



# 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 aubreyii</i> (haut gauche), <i>Garcinia neglecta</i> (haut droit), <i>Sparattosyce dioica</i> (bas gauche), <i>Xylopia cf. veillardi</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 écarts des mesures de fluorimétrie des strates arbuste et arbres à Forêt Nord entre 2012 et 2020. ....	12
Figure 7 :	Moyenne et écarts 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 écarts des mesures de fluorimétrie des strates arbuste et arbres à Pic du Grand Kaori entre 2012 et 2020 .....	14
Figure 10 :	Moyenne et écarts 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 aubreyii</i> - Forêt-Nord ....	32
Figure 21 :	ANOVA teneur en Soufre total (S- %) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> - Forêt-Nord...32	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>Xylopia sp.</i> - Forêt-Nord .....	34
Figure 25 :	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Xylopia sp.</i> - Forêt-Nord.....	34
Figure 26 :	ANOVA teneur en Azote total (N- %) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> – Pic du Grand kaori .....	35
Figure 27 :	ANOVA teneur en Soufre total (S- %) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</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 Souffre (S%) (droite) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</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.

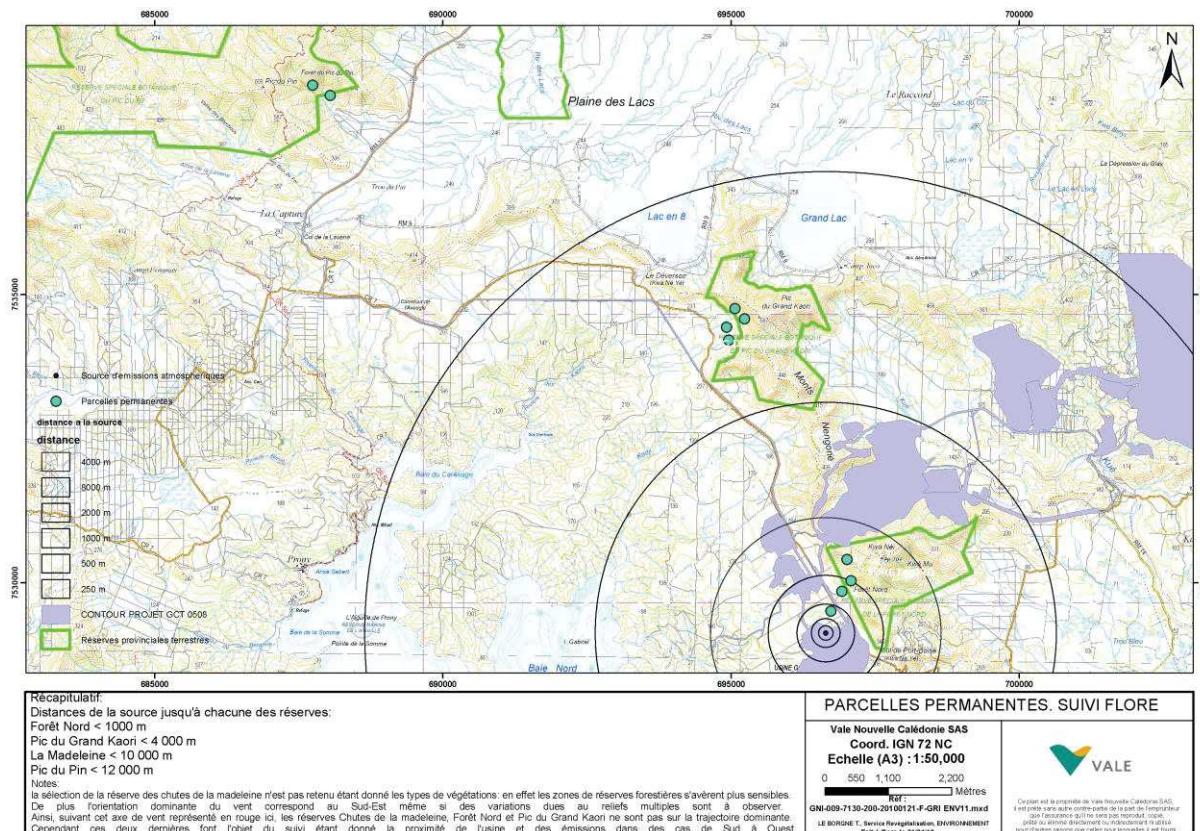


Figure 1 : Localisation des parcelles en Forêt-Nord, au Pic du Grand Kaori et au Pic du Pin

Nom	Position Topo	Altitude	Sol	Type de forêt	IGN 72 Est	IGN 72 Nord	RGNC Latitude	RGNC Longitude
<b>FN1</b>	Plaine	185m	Colluviale	Forêt Humide	696913	7529857	494280.700502	208621.914826
<b>FN2</b>	Piedmont	243m	Colluviale /éboulis	Forêt humide	697074	7530039	494437.801372	208809.148578
<b>FN3</b>	Pente	287m	Eboulis	Forêt humide à <i>Macaranga alc</i>	696979	7530409	494367.517709	209174.913238
<b>FN4</b>	Plaine	179m	Eboulis	Forêt humide à <i>Araucaria nem</i>	696726	7529511	494096.469222	208276.212386
<b>PGK1</b>	Plaine	240m	Colluviale	Forêt Humide à <i>Arillastrum</i>	694956	7534216	492293.373754	212968.095453
<b>PGK2</b>	Piedmont	250m	Colluviale/ éboulis	Forêt Humide	694913	7534434	492253.672788	213189.7478
<b>PGK3</b>	Pente	330m	Eboulis	Forêt Humide	695226	7534577	492561.699401	213334.511953
<b>PGK 4</b>	Crete	315m	Eboulis	Forêt Humide	695064	7534758	492397.636887	213510.292511
<b>PP1</b>	Plaines	299m	Colluviale	Forêt Humide à <i>Nothofagus</i>	688460	7538653	485348.325723	217157.849409
<b>PP2</b>	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 cm<sup>2</sup> 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 aubreyii* (haut gauche), *Garcinia neglecta* (haut droit), *Sparattosyce dioica* (bas gauche), *Xylopia cf. veillardi* (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 a 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 échantillonnes 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 aubreyii* et *Sparattosyce dioica* communes aux parcelles permanent entres 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 1m<sup>2</sup> ou 4m<sup>2</sup> avec une concentration de plantes, la manipulation ou piétinement peuvent engendrer des dégâts des placettes indépendant des impacts d'émission industriel évaluées. 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 400m<sup>2</sup> x 4 et arbustes des parcelles de 10m<sup>2</sup> 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 forestière.

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

<b>Mesures ou analyses</b>	<b>FN Total</b>	<b>PGK Total</b>
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
<b>Total mesures ou analyses par Forêt</b>	<b>2121</b>	<b>1838</b>

**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*

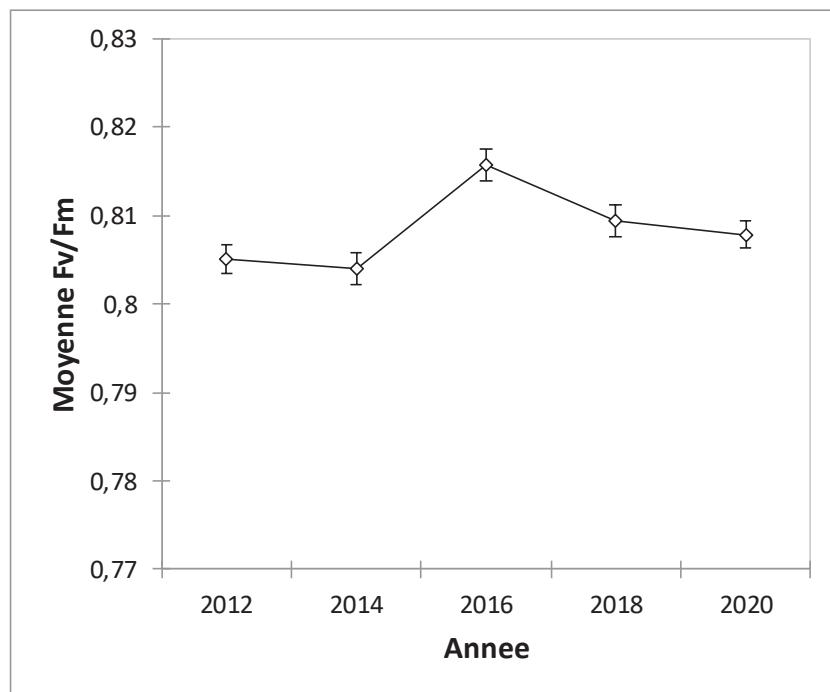


Figure 5 : Analyses de variance des mesures de fluorimétrie des arbres et arbustes sur les parcelles à Forêt Nord entre les années de 2012 à 2020 (N° 2760 ;  $r^2$  0,01 ; F ratio 6,881 ; F prob < 0,001)

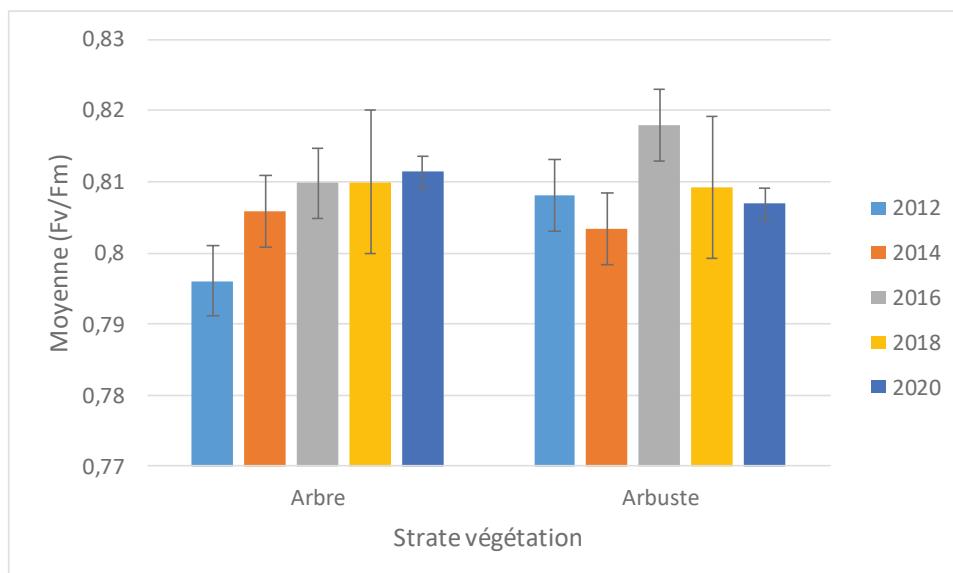
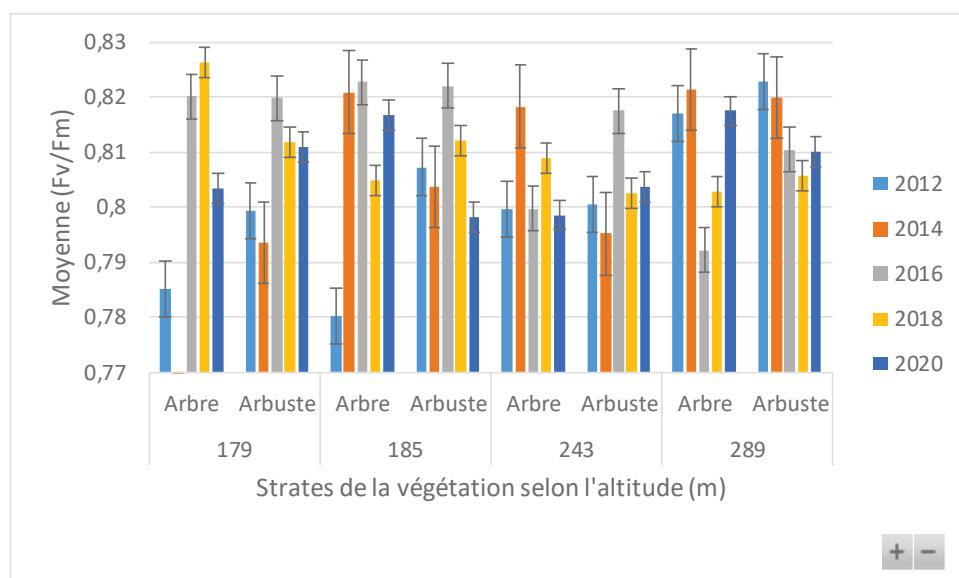


Figure 6 : Moyenne et écarts types des mesures de fluorimétrie des strates arbuste et arbres à Forêt Nord entre 2012 et 2020.



