



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

Bilan 2017



**Vale Nouvelle-Calédonie
Novembre 2017**

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 chimiques du sol, de la litière et des feuilles des espèces communes	7
2.1.1 Analyses chimiques des échantillons	8
2.1.2 Analyses du soufre isotopique	8
2.2 Traitement des données	8
2.3 Fréquence d'échantillonnage et données disponibles	9
3. RÉSULTATS	11
3.1 Caractéristiques chimiques des sols, des litières et des espèces communes des stations	11
3.2 Analyse de variance (ANOVA) de la teneur en Azote (N -%) et Soufre (S -%) dans le sol, la litière et les espèces communes	18
3.3 Analyse de variance (ANOVA) de la teneur en Azote (N -%) et Soufre (S -%) entre les arbres communs à Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin (<i>Gardenia</i> , <i>Sparattocyce</i>)	32
3.4 Analyse de variance (ANOVA) des teneurs en Soufre Isotopique $\delta^{34}\text{S}$ (‰) et Soufre total S (%) des litières à Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin	33
4. ANALYSE DES RESULTATS	35
4.1 Bilan générale des campagnes de suivies des parcelles permanentes	35
4.2 Evolution de la condition chimique des sols, des litières et des végétaux communs	36
4.2.1 Evolution de la condition chimique des sols	36
4.2.2 Evolution de la condition chimique des litières	37
4.2.3 Evolution de la condition chimique des arbres	39
5. CONCLUSION	41
5.1 Etat de santé des parcelles	41
6. RÉFÉRENCES	45

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 : Planning des échantillonnages et analyses effectués 2017.....	10
Tableau 3 : Nombre d'échantillons et analyses fait par échantillon pour les échantillons de sol litière et feuilles des espèces sélectionnées sur Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin en 2017.	10
Tableau 4 : Caractéristiques chimiques des échantillons de litière et de sol des parcelles permanentes - Forêt-Nord (2007-2017).....	11
Tableau 5 : Caractéristiques chimiques des échantillons de litière et de sol des parcelles permanentes - Pic du Grand Kaori (2007-2017).....	12
Tableau 6 : Caractéristiques chimiques des échantillons de litière et de sol des parcelles permanentes - Pic du Pin (2009, 2011, 2015, 2017)	13
Tableau 7 : Teneur foliaire des espèces communes - Forêt-Nord (2007-2017).....	15
Tableau 8 : Teneur foliaire des espèces communes - Pic du Grand Kaori (2007-2017).....	16
Tableau 9 : Teneurs foliaires des espèces d'arbres communes des deux parcelles sur Pic du Pin en 2015 et 2017.	17
Tableau 10 : Nombre d'échantillons prélevés sur les trois Réserves (Forêt Nord, Pic du Grand Kaori, Pic du Pin) et analyses chimiques effectuées sur les échantillons de 2017.	35
Tableau 11 : Caractéristiques chimiques des sols des formations du Grand massif du Sud (Read <i>et al</i> , 2006) et valeurs moyennes des stations (2007-2016) et 2017.....	36
Tableau 12 : Les valeurs teneurs en $\delta^{34}\text{S}$ (‰) et soufre total (%) des échantillons de sol des trois forêts. Les valeurs spectrales (V/s) en rouge indiquent que les valeurs détectables de $\delta^{34}\text{S}$ sont très faible et non enregistrable < 2.	37
Tableau 13 : Caractéristiques chimiques des litières des formations du Grand massif du Sud (Read <i>et al</i> , 2006) et valeurs moyennes des stations en 2017	37
Tableau 14 : Comparaison de la teneur foliaire en 2017 des espèces communes d'arbres de Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin avec les valeurs moyennes des espèces forestières et para forestières décrites par Jaffré <i>et al</i> (1994 b)	39

