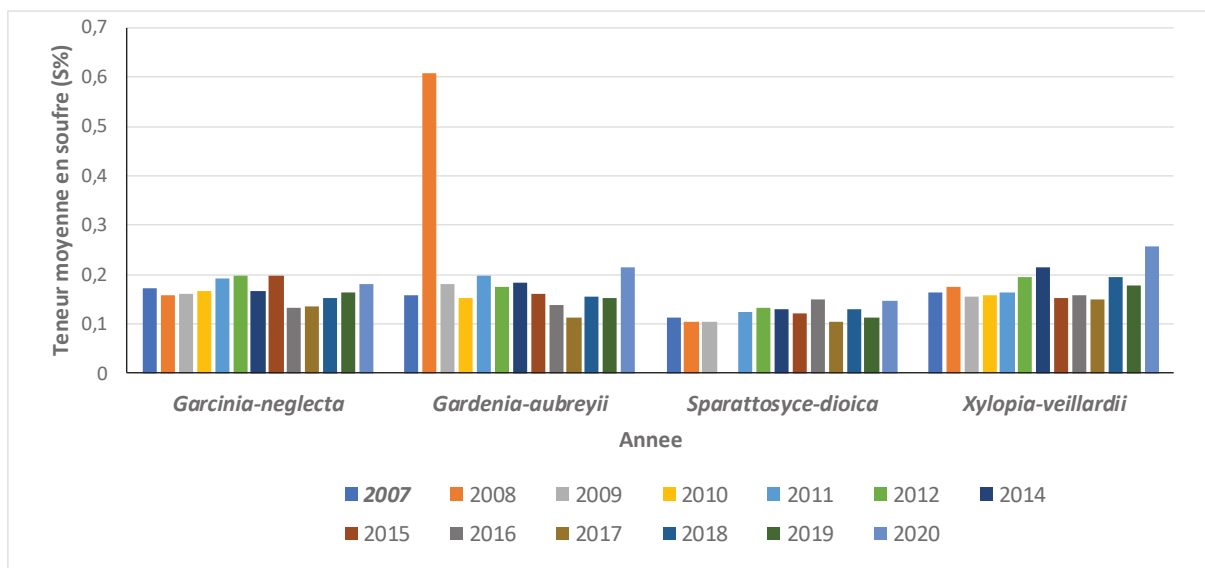


Figure 39 : Teneur maximale en soufre (S%) des arbres des espèces communes Forêt-Nord (2007-2020)

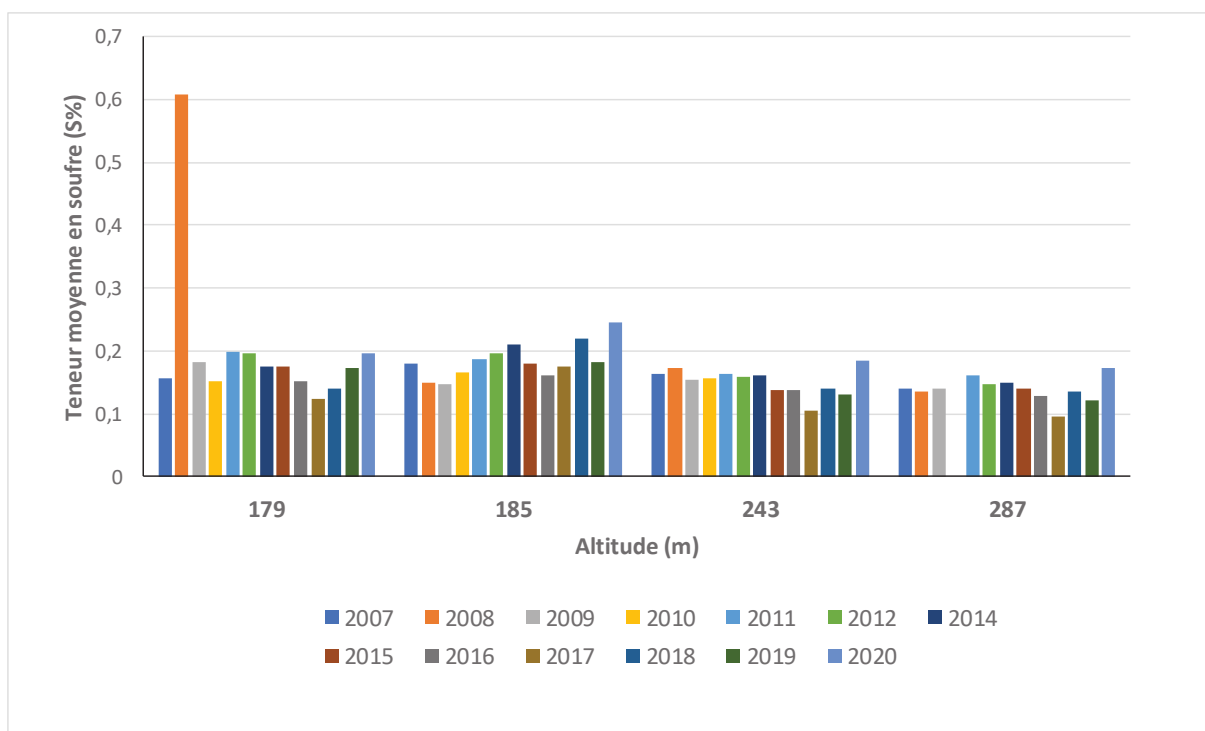


Figure 40 : Teneurs moyenne en Soufre (%) selon l'altitude et année de arbres de canopée sur les parcelles permanentes de la Reserve de Forêt Nord.