**Figure 7 : Moyenne et écarts 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**

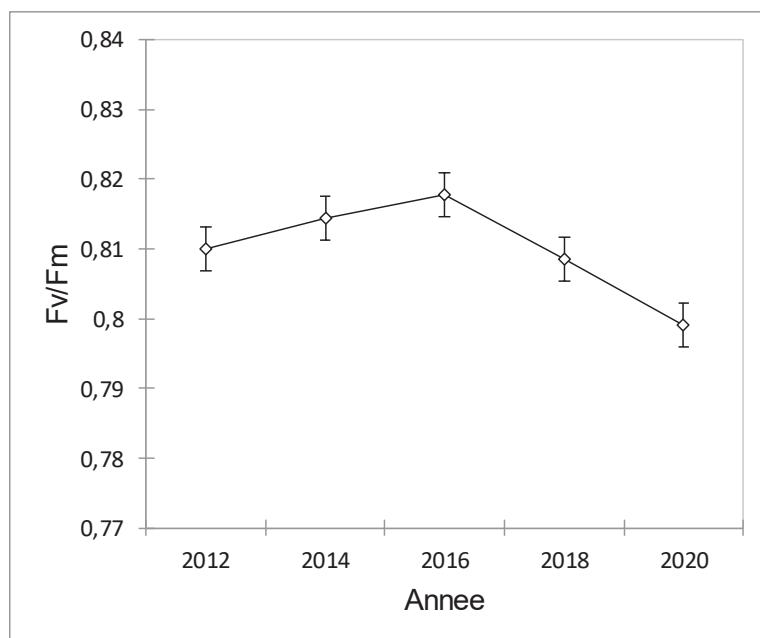


Figure 8 : Analyse de variance des mesures de fluorimétrie des arbres et arbustes sur les parcelles à Pic du Grand Kaori entre les années de 2012 à 2020 (N° 4081 ;  $r^2$  0,019 ; F ratio 19,871 ; F prob < 0,001).

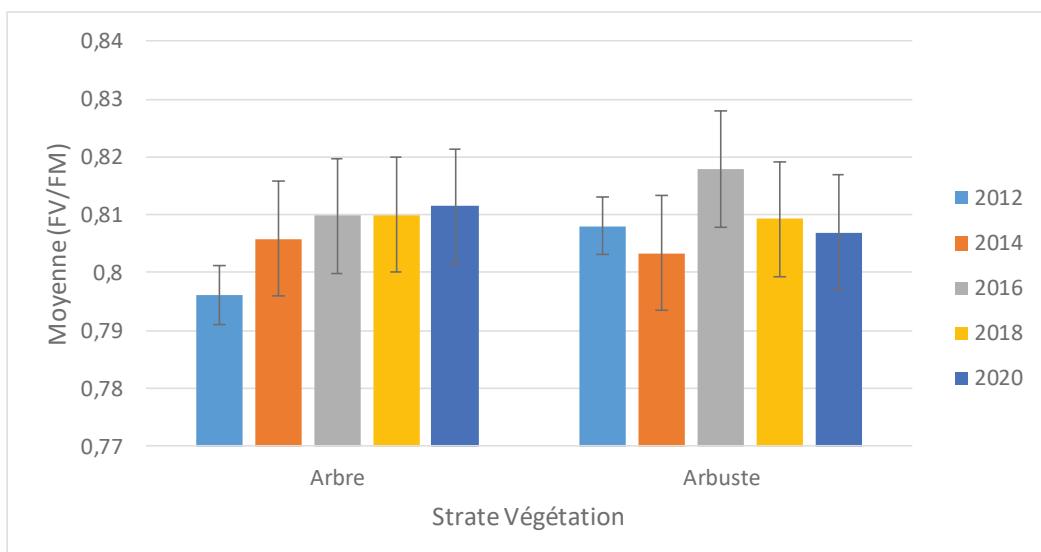
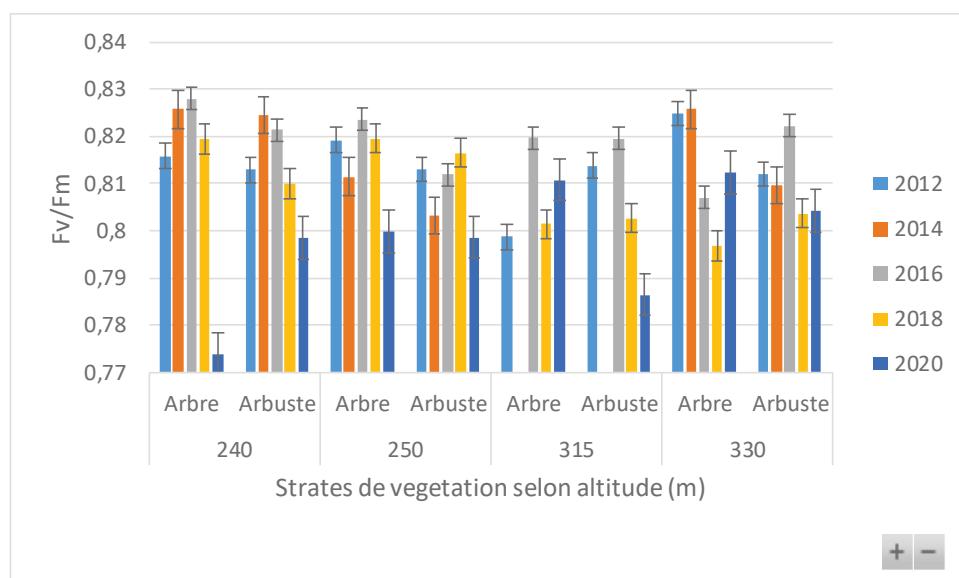


Figure 9 : Moyenne et écarts types des mesures de fluorimétrie des strates arbuste et arbres à Pic du Grand Kaori entre 2012 et 2020



**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 altitude ainsi que les arbustes sur les parcelles à 240, 315 et 330m d'altitude.
- Diminution de valeurs de l'activité photosynthétique entre 2016 et 2020 les plus marquantes sont les arbres sur la parcelle de 240m 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 clusiifolia</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 viellardii</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>Cordyline 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 fournieri</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>Icacinaceae</i>							1	0,78	1	0,78
<i>Ixora montana</i>			5	0,79					5	0,79
<i>Ixora yahuensis</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>Montrouziera 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>Pagiantha 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 thiensis</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>Sarcomeleco 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 chrysceus</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 représentées 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 stresss liés 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 être liée au forte densité de la végétation (154 individus) sur ses parcelles qui générant une concurrence dans les 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 sp</i>			1	0,82					1	0,82	
<i>Agatea longipedicellata</i>			1	0,80	1	0,72			1	0,72	
<i>Agathis lanceolata</i>			2	0,83					3	0,82	
<i>Alphitonia neocaledonica</i>	5	0,79	4	0,81					5	0,79	
<i>Apodytes clusiifolia</i>			4	0,80	10	0,81	2	0,80	4	0,81	
<i>Archidendropsis granulosa</i>	1	0,88	1	0,82					17	0,81	
<i>Arthrophylax sp</i>			1	0,76					1	0,82	
<i>Atractocarpus ngoyensis</i>									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>Austrobohus pauciflorus</i>	1	0,79	1	0,75	2	0,82	2	0,80	5	0,81	
<i>Beccariella longipetiolata</i>			2	0,82					1	0,75	
<i>Bikkia parviflora</i>			2	0,79	8	0,78	2	0,81	2	0,82	
<i>Bocquillonia rhomboidea</i>			3	0,81	2	0,83	5	0,83	10	0,82	
<i>Calophyllum caledonicum</i>			1	0,78					1	0,78	
<i>Campeacarpus fulcitus</i>									1	0,82	
<i>Canarium oleiferum</i>									10	0,80	
<i>Casearia montana</i>	8	0,80	1	0,82	1	0,82			3	0,82	
<i>Casearia silvana</i>			3	0,82						1	0,81
<i>Cerberiopsis candelabra</i>	1	0,81								1	0,83
<i>Chionanthus brachystachys</i>			1	0,79	8	0,80	1	0,79	11	0,80	
<i>Cleidion viellardii</i>	1	0,79			1	0,82	2	0,89	3	0,87	
<i>Codia jaffrei</i>									1	0,79	
<i>Comptoneella sp</i>										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 sp.</i>	2	0,49	1	0,80	9	0,80	8	0,78	20	0,76	
<i>Cunonia cf balansae</i>									2	0,83	
<i>Cyclophyllum balansae</i>									1	0,80	
<i>Cyphokentia macrostachya</i>			1	0,70					2	0,76	
<i>Delarbrea sp</i>	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 ssp 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	
<i>Endiandra sp.</i>	1	0,57			3	0,81	2	0,81	6	0,77	
<i>Eugenia sp.</i>	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	
<i>Fissistigma punctulatum</i>	1	0,77	1	0,80					5	0,78	
<i>Flindersia fournieri</i>	4	0,78							1	0,82	
<i>Garcinia balansae</i>	3	0,81			1	0,81			4	0,81	
<i>Garcinia neglecta</i>									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>Montrouziera 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 involucratus</i>							1	0,84	1	0,84
<i>Ochromis balansae</i>	5	0,77							5	0,77
<i>Periophthalme 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 panchari</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 balansea</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>Spiraeaanthemum 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>Storthocalyx 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>	2	0,82	2	0,80		1	0,82		1	0,82
<i>Zygogynum sp</i>							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 montrent 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 lié au facteurs biotique ou abiotique ainsi que la concurrence pour les ressources. Le faible nombre d'individus avec des valeurs < 0,8 peuvent aussi être liés 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**