FIGURES

Figure 1: Sous-bois de forêt sur éboulis à forte pente (Parcelle FN3)	Erreur ! Signet non défini.
Figure 2 : Localisation des parcelles en Forêt-Nord, au Pic du Grand Kaori et au Pic du Pin	4
Figure 3 : <i>Gardenia aubreyii</i> (haut gauche), <i>Garcinia neglecta</i> (haut droit), <i>Sparattocyce dioica</i> (bas gauche), <i>Xylopi</i> <i>cf. veillardii</i> (bas droit).....	8
Figure 4 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)	18
Figure 5 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)	18
Figure 6 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Pic du Grand Kaori	19
Figure 7 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Pic du Grand Kaori	19
Figure 8 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Pic du Pin selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)	20
Figure 9 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Pic du Pin	20
Figure 10 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des litières - Forêt-Nord	21
Figure 11 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des litières - Forêt-Nord	21
Figure 12 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des litières - Pic du Grand Kaori	22
Figure 13 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des litières - Pic du Grand Kaori	22
Figure 14 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) et soufre (S-%) des litières - Pic du Pin	23
Figure 15: ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Garcinia neglecta</i> (<i>Guttiferae</i>) - Forêt-Nord.....	24
Figure 16: ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Garcinia neglecta</i> (<i>Guttiferae</i>) - Forêt-Nord.....	24
Figure 17 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> (<i>Rubiaceae</i>) - Forêt-Nord.....	25
Figure 18: ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> (<i>Rubiaceae</i>)- Forêt-Nord.....	25
Figure 19 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Sparattocyce dioica</i> (<i>Moraceae</i>) - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période 2007 à 2017.	26
Figure 20: ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Sparattocyce dioica</i> (<i>Moraceae</i>) - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période 2007 à 2017.	26
Figure 21: ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Xylopi</i> <i>sp</i> (<i>veillardii</i>) - Forêt-Nord selon l'année (à gauche) et altitude (m) (droite) pour la période 2007 à 2017.	27
Figure 22: ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Xylopi</i> <i>sp</i> (<i>veillardii</i>) - Forêt-Nord selon l'année (à gauche) et altitude (m) (droite) pour la période de 2007 à 2017.	27
Figure 23: ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> - Pic du Grand Kaori.....	29
Figure 24: ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> (<i>Rubiaceae</i>) - Pic du Grand Kaori	29
Figure 25: ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Sparattocyce dioica</i> Pic du Grand Kaori.....	30
Figure 26: ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Sparattocyce dioica</i> - Pic du Grand Kaori.....	30
Figure 27: ANOVA teneur en Azote total (N-%) (gauche) et Soufre (S%) (droite) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> entre Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin.	32
Figure 28: ANOVA teneur en Azote total (N-%) (gauche) et Soufre (S%) (droite) des feuilles de <i>Sparattocyce dioica</i> entre Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin.....	32

Figure 29:	ANOVA teneurs en Soufre Isotope (S‰) (gauche) et Souffre total (S%) (droite) des litières de Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin.....	33
Figure 30 :	Teneur moyenne en soufre (S%) des arbres des espèces communes à Forêt-Nord de 2007 à 2017 sur les stations le plus proche des sources des émissions industrielles de l'usine de Vale Nouvelle Calédonie.	40
Figure 31:	Dégâts de fouilles récentes de cochon sur la parcelle permanent PGK 1 (à gauche). Trace de fouille sur parcelle permanent PP2 de pente à Pic du Pin illustrant l'érosion au sol et absence de plantules sur la placette (à droite).	41
Figure 32 :	Dépérissement localisé d'arbuste exposé aux conditions sèches en lisière de Forêt Nord en bordure du couloir technique des tuyauteries.	42

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 dans l'objectif de suivre les effets des 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 de grandes parcelles forestières proches de l'usine de Vale Nouvelle-Calédonie, elles ont un statut de Réserve Naturelle selon le Code de l'environnement de la Province Sud.

Des parcelles permanentes dédiées à ce suivi ont été installées sur 3 stations 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 potentielle de l'usine de Vale Nouvelle Calédonie, leur richesse biologique et leur intérêt 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, A & William, P. 2000 ; Murray, 2003). Le protocole est décrit dans les sections suivantes.

1. LES PARCELLES PERMANENTES

1.1 Protocole de suivi

Vale Nouvelle-Calédonie a fait appel en 2004 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 forestières. 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 éloignée du site industriel, la réserve du Pic du Grand Kaori est située à environ 2,5 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 elle a été choisie comme site témoin, pour permettre une comparaison des données de suivi entre cette station témoins et les 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 dominants du secteur Sud-est. 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). Des parcelles sont aussi 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 dispersion a été modélisée par la société Katestone en 2007.