5. CONCLUSION

5.1 Etat de santé des parcelles

Le suivi temporel des écosystèmes terrestres des réserves provinciales de la Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori a permis d'approfondir nos connaissances de leur évolution chimique face à différents

niveaux d'activité industriel depuis 2007 lors de la fin de la période de construction de l'usine et sa mise en service pour continuer à ce jour.

D'une manière générale, les analyses chimiques effectuées sur les sols, litières et espèces commun de la canopée des parcelles de Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori en 2020 montrent que 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 essentiel pour des cycles d'activité biologique qui se traduits par une décomposition lente. Toutefois, les teneurs en soufre de la litière et feuilles des quatre espèces d'arbres de canopée échantillonnées sur les parcelles permanentes en 2020 à Forêt Nord montrent une augmentation depuis 2017. Cette tendance en teneurs en soufre plus élevées est plus marquante sur les échantillons de litière et feuilles d'arbres (*Garcinia*, *Gardenia*, *Xylopi*) des parcelles FN4 et FN1 en proximité de l'usine suggérant qu'une accumulation de soufre a eu lieu en 2019 dans les arbres et litière via des dépôts des émissions industrielles anormale. Les événements d'émission non contrôlée de dioxyde de soufre majeur en 2019 qui auraient pu être contributeur des apports en S dans la végétation de lisière de Forêt Nord sont les départs de feu sur le stock de soufre du 14 et 15 Mai et l'incident environnementale majeur sur le maquis au nord-est de l'usine liée à une disfonctionnement sur la zone de fusion de soufre (330) lors du démarrage à froid de l'usine d'acide le 22 Mai (McCoy et al, 2019). Bien que cette événement de courte durée a eu un effet mesurable de dépérissement temporaire du maquis sur une emprise délimité au nord-ouest de l'usine, des émissions moins conséquents durant des accalmies météorologiques des vents sur une plus grand rayon pourra expliquer pour les valeurs élevées des parcelles FN 4 et FN1 sur la lisière de l'usine de Forêt Nord qui est au Nord Nord Est de l'usine à acide. Cette accumulation en soufre par la végétation en 2019 n'a pas eu d'effet permanent sur la végétation puisque les valeurs de l'activité photosynthétique prises des parcelles permanentes de lisière montrant que les espèces des strates arbuste et canopée sont en bonne santé avec des valeurs en moyenne de 0,81.

Si une absorption de dioxyde de soufre des émissions industrielles a eu lieu sur les parties de Forêt Nord en lisière de l'usine, les quantités se trouvant dans la litière comme dépôt accumulée en 2019 sont faibles (0,18%) par rapport teneur dans les humus des forêts des pays industrialisée en Europe qui varient entre 0,3% et 2% (Sucara & Sucarova, 2001). De plus la pluviométrie élevée sur Forêt Nord de la saison des pluies entre Décembre et Juin aura eu l'effet de lessiver les dépôts de soufre avant que des effets permanentes s'établissent.

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 liées aux fouilles. A Pic du Grand Kaori, les passages de cochons à travers les éboulis semble plutôt délimité, mais réduits à des sentiers utilisés de manière saisonnier pour accéder aux forêts des bassins versant de la Kwé et la Plaines de Lacs. Pas de trace de cochon sur Forêt Nord lors de la campagne en début 2020 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. Conférence 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.
- BIRMBAUM P., MANGEAS M., MAGGIA L., MARMEY P., DESPINOY M., GOMEZ C., HEQUET V., CHAMBREY C., IBANEZ T., VANDROT H., BLANCHARD E., BIDEAU G. (2016). « Corridors entre îlots forestiers », Projet CoRiFor Caractérisation des connectivités structurelle et fonctionnelle des paysages fragmentés sur sols ultramafiques. IRD IAC CIRAD 90p
- 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 a la réserve de la "Forêt-Nord" de Nouvelle-Calédonie*. Université P. & M. Curie / Institut de Recherche pour le Développement, Nouméa.
- Ibanez T & Birnbaum P (2014). Monodominance at the rainforest edge: case study of *Codia mackeeana* (Cunoniaceae) in New Caledonia. Australian Journal of Botany.
- Ibanez, T. Hequet, V. Chambrey, C. Jaffre, T, Birnbaum, P (2017). How does forest fragmentation affect tree communities? A critical case study in the biodiversity hotspot of New Caledonia. Landscape Ecology.
- IBANEZ, T., MUNZINGER, J., DAGOSTINI, G., HEQUET, V., RIGAULT, F., JAFFRÉ, T. & BIRNBAUM, P. 2014. Structural and floristic characteristics of mixed rainforest in New Caledonia: new data from the New Caledonian Plant Inventory and Permanent Plot Network (NC-PIPPN). Applied Vegetation Science 17:386–397.
- Isnard, S ; L'Huillier, L ; Rigault, F ; Jaffré, T (2016) How did the ultramafic soils shape the New Caledonian hotspot ? Plant Soil. DOI 10.1007/s1104-016-2910-05.
- 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 Mourange, 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.

McCoy, S ; Goxe, J ; Foulloneau, Z, Kotopeu, W (2019). *Rapport d'investigation Flore : Evaluation symptomatologique de la végétation à la suite de l'exposition aigue au dioxyde de soufre associée au démarrage à froid de l'usine d'acide de Vale Nouvelle-Calédonie du 22 Mai*. Rapport technique Vale NC Juillet . 25 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. RIGAULT, 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.*

Sucara, I & Succarova J (2002). *Distribution of sulphur and heavy metals in forest floor humus of the Czech republic. Water Air and soil pollution 136: 289-319.*