**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.

## **Caractéristiques chimiques des parcelles au Pic du Grand Kaori**

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
<i>Garcinia-neglecta</i>	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	0,03
		287	0,70	0,06	217	30	0,64	0,16	1,35	0,21	0,23	0,03	0,10	0,03	282	92	0,17	0,05
	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	0,04
		287	0,64	0,02	217	30	0,55	0,09	1,36	0,22	0,20	0,03	0,13	0,06	323	86	0,18	0,03
	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	0,03
		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	0,03
		287	0,90	0,13	235	76	0,50	0,14	1,63	0,57	0,21	0,06	0,10	0,04	299	174	0,20	0,06
	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	0,09
		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	0,04
		185	1,09	0,04	588	58	0,59	0,09	2,50	0,38	0,50	0,07	0,17	0,06	1071	744	0,18	0,05
	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	0,04
		185	1,17	0,10	507	60	0,74	0,23	1,20	0,33	0,25	0,05	0,18	0,08	176	80	0,21	0,04
	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	0,01
		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	0,02
		185	0,96	0,17	394	26	0,23	0,05	1,59	0,29	0,30	0,06	0,08	0,03	746	239	0,14	0,03
	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	0,07
		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	0,02
		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	0,02
		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
	Total <i>Garcinia-neglecta</i>		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
<i>Gardenia-aubreyii</i>	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	0,01
	Total 2007		1,39	0,10	356	22	1,43	0,28	1,18	0,13	0,32	0,03	0,49	0,10	65	10	0,16	0,01
	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	0,12
		179	3,11	0,17	648	38	3,05	0,29	0,82	0,20	0,53	0,11	0,43	0,12	418	202	0,61	0,12
	2009	179	1,55	0,08	339	22	1,20	0,18	1,19	0,17	0,36	0,05	0,46	0,09	72	15	0,18	0,01
		179	1,55	0,08	339	22	1,20	0,18	1,19	0,17	0,36	0,05	0,46	0,09	72	15	0,18	0,01
	Total 2009		1,49	0,06	315	33	0,98	0,09	1,03	0,11	0,30	0,05	0,35	0,03	75	36	0,15	0,01
	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	0,01
		179	1,31	0,10	404	30	1,25	0,17	0,99	0,13	0,34	0,04	0,46	0,11	97	58	0,20	0,02
	Total 2010		1,31	0,10	404	30	1,25	0,17	0,99	0,13	0,34	0,04	0,46	0,11	97	58	0,20	0,02
	2011	179	1,29	0,08	398	59	1,33	0,42	1,01	0,14	0,29	0,05	0,24	0,07	61	31	0,19	0,02
		287	1,22	0,21	286	43	0,90	0,27	1,07	0,12	0,33	0,04	0,34	0,07	35	6	0,16	0,01
	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	0,04
		287	1,25	0,12	328	30	1,21	0,17	1,09	0,14	0,36	0,04	0,37	0,04	35	4	0,17	0,02
	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	0,02
		287	0,91	0,03	308	76	0,82	0,24	1,92	0,95	0,24	0,03	0,52	0,11	26	4	0,16	0,01
	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	0,03
		287	1,01	0,03	313	30	1,00	0,10	1,57	0,30	0,35	0,10	0,35	0,10	92	44	0,12	0,02
	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	0,01
		287	1,00	0,07	233	13	0,69	0,19	0,66	0,11	0,23	0,03	0,29	0,07	22	6	0,1	

Espèce	Année	Altitude (m)	N % Écart	P ppm Écart	K % Écart	Ca % Écart	Mg % Écart	Na % Écart	Mn ppm Écart	S % 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
		287	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
	Total 2012		1,37 0,14	404 89	0,87 0,27	1,77 0,24	0,39 0,12	0,29 0,11	78 26	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
		287	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
	Total 2014		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
	2015	243	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
		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 2015		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
	2016	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
		287	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
	Total 2016		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
	2017	243	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
		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 2017		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
	2018	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
		287	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
	Total 2018		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
	2019	243	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
		287	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 2019		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
	2020	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
		287	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 2020		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>Total Sparattosyce-dioica</i>			1,28 0,18	388 93	0,88 0,28	1,80 0,89	0,39 0,13	0,36 0,15	89 57	0,12 0,02
<i>Xylopia-sp.</i>	2007	243	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
	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
		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		1,63 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
	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
		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
		243	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
	Total 2012		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
	2014	185	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
		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 2014		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
	2015	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
		243	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
	Total 2015		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
	2016	185	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
		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 2016		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
	2017	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
		243	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
	Total 2017		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
	2018	185	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
		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 2018		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
	2019	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
		243	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
	Total 2019		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
	2020	185	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
		243	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 2020		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
<i>Total Xylopia-sp.</i>			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
<i>Total général</i>			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 aubreyii*, de *Sparattosyce dioica* et *Xylopia 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	
<i>Gardenia-aubryi</i>	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	
	2007	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
<i>Gardenia-aubryi</i>	2009	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
	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
<i>Gardenia-aubryi</i>	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
<i>Gardenia-aubryi</i>	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
<i>Gardenia-aubryi</i>	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
<i>Gardenia-aubryi</i>	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
<i>Gardenia-aubryi</i>	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</					

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>	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	
	2013	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
	250	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
	315	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
	330	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
2014		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
	240	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
	250	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
	315	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
	330	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
2015	240	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
	250	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
	315	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
	330	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
	240	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
2016	250	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
	315	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
	330	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
	240	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
	250	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
2017	315	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
	330	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
	240	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
	250	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
	315	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
2019	330	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
	240	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
	250	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
	315	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
	330	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
2020		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
	240	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
	250	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
	315	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
	330	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

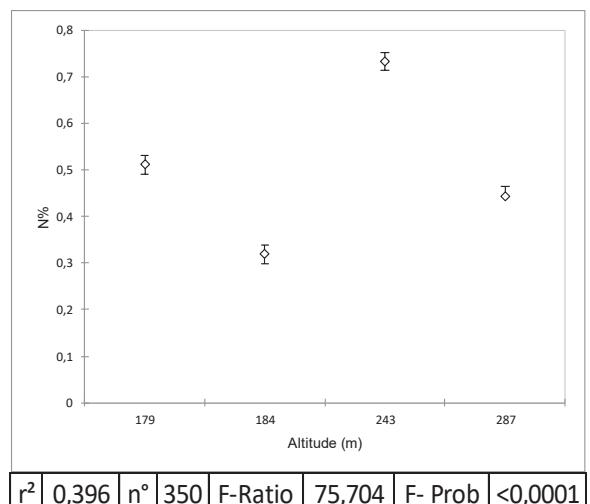
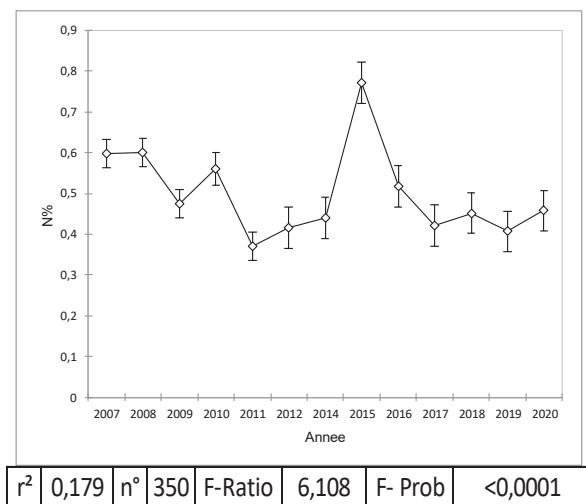
Tableau 8 : Teneur foliaire des espèces communes - Pic du Grand Kaori (2007-2020)

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

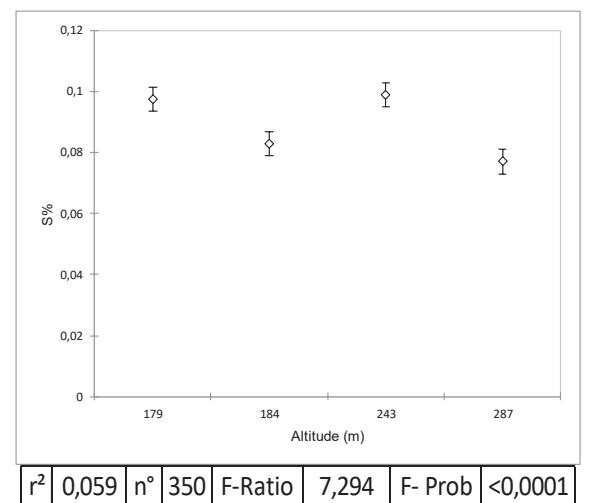
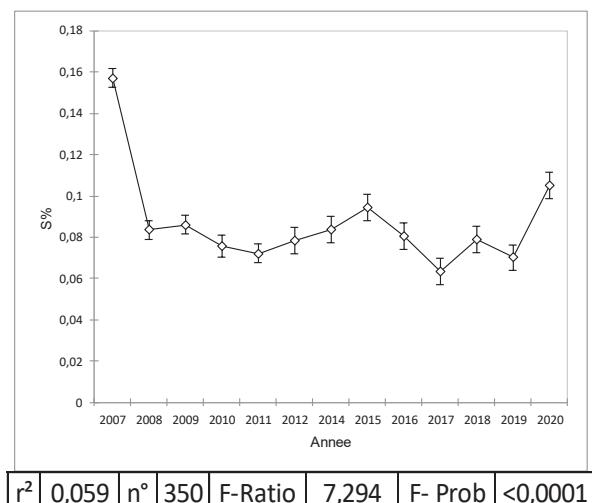
- Les teneurs en P, K et S sont plus bas que pour les autres éléments mesurés pour l'ensemble des espèces.
- Toutes les espèces possèdent des teneurs en Calcium (Ca) supérieures aux concentrations de Magnésium (Mg).
- Les teneurs en N, S et Ca sont les plus élevées dans les échantillons de *Gardenia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

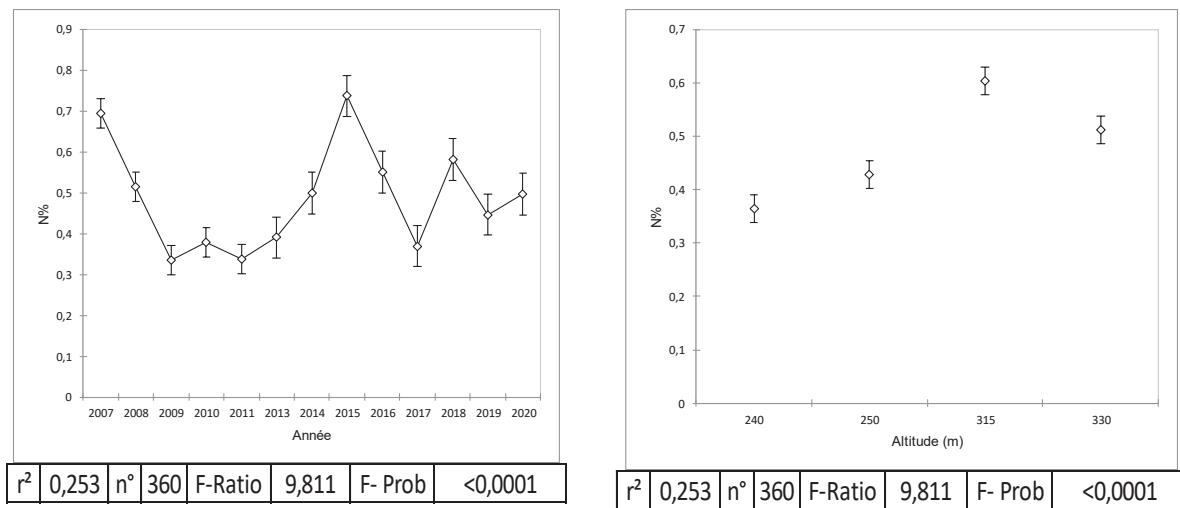


**Figure 12 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Forêt-Nord**

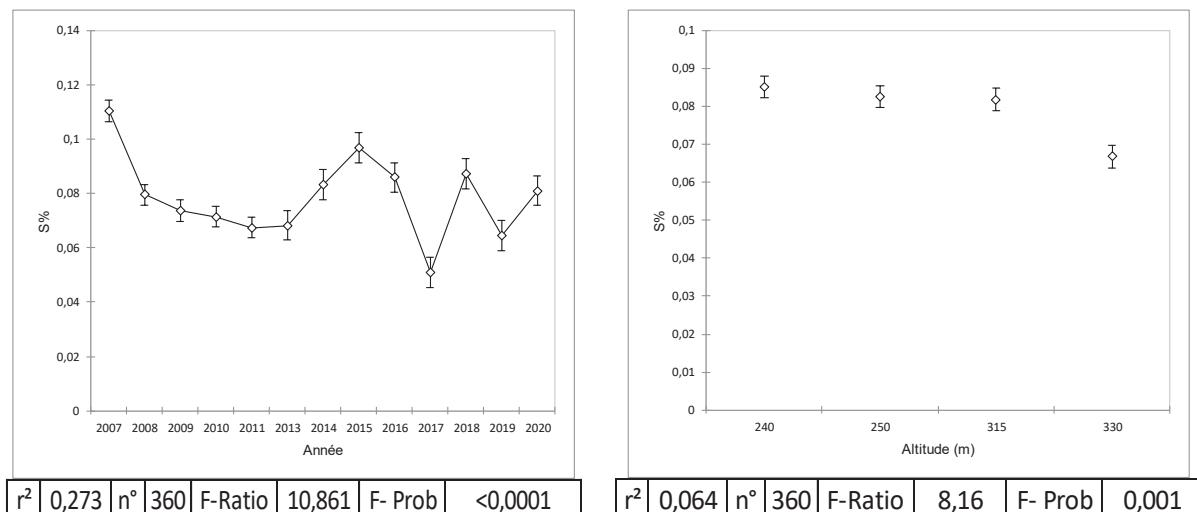
L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des sols de Forêt-Nord prélevés sur les parcelles permanentes de 2007 à 2020 montre plusieurs tendances :