1.2 Objectifs et indicateurs

Les objectifs du suivi des réserves ont été affinés (depuis 2012) suite à l'analyse des résultats de 2011 et suite aux recommandations proposées par le Professeur Francis Murray lors de son évaluation de Décembre 2011 (Murray, 2012). En effet, les mesures effectuées pour établir le bilan de l'état de santé des réserves forestières ont montré que la végétation dans les parcelles permanentes de ces formations n'a pas changée de composition floristique ni de structure, entraînant une croissance notable entre 2006 et 2010. La quasi-absence de changement peut être attribuée en grande partie à leur lent métabolisme en réponse à un substrat latéritique très pauvre en éléments nutritif.

De ce fait, les objectifs de la campagne de surveillance de 2017 présentés dans ce rapport sont les suivants :

- **Déterminer tout changement dans la santé des végétaux en lien direct ou indirect avec les émissions atmosphériques industrielles.** Cette détermination est évaluée via l'état de santé des plantes sur les différentes parcelles permanentes par la voie des teneurs chimiques.
- **Evaluer l'apport des polluants atmosphériques et leur absorption dans les milieux, à différents niveaux, grâce aux mesures des concentrations en S, N et métaux dans les feuilles des arbres de la canopée, dans la litière et le sol.**

En plus des analyses chimiques effectuées chaque année, les prélèvements de sol et de la litière ont fait l'objet d'une analyse de leur abondance en soufre isotopique ($\delta^{34}\text{S}$), pour chaque parcelle permanente (en 2017) dans le but de quantifier les origines des apports des différentes sources naturelles et/ou industrielles de soufre dans des échantillons issus des parcelles : Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin.

D'autres perturbations notables sur la santé des forêts Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin, non liées aux activités industrielles, ont aussi évaluées.

- **Des dégâts importants dus à des cochons (sauvages)** ont été constatés sur la régénération des plantules des parcelles permanentes de Pic du Pin.

Signalés dès 2011, ils ont été la cause de l'abandon de mesures de santé sur la régénération sur ses parcelles. Néanmoins, une évaluation photographique a été effectuée sur le sol pour évaluer la régénération (ou l'impact) des sous-bois aux niveaux des parcelles permanentes de Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin, lors des prélèvements pour les analyses chimiques, afin de bien documenter les dégâts liés aux cochons, selon les milieux et les altitudes.

- **Des dépérissements du sous-bois des lisières liées à la sécheresse marquée de 2017** ont été photographiés en Forêt Nord afin de quantifier son étendue.

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 sur la figure et le tableau suivants.