- Les teneurs en S et N montrent une diminution significative de 2007 à 2011 suivis 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**



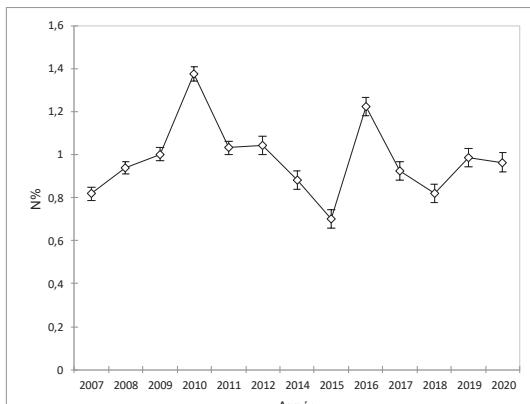
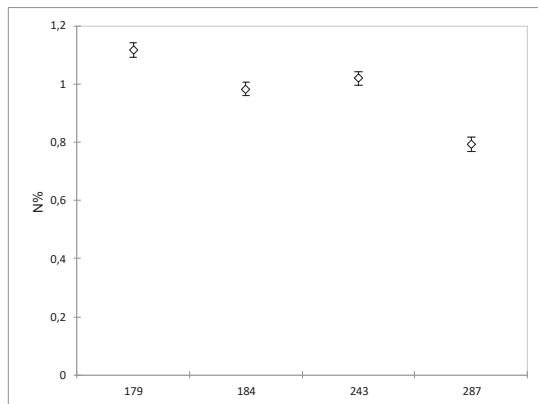
**Figure 13 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)**



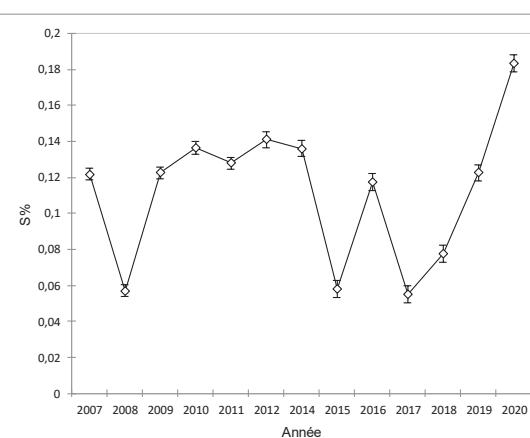
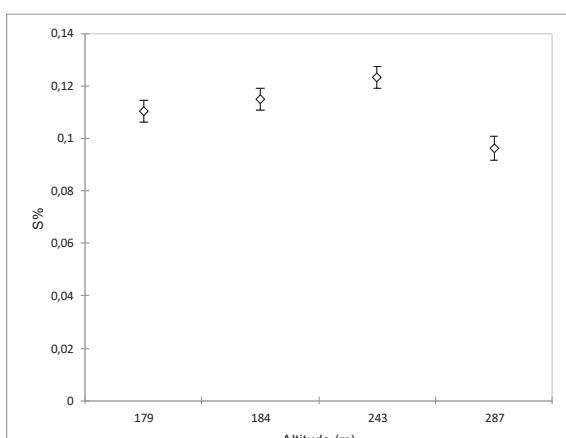
**Figure 14 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)**

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.

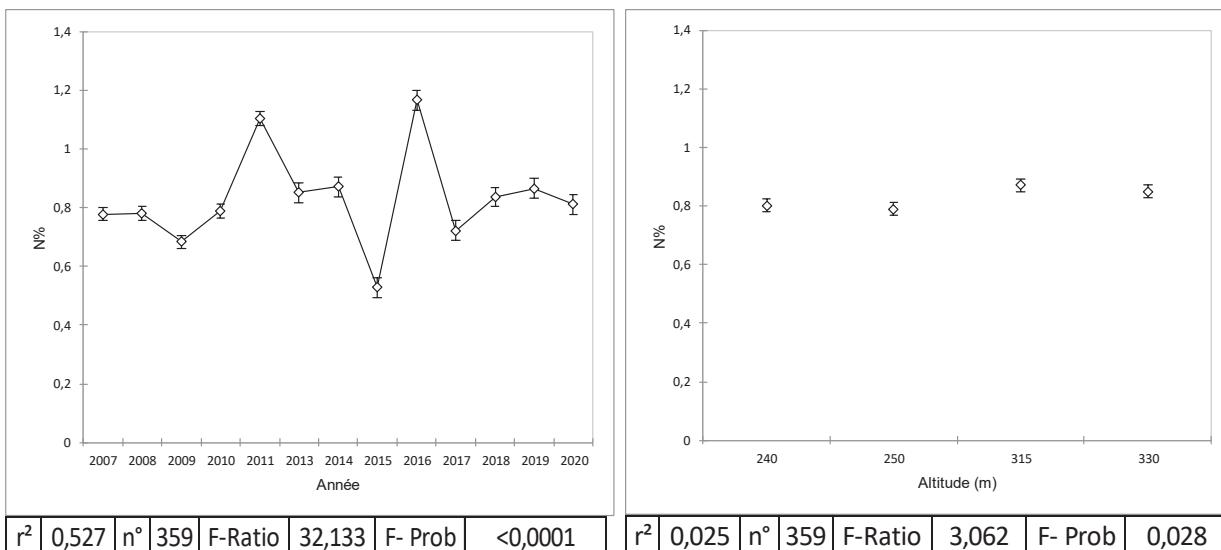
***ANOVA des éléments dans la litière des parcelles de Forêt-Nord***

 r<sup>2</sup> | 0,439 | n° | 348 | F-Ratio | 21,822 | F- Prob | <0,0001

 r<sup>2</sup> | 0,212 | n° | 348 | F-Ratio | 30,866 | F- Prob | <0,0001

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

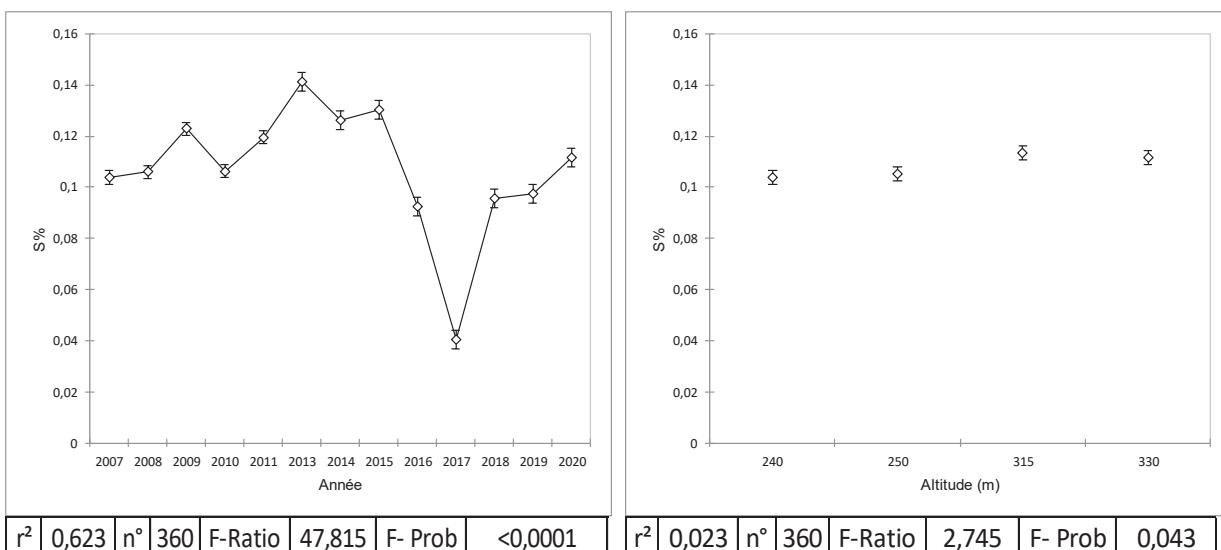

 r<sup>2</sup> | 0,749 | n° | 350 | F-Ratio | 83,801 | F- Prob | <0,0001

 r<sup>2</sup> | 0,055 | n° | 350 | F-Ratio | 6,711 | F- Prob | <0,0001

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 témoignent 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)**

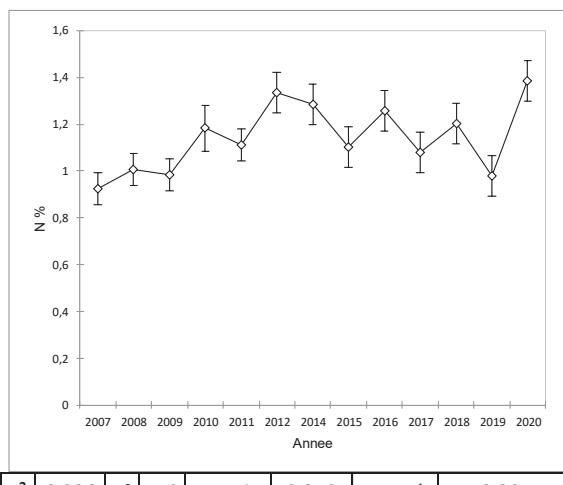


**Figure 17 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des litières - Pic du Grand Kaori  
selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)**

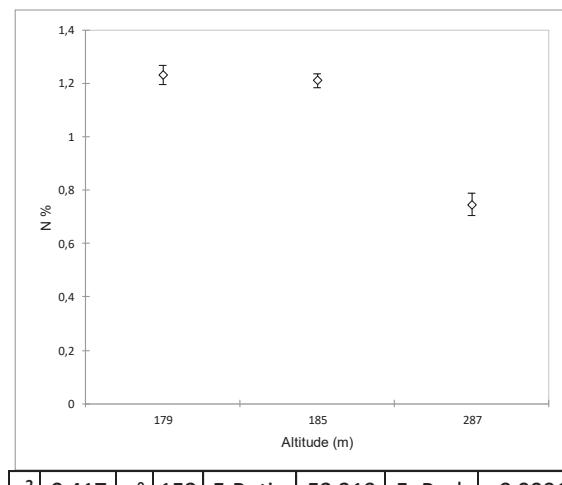
L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des litières du Pic du Grand Kaori prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2020 montre plusieurs tendances :