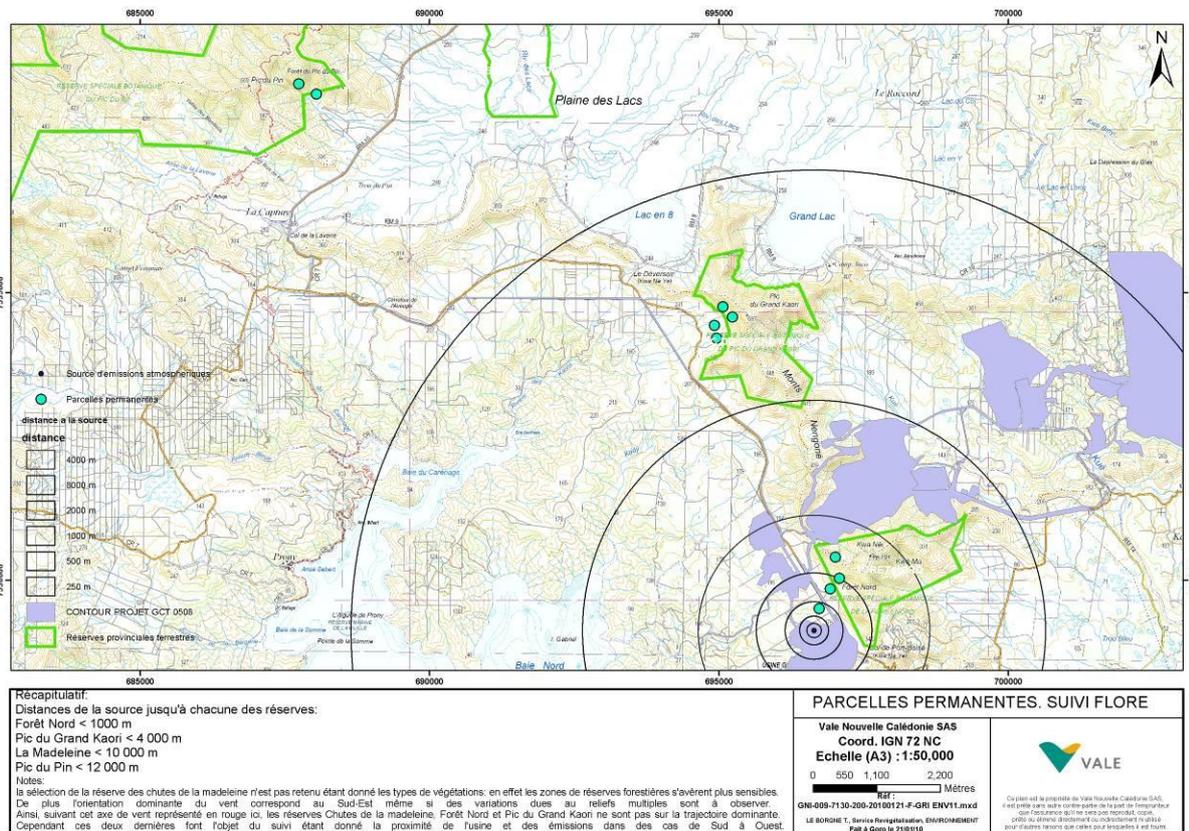


Figure 1 : Localisation des parcelles en Forêt-Nord, au Pic du Grand Kaori et au Pic du Pin

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

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

2. MÉTHODE DE SUIVI

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

2.1.1 Critères et techniques de prélèvement

5 échantillons de 100 grammes de sol et de litière ont été 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 a été prélevée en surface et comprend les parties partiellement décomposées mais non minéralisées des végétaux. Une surface de 0 à 10 cm² d'échantillon de sol a ensuite été 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 ont été effectués à l'extérieur des placettes afin d'éviter tout impact sur les plantes dans un rayon de 10 m autour de chaque parcelle.



Figure 2 : Techniques de prélèvements

5 échantillons de 50 grammes de feuilles à différents stades de développement ont été récoltés sur 5 arbres des deux espèces d'arbres communs de chaque parcelle. Ces prélèvements ont été réalisés sur des arbres mesurant 6 à 12 m de haut (à l'aide d'un échenilloir télescopique) afin d'échantillonner ce milieu récepteur pour détecter des éventuels signes d'émissions atmosphériques. Les espèces retenues pour l'échantillonnage foliaire à Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin sont *Gardenia aubryi*, *Garcinia neglecta*, *Sparattocyce dioica* et *Xylopia vieillardii* (Cf. figure 2).



Figure 3 : *Gardenia aubreyii* (haut gauche), *Garcinia neglecta* (haut droit), *Sparattocyce dioica* (bas gauche), *Xylopia cf. veillardii* (bas droit).

2.1.2 Analyses chimiques des échantillons

Les échantillons séchés à 50°C pendant 4 jours ont été 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 dans un broyage des échantillons des végétaux et des prélèvements des sols pour obtenir 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 (concentrations totales) sont analysées avec un ICP-AES (Perkin Elmer Optima 8300 DV). Les teneurs totales en azote et en carbone des échantillons des sols et des végétaux sont évaluées avec un LECO Truspec.

2.1.3 Analyses du soufre isotopique

Les rapports isotopiques stables de ^{34}S dans des échantillons solides sont mesurés à l'aide d'un spectromètre de masse de rapport isotopique Thermo Delta XP+. Les matériaux de référence de laboratoire ont été étalonnés directement en fonction des normes NIST. La reproductibilité à long terme est de $\pm 0.4 \text{ ‰}$ (Technical report Thermo Delta XP+, 2014)

2.2 Traitement des données

Les mesures présentées dans ce rapport sont données pour les conditions chimiques des parcelles permanentes à Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin pour la période début 2017. Cette information est présentée sous forme d'un tableau de synthèse composé de données exprimées en moyennes selon l'altitude de la parcelle. Les tableaux de synthèse sont les suivants :

- Synthèse de la teneur des éléments des sols et litières échantillonnés sur la Forêt-Nord, le Pic du Grand Kaori et le Pic du Pin.

- Synthèse de la teneur en éléments dans les feuilles des espèces échantillonnées dans la Forêt-Nord (2007-2017), le Pic du Grand Kaori (2007-2017) et le Pic du Pin (2015-2017).

Des analyses de variance multifactorielle (MANOVA) ont été appliquées aux bases de données avec le logiciel statistique JMP3 sur les données des analyses chimiques des teneurs en Azote (N %) et en Soufre (S %) des sols, litières et feuilles des espèces communes. 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 des teneurs en N % et S % des sols de Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori entre 2007 (T0) et 2017 MANOVA ;
- Comparaison des teneurs par élément en N % et S % des sols de Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori, selon l'altitude. MANOVA ;
- Comparaison des teneurs en N% et S% des sols de Pic du Pin entre 2009 et 2017. MANOVA ;
- Comparaison des teneurs en N% et S % des litières de Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori entre 2007 (T0) et 2017. MANOVA ;
- Comparaison des teneurs en N% et S% des litières de Pic du Pin entre 2009 et 2017. MANOVA ;
- Comparaison des teneurs en N% et S % des litières de Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori selon l'altitude. MANOVA ;
- Comparaison des teneurs en N% et S % dans les feuilles des espèces communes en Forêt-Nord du Pic et du Grand Kaori entre 2007 (T0) et 2017. MANOVA ;
- Comparaison des teneurs en N% et S% dans les feuilles des espèces communes de Pic du Pin entre 2015 et 2017. MANOVA ;
- Comparaison des teneurs en N% et S% dans les feuilles des arbres de *Gardenia aubreyi* et *Sparattocyce dioica*, espèces communes aux parcelles permanentes entre Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin.
- Comparaison des teneurs en Soufre Isotopique (S‰) et Soufre total (%) des litières entre Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin.

2.3 Fréquence d'échantillonnage et données disponibles

Le programme d'échantillonnage des parcelles permanentes de 2017 a été réalisé pour la Forêt Nord et le Pic du Grand Kaori en grand partie en janvier 2017, en fonction des périodes de faible pluviométrie et avant le passage d'une petite dépression sur la plaine des lacs (le 9 Février) et le cyclone Cook (le 11 Avril 2017) qui ont endommagé la pépinière.

Le calendrier ci-dessous présente le planning qui a été suivi en 2017 pour les prélèvements et les analyses des parcelles permanentes des stations forestières.

Activité prélèvement, analyse et rédaction	Janvier 2017	févr-17	Mars 2017	Avril 2017	Mai 2017	Juin 2017	Juillet 2017	Aout 2017	Septembre 2017	Octobre 2017	Novembre 2017	déc-17
Prélèvement sols litière et feuilles pour analyses chimiques à Forêt Nord												
Prélèvement sols litière et feuilles pour analyses chimiques à Pic du Grand Kaori												
Prélèvement sols litière et feuilles pour analyses chimiques à Pic du Pin												
Envoie des échantillons et traitement phytosanitaire par irradiation gamma à Steritech Brisbane												
Analyses chimiques effectuées par UQ (Centre Minsite Réhabilitation) pour échantillons des trois Réserves												
Analyses chimiques isotope soufre												
Réception des résultats des analyses Chimiques des trois Réserves												
Analyses des données et rédaction rapport 2017												

Tableau 2 : Planning des échantillonnages et des analyses effectués 2017.

Le tableau ci-dessous synthétise le nombre d'échantillons prélevés sur les parcelles de Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin.

Analyses chimique	Nombre d'échantillons à Forêt Nord					Nombre d'échantillons à Pic du Grand Kaori					Nombre d'échantillons à Pic du Pin		
	FN1	FN2	FN3	FN4	Total	PGK 1	PGK 2	PGK 3	PGK 4	Total	PP1	PP2	Total
Litière	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	10
Sol	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	10
<i>Gardenia aubreyii</i>			5	5	10	5	5	5	5	20		5	5
<i>Garcinia neglecta</i>	5			5	10						5	5	10
<i>Sparattocyse dioica</i>		5	5		10	5	5	5	5	20	5		5
<i>Xylopia veillardii</i>	5	5			10								
TOTAL					80					80			40

Tableau 3 : Nombre d'échantillons prélevés et d'analyses effectuées pour les échantillons de sols, de la litière et les feuilles des espèces sélectionnées sur Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin en 2017.