- 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***

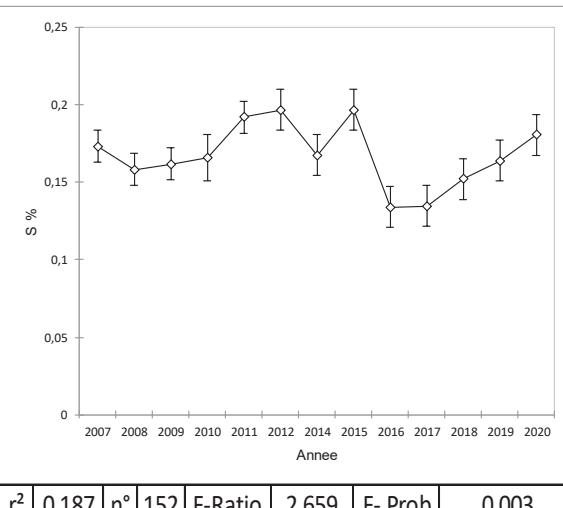


$r^2$  | 0,226 | n° | 152 | F-Ratio | 3,373 | F- Prob | 0,001

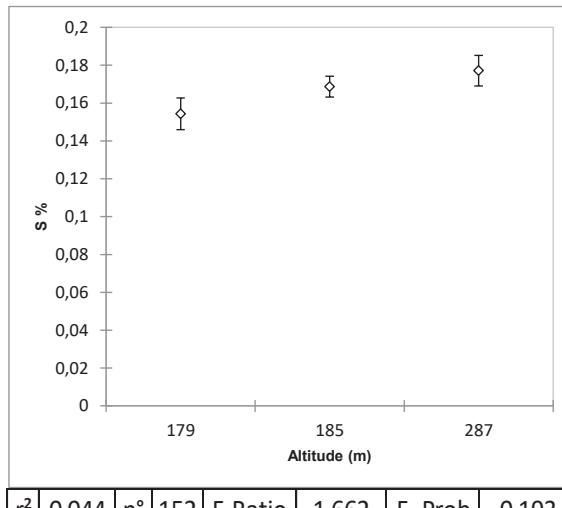


$r^2$  | 0,417 | n° | 152 | F-Ratio | 53,319 | F- Prob | <0,0001

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

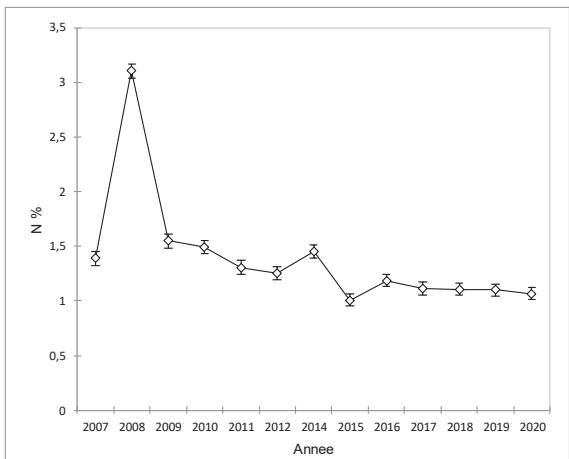


$r^2$  | 0,187 | n° | 152 | F-Ratio | 2,659 | F- Prob | 0,003

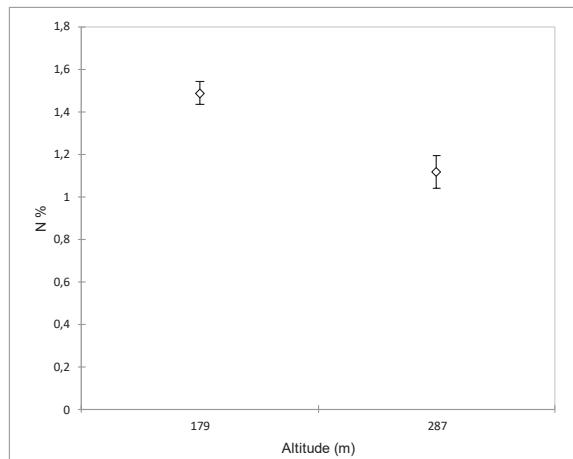


$r^2$  | 0,044 | n° | 152 | F-Ratio | 1,662 | F- Prob | 0,193

**Figure 19 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de *Garcinia neglecta* (*Guttiferae*)- Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)**

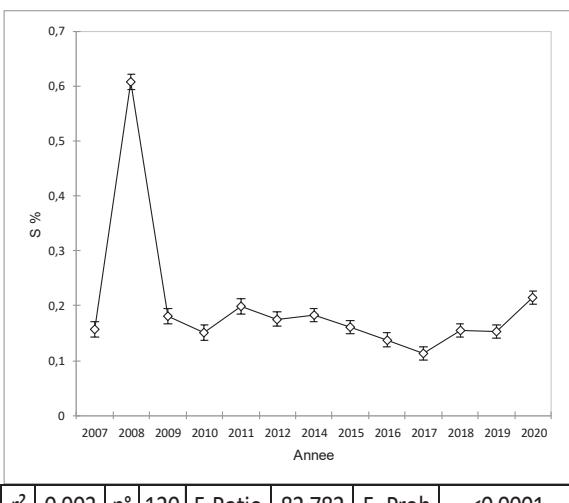
***ANOVA des éléments dans les feuilles de Gardenia aubreyii sur les parcelles de Forêt-Nord***


$r^2$  | 0,895 | n° | 120 | F-Ratio | 75,736 | F- Prob | <0,0001

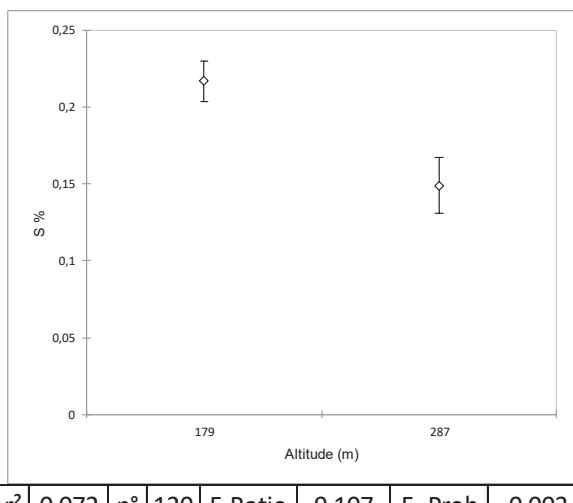


$r^2$  | 0,112 | n° | 120 | F-Ratio | 14,942 | F- Prob | 0,001

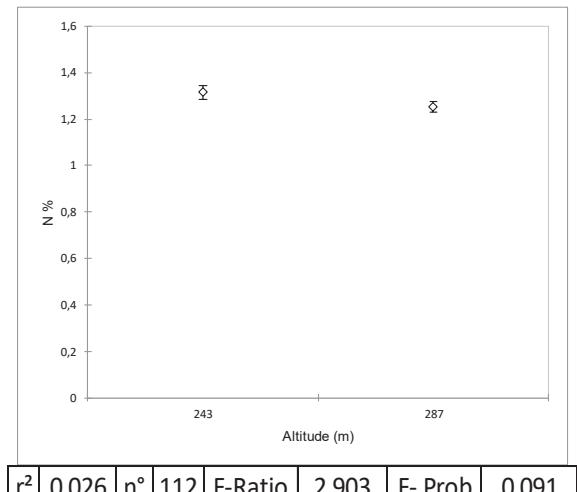
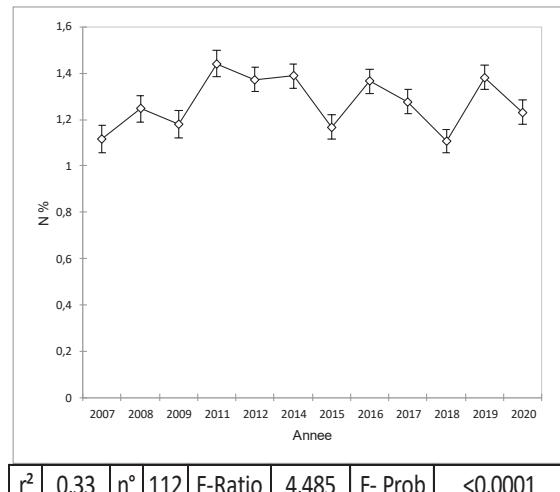
**Figure 20 : ANOVA teneur en Azote total (N- %) des feuilles de *Gardenia aubreyii* - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)**



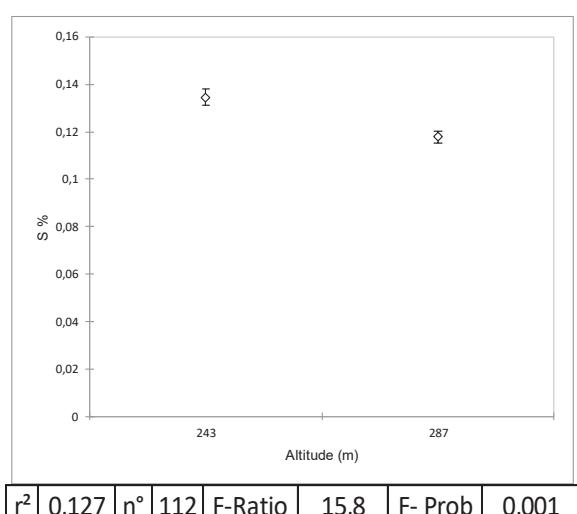
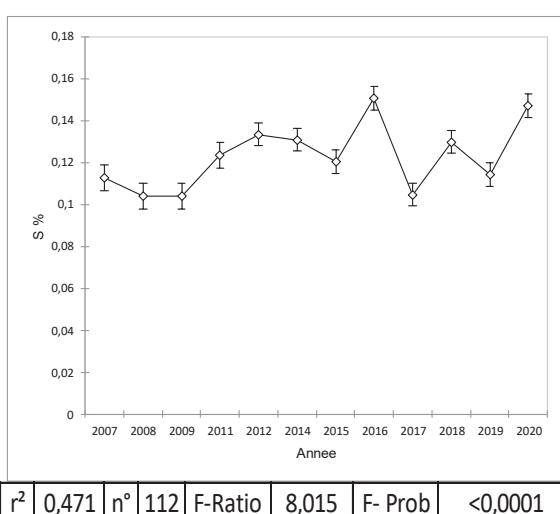
$r^2$  | 0,903 | n° | 120 | F-Ratio | 82,782 | F- Prob | <0,0001



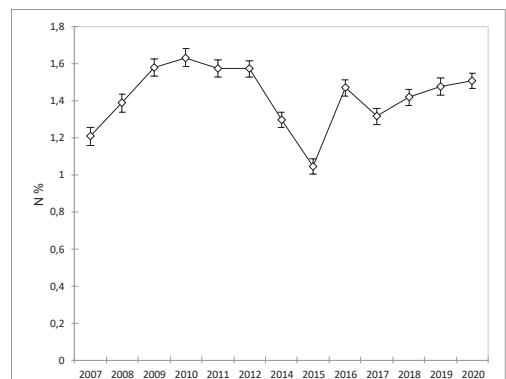
**Figure 21 : ANOVA teneur en Soufre total (S- %) des feuilles de *Gardenia aubreyii* - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)**

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


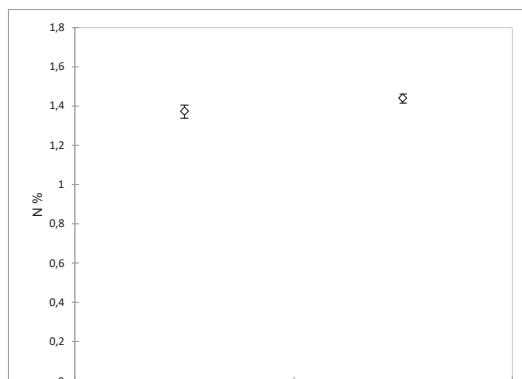
**Figure 22 : ANOVA teneur en Azote total (N- %) des feuilles de *Sparattosyce dioica* - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)**



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

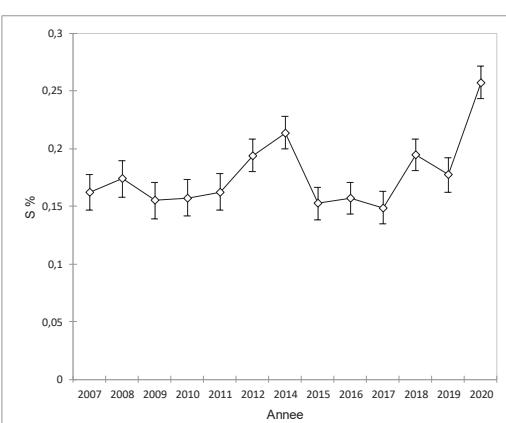
***ANOVA des éléments dans les feuilles de Xylophia sp. sur les parcelles de Forêt-Nord***


$r^2$  | 0,619 | n° | 119 | F-Ratio | 14,361 | F- Prob | <0,0001

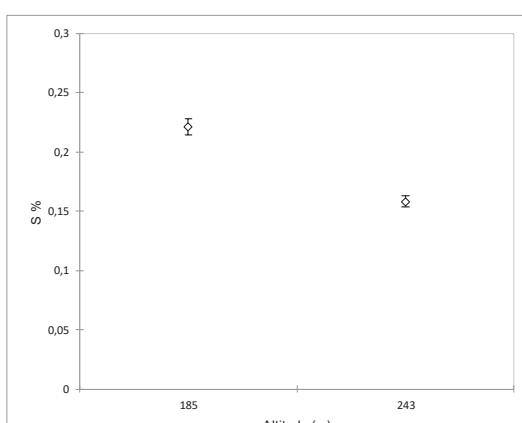


$r^2$  | 0,023 | n° | 119 | F-Ratio | 2,775 | F- Prob | 0,098

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



$r^2$  | 0,355 | n° | 119 | F-Ratio | 4,869 | F- Prob | 0,013



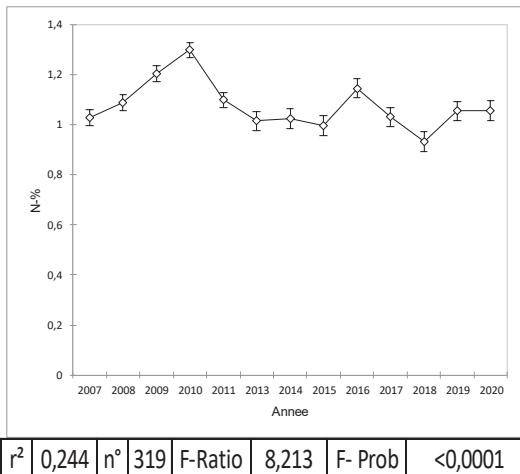
$r^2$  | 0,329 | n° | 119 | F-Ratio | 57,334 | F- Prob | <0,0001

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

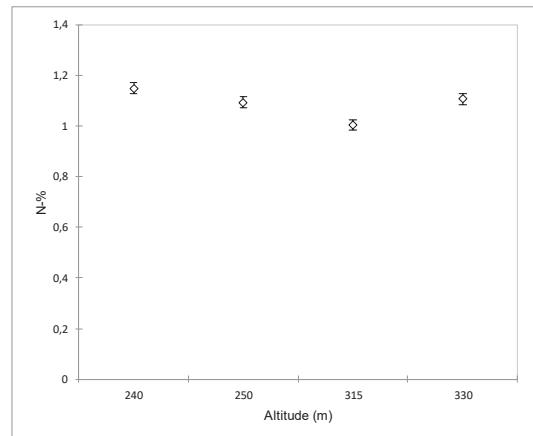
L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des feuilles de *Garcinia neglecta*, *Gardenia aubreyii*, *Sparattosyce dioica* et *Xylopia pancheri* prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2020 en Forêt-Nord montrent plusieurs tendances :

- 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 élevées en S en 2020

#### **ANOVA des éléments dans *Gardenia aubreyii* des parcelles du Pic du Grand Kaori**

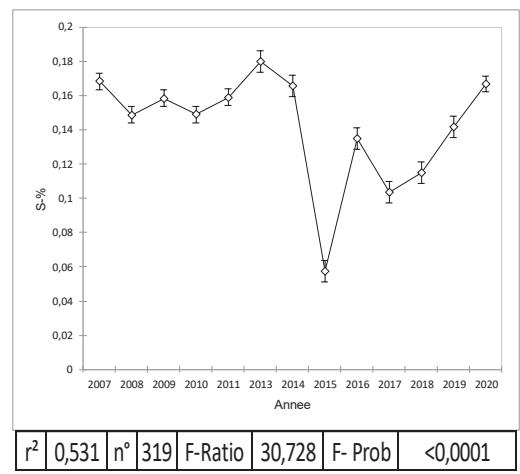


$r^2$  | 0,244 | n° | 319 | F-Ratio | 8,213 | F- Prob | <0,0001

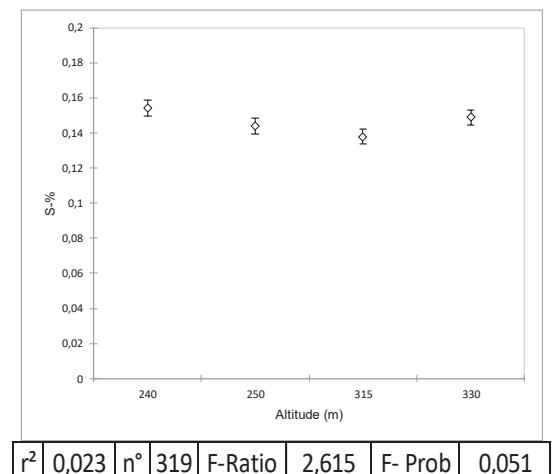


$r^2$  | 0,074 | n° | 319 | F-Ratio | 8,421 | F- Prob | <0,0001

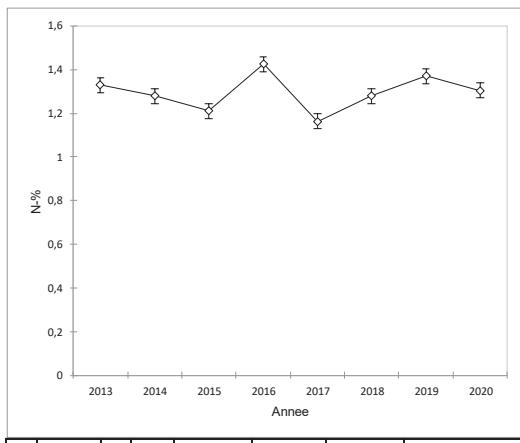
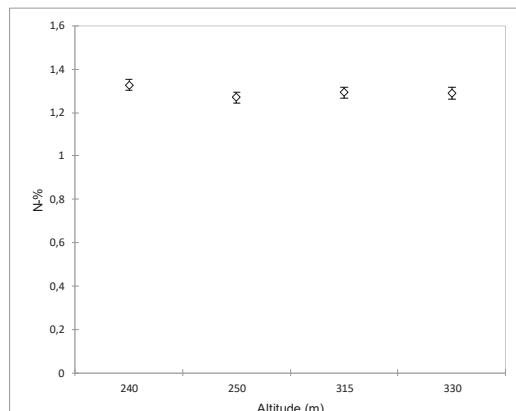
**Figure 26 : ANOVA teneur en Azote total (N- %) des feuilles de *Gardenia aubreyii* – Pic du Grand kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)**



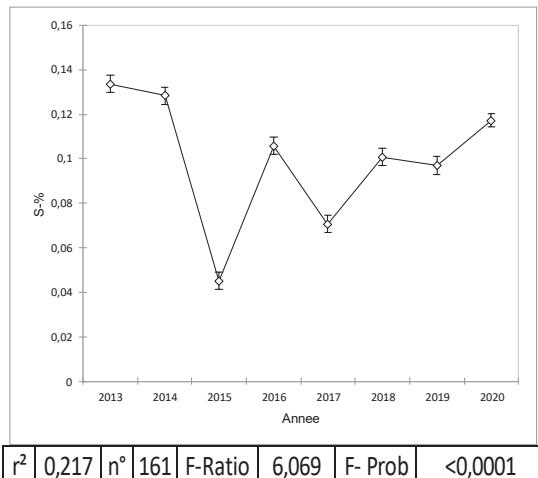
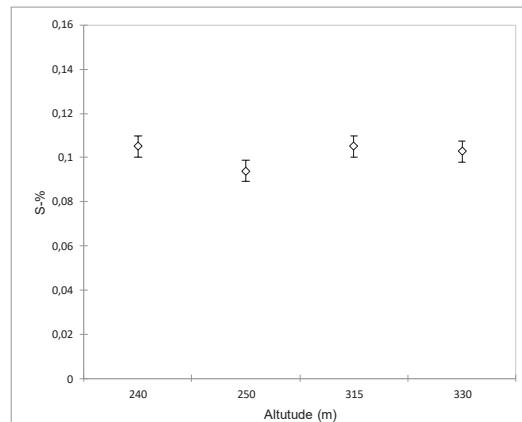
$r^2$  | 0,531 | n° | 319 | F-Ratio | 30,728 | F- Prob | <0,0001



**Figure 27 : ANOVA teneur en Soufre total (S- %) des feuilles de *Gardenia aubreyii* – 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**

 r<sup>2</sup> | 0,217 | n° | 161 | F-Ratio | 6,069 | F- Prob | <0,0001

 r<sup>2</sup> | 0,016 | n° | 161 | F-Ratio | 0,841 | F- Prob | 0,473

**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)**


 r<sup>2</sup> | 0,217 | n° | 161 | F-Ratio | 6,069 | F- Prob | <0,0001

 r<sup>2</sup> | 0,016 | n° | 161 | F-Ratio | 0,841 | F- Prob | 0,473

**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 aubreyii* 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 aubreyii* (Rubiaceae)

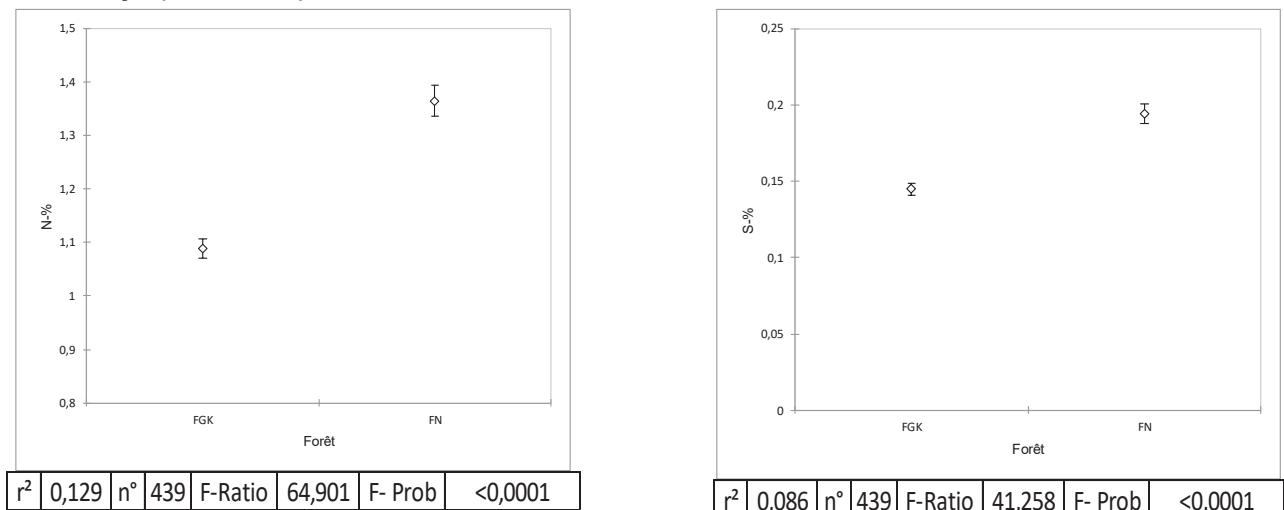


Figure 30: ANOVA teneur en Azote total (N-%) (gauche) et Souffre (S%) (droite) des feuilles de *Gardenia aubreyii* entre Forêt Nord et Pic du Grand Kaori.

#### *Sparattosyce dioica* (Moraceae)

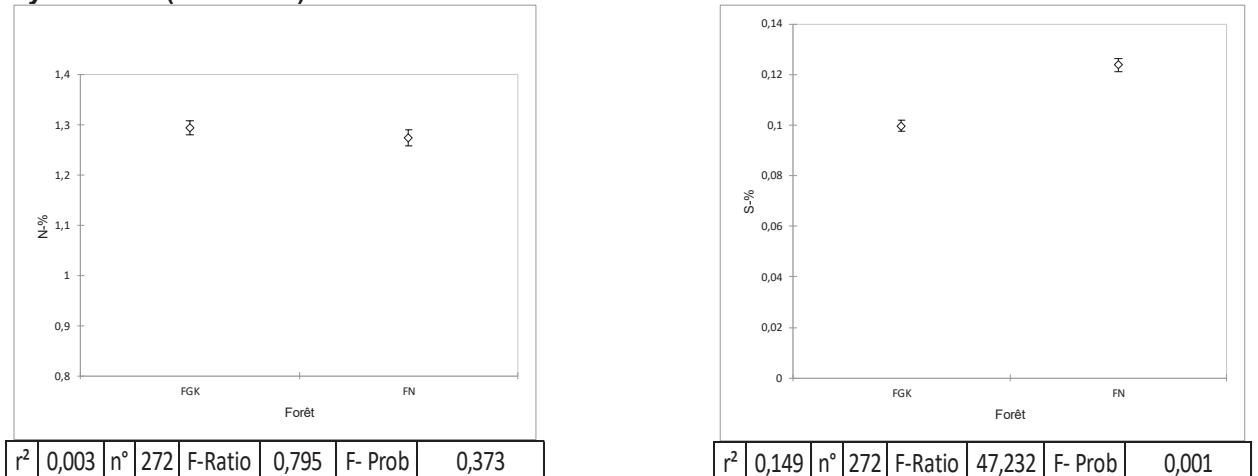


Figure 31: ANOVA teneur en Azote total (N-%) (gauche) et Souffre (S%) (droite) des feuilles de *Sparattosyce dioica* entre Forêt Nord, Pic du Grand Kaori

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 pour le périodes 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 Foret 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, déprérissement)	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
<b>Total mesures ou analyses par Forêt</b>	<b>2096</b>	<b>1719</b>

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 généralisées 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 dénominations.

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

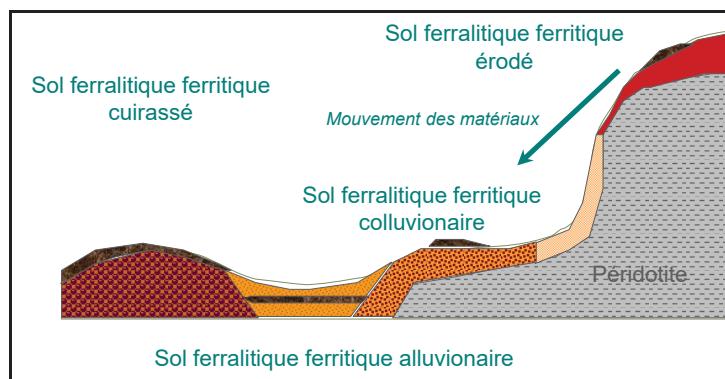
#### 4.4 Evolution de la condition chimique des sols, des litières et des végétaux communs

##### 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 différentes 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 phytotoxiques du nickel, cependant les concentrations très élevées de Mg engendrent un fort déséquilibre du taux de Mg/Ca (Jaffré, 1980 ;

Becquer *et al*, 1995). Les sols ferralitiques de colluvion des piedmonts contiennent en général des concentrations de nickel moins élevées que les sols érodés en raison de leur plus grande profondeur, cependant le nickel est plus assimilable par les plantes du fait que le pH des sols colluvionnaires est plus acide. De meilleures conditions hydriques dans ces sols facilitent la dissolution du nickel qui est assimilé si les ligands organiques entre la plante et sol existent dans l'humus (Becquer *et al*, 1995). Les sols ferralitiques cuirassés sont des sols colluvionnaires très profonds contenant peu de nickel en surface, cependant le manganèse est très présent en raison du pH très acide du sol (Jaffré, 1980 ; McCoy, 1998).



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

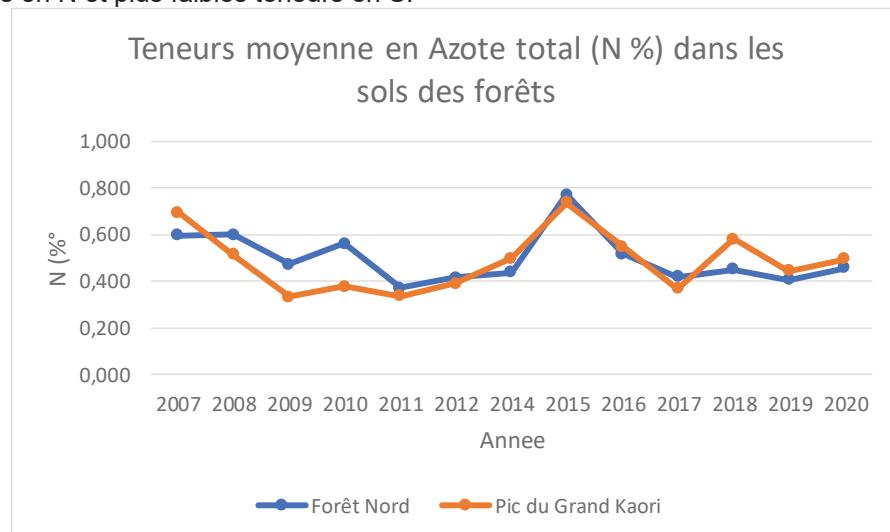
Les résultats des analyses chimiques des sols des parcelles permanentes de Forêt Nord et Pic du Grand Kaori présentées au tableau 18, sont comparables aux résultats déjà obtenus pour d'autres forêts humides dans le Grand Massif du Sud (Read *et al*, 2006 ; Isnard *et al*, 2016). Le pH et teneurs en Mg, 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 à les teneurs en N, P, K qui sont en générale les plus élevées et s'approches 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 <sup>-1</sup> )	0.9 – 3.6	0.7 – 3.8	0.8 – 1.6	0,48	0,46	0,45	0,50
P (mg g <sup>-1</sup> )	0.07 – 0.24	0.10 – 0.18	0.06 – 0.32	0,03	0,03	0,01	0,08
K (mg g <sup>-1</sup> )	0.01 – 0.12	0.03 – 0.28	0.04 – 2.10	0,02	0,02	0,02	0,06
Ca (mg g <sup>-1</sup> )	0.07 – 1.20	0.40 – 1.15	0.05 – 1.5	2,43	2,07	2,22	1,90
Mg (mg g <sup>-1</sup> )	0.01 – 60	3.1 – 17	0.4 – 12.0	10,10	5,9	7,00	7,0
S (mg g <sup>-1</sup> )				0,08	0,11	0,07	0,08
Ni (mg g <sup>-1</sup> )	0.5 – 6.7	2.3 – 8.5	1.3 – 10.4	5,90	7,5	4,00	6,1
Fe (mg g <sup>-1</sup> )	50 – 490	270 – 460	290 - 510	262,00	278	295,50	273
Cr (mg g <sup>-1</sup> )	2 – 134	25 – 184	14 - 110	30,00	72	26,80	68

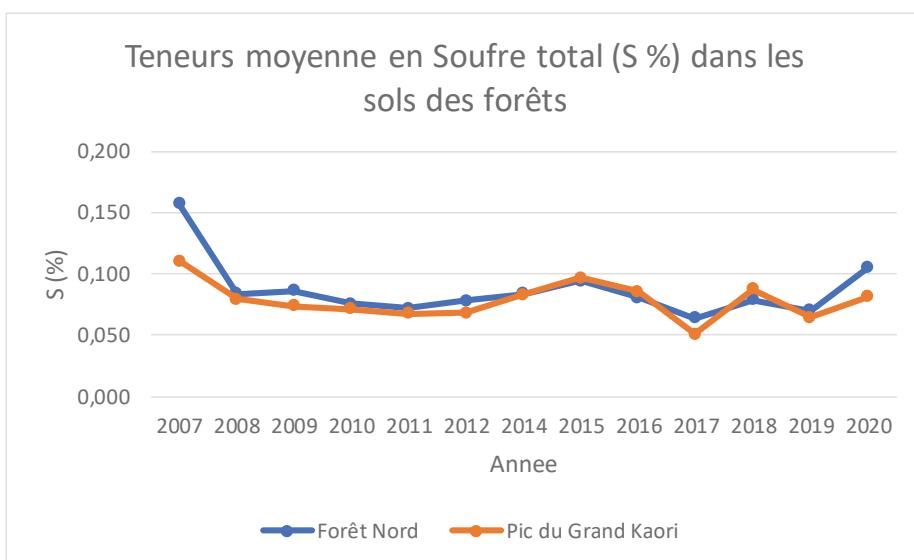
**Tableau 11 : Caractéristiques chimiques des sols des formations du Grand massif du Sud (Read *et al*, 2006) et valeurs moyennes des stations (2007-2019) et 2020.**

L'analyse de variance des teneurs en Azote (N) et Soufre (S) des sols 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 Foret Nord sont plus élevées en début 2020 que à Pic du Grand Kaori suggérant une accumulation de S industriel (SO<sub>2</sub>) 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 élevés 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 altitudinale des teneurs en N et S dans les sols des parcelles permanentes à Pic du Grand Kaori sont moins important 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

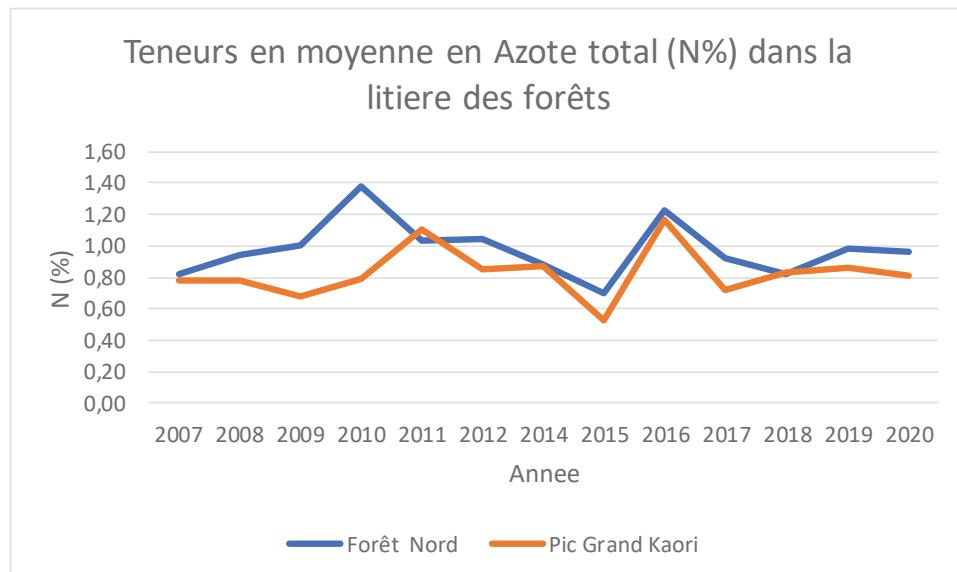
La caractéristique chimique des litières des forêts sur latérite en Nouvelle-Calédonie est méconnue (Becquer *et al*, 1995). Le peu d'informations disponibles indiquent que les teneurs en P, K et Ca en Forêt-Nord et au Pic du Grand Kaori sont semblables à celles des analyses effectuées sur des forêts 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.

Analyse litière	Formations végétales du Sud (Read <i>et al</i> , 2006)			Forêt Nord				Pic du Grand Kaori			
	Forêt à <i>Nothofagus</i>	Forêt Humide	Maquis	2019		2020		2019		2020	
				Moyenne	Ecartype	Moyenne	Ecartype	Moyenne	Ecartype	Moyenne	Ecartype
pH	(n = 4)	(n = 3)	(n = 4)								
N (mg g <sup>-1</sup> )	4.7 ± 0.1	5.3 ± 0.2	4.8 ± 0.2								
P (mg g <sup>-1</sup> )	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
K (mg g <sup>-1</sup> )	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
Ca (mg g <sup>-1</sup> )	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
Mg (mg g <sup>-1</sup> )	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
Mn (mg g <sup>-1</sup> )	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
	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 écarts des valeurs moyennes enregistrées sur les parcelles permanentes suggèrent que les différences restent faibles comparées aux forêts de Read *et al*, 2006.

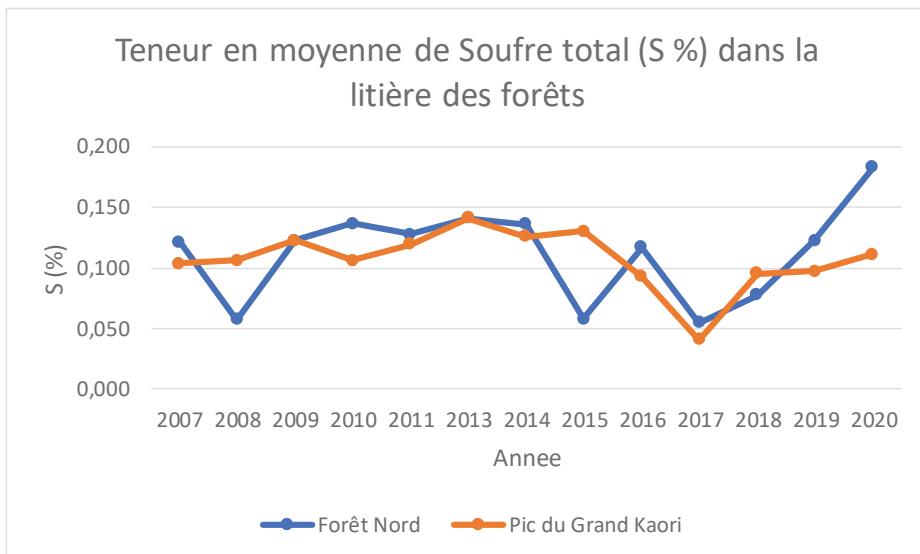
L'analyse de variance effectue sur les teneurs en N et S des échantillons de litières montrent plusieurs tendances. Les teneurs en N de litière à Forêt Nord montrent une augmentation de manière significative de 2007 à 2010. De 2011 à 2015 les teneurs en N diminuent pour ensuite osciller de 2016 à 2020 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 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 Foret 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 aux valeurs après 2011. Effectivement le goudronnage de la route en fin Octobre 2010 a nettement réduit les dépôts poussiéreux 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吸orbe 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 ppm	K %	Ca %	Mg %	Na %	Mn ppm	S %
<i>Garcinia neglecta</i>	Forêt Nord	2020	1,38	465	0,35	2,43	0,35	0,21	1061	0,180
<i>Gardenia aubreyii</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 vaillardi</i>			1,51	709	0,71	1,35	0,37	0,32	295	0,257
<i>Gardenia aubreyii</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 et al, 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 et al, 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 qui représentent les valeurs moyennes des forêts suivis (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 échantillonné 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 pourrais être associe avec une montée en puissance des émissions industriel 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 aubreyii* 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 apport avec les émissions industriel.

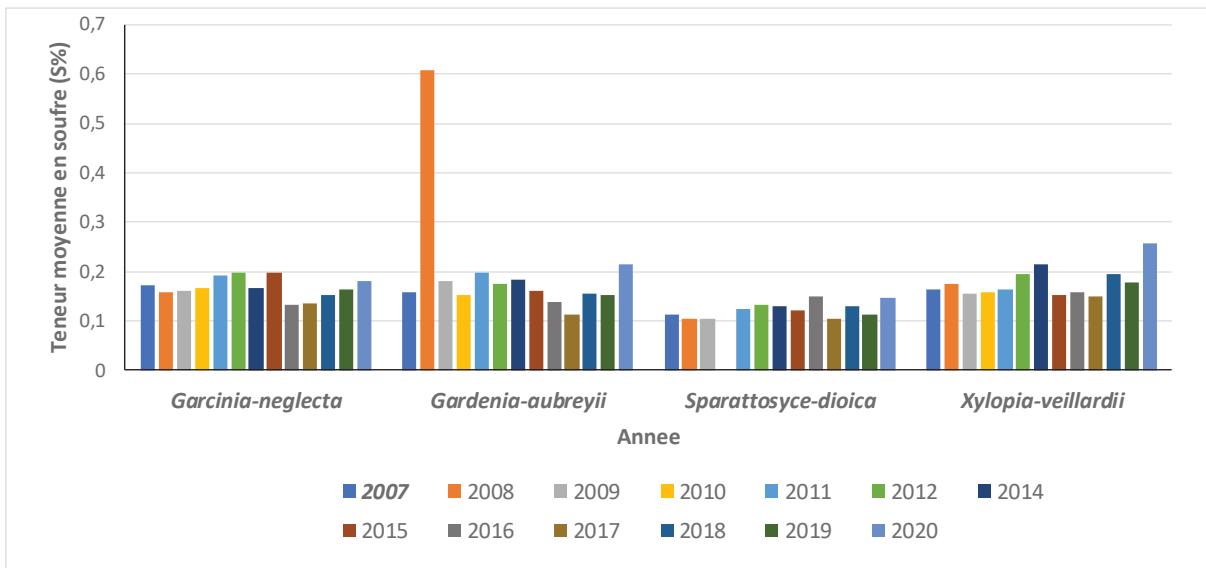


Figure 39 : Teneur maximale en soufre (S%) des arbres des espèces communes Forêt-Nord (2007-2020)

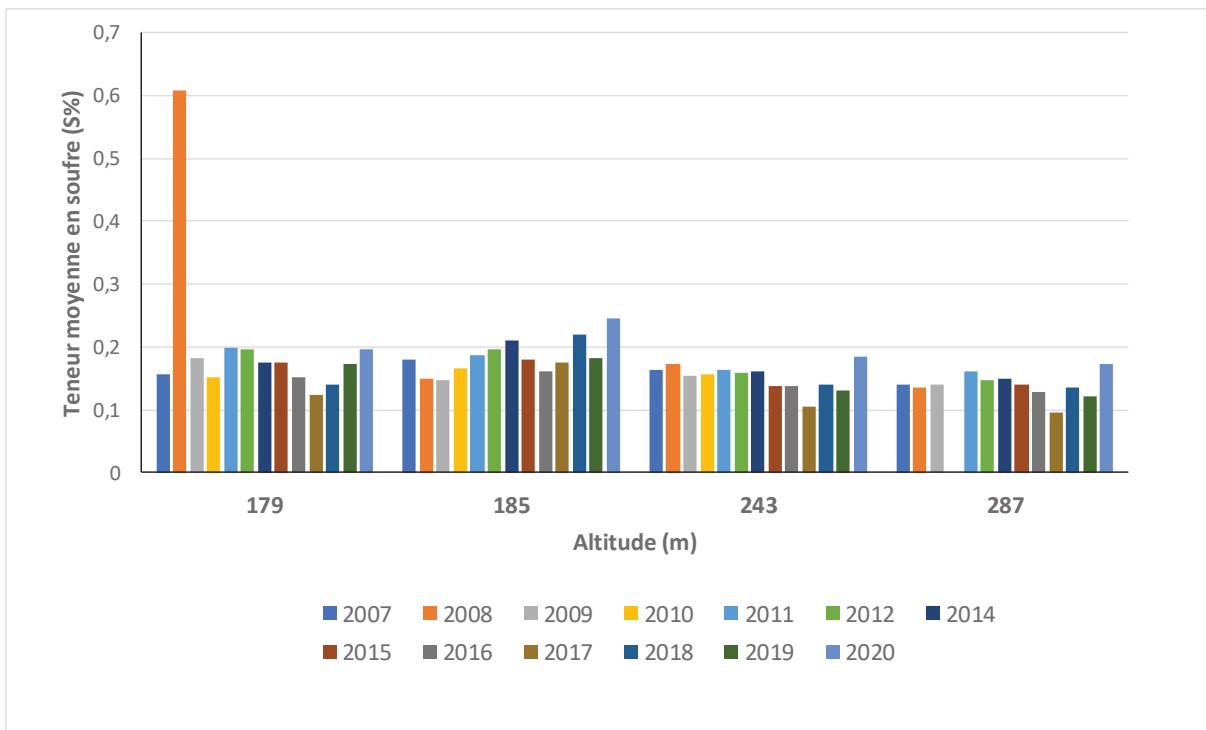


Figure 40 : Teneurs moyenne en Soufre (%) selon l'altitude et année de arbres de canopée sur les parcelles permanentes de la Réserve de Forêt Nord.

## 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*, *Xylopia*) 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 evenement de courte durée a eu un effet mesurable de déprérissement temporaire du maquis sur une emprise définit 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 industrialisés 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'établaient.

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 avance liées aux fouilles. A Pic du Grand Kaori, les passages de cochons à travers les éboulis semble plutôt définit, 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'Huillier, 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. 2<sup>nd</sup> 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 à 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/sl 1104-016-2910-05.
- 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-Caledonie. *Bulletin du Museum National d'Histoire Naturelle, Paris*, 4e série., 12, section B., *Adansonia*, 3–4, 243–273.
- Jaffré, T., Gauthier, D., Rigault, F., & McCoy, S. (1994 b). Les Casuarinacées endémiques. *Bois et Forêts des Tropiques* 242, 31-44.

Jaffré, T. & Veillon, J.-M. (1995) Structural and floristic characteristics of a rain forest on schist in New Caledonia: a comparison with an ultramafic rain forest. *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, 4e sér., 17, section B. *Adansonia*, 3-4, 201-226.

Jaffré, T. (2000) Caractéristiques floristiques de la zone de Prony & Goro. Consultance pour SIRAS et INCO SA, 39p.

Jaffré T, Dagostini G, Rigault F, Coic N (2004) Inventaire floristique des unités de végétation de la zone d'implantation des infrastructures minières et industrielles de Goro Nickel. IRD, Nouméa, Rapport de Consultance, p 69.

Kent, M. & Coker, P. (1992) Vegetation description and analysis: a practical approach. CRC Press, London, 363 p.

Krause, G. H & Weis, E. (1991) Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. Annual review plant physiol. & mol. biol. 42: 313-349.

Kuppers, M., Timm, H., Stegemann, J., Stober, R., Paliwal, K., Karunaichamy, K. S. T. K. & Ortiz, R. (1996) Effects of light environment and successional status on sunfleck use by understorey trees of temperate and tropical forests. *Tree physiology* 16: 69-80.

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

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

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

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

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

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

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

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

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. RIGAULT, 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.