3. RÉSULTATS

3.1 Caractéristiques chimiques des sols, des litières et des espèces communes des stations de suivi.

Caractéristiques chimiques des parcelles de Forêt-Nord

LITIÈRE	PARCEL		FN4 179										FN1 185										FN2 243										FN3 287									
	Année	Altitude (mètres)	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2014	2015	2016	2017	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2014	2015	2016	2017	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2014	2015	2016	2017	2007	2008	2009	2011	2012	2014	2015	2016	2017	
	Date		24/05/07	02/04/08	23/11/09	28/12/10	22/11/11	08/01/13	19/02/14	16/12/14	10/02/16	11/01/17	23/05/07	01/04/08	30/11/09	14/12/10	20/12/11	09/01/13	11/02/14	30/12/14	21/01/16	10/01/17	29/05/07	09/04/08	01/12/09	06/12/10	06/02/12	21/12/12	12/02/14	30/12/14	02/02/16	10/01/17	30/05/07	10/04/08	02/12/09	23/02/12	21/12/12	26/02/14	21/01/16	19/01/16	11/01/17	
Analyses	Elément	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5		
CHNS Humide	N %	0,92	1,09	1,21	1,54	1,10	1,22	0,78	1,22	1,10	1,00	0,85	0,95	1,00	1,27	1,11	1,10	1,11	0,54	1,366	0,96784	0,93	1,01	0,97	1,30	1,08	1,05	1,08	0,87	1,03	1,10	0,58	0,71	0,83	0,85	0,80	0,85	0,62	1,4006	0,63266		
	C %	48,97	50,35	46,86	48,45	51,29	43,73	51,29	43,59	46,08	49,63	47,76	47,84	50,30	50,41	50,30	44,77	45,044	44,67	44,47	44,47	35,53	44,66	45,45	41,50	45,45	45,38	41,59	43,89	46,52	46,99	48,31	44,24	48,31	39,85	40,736	45,132					
	S %	0,11	0,05	0,12	0,13	0,13	0,13	0,17	0,13	0,11	0,05	0,12	0,06	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	0,12	0,06	0,15	0,08	0,12	0,14	0,13	0,15	0,13	0,17	0,10	0,06	0,10	0,04	0,12	0,11	0,14	0,11	0,13	0,14	0,04		
Attaque totale acide/fusion alcaline	Ca %	1,44	1,44	1,47	1,39	1,51	1,65	1,76	1,65	1,47	0,89	1,82	1,52	1,63	1,97	1,62	1,46	1,62	1,68	1,34	0,95	1,50	1,32	1,55	1,56	1,34	1,50	1,34	1,03	1,48	0,74	1,46	1,69	1,97	1,99	1,81	1,99	1,58	1,05	0,72		
	Mg %	0,23	0,23	0,29	0,38	0,22	0,19	0,27	0,19	0,26	0,12	0,29	0,30	0,32	0,32	0,33	0,28	0,33	0,31	0,19	0,16	0,43	0,39	0,39	0,42	0,39	0,36	0,39	0,43	0,19	0,19	0,24	0,22	0,27	0,27	0,27	0,24	0,27	0,27	0,35	0,12	
	Na %	0,08	0,01	0,05	0,05	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,01	0,07	0,02	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,06	0,02	0,14	0,04	0,10	0,06	0,04	0,03	0,04	0,02	0,02	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,03	0,02	0,03	0,03	0,06	0,01
	K %	0,16	0,05	0,13	0,12	0,13	0,10	0,12	0,10	0,09	0,05	0,12	0,06	0,08	0,13	0,08	0,07	0,08	0,10	0,14	0,06	0,12	0,07	0,15	0,11	0,09	0,09	0,11	0,04	0,05	0,07	0,05	0,05	0,09	0,10	0,02						
	P ppm	161	155	159	212	205	199	179	199	216	136	222	198	212	260	197	225	197	233	142	156	259	284	168	314	254	305	254	176	100	187	82	84	99	78	116	78	117	297	94		
	Mn ppm	910	1280	1178	1027	1290	968	676	968	1103	429	1606	1235	1518	1398	860	1028	860	1336	696	741	269	328	104	602	229	401	229	299	419	112	333	429	407	502	483	502	1002	221	172		

SOL	PARCEL		FN4 179										FN1 185										FN2 243										FN3 287									
	Année	Altitude (mètres)	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2014	2015	2016	2017	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2014	2015	2016	2017	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2014	2015	2016	2017	2007	2008	2009	2011	2012	2014	2015	2016	2017	
	Date		24/05/07	02/04/08	23/11/09	28/12/10	22/11/11	08/01/13	19/02/14	16/12/14	10/02/16	11/01/17	23/05/07	01/04/08	30/11/09	14/12/10	20/12/11	09/01/13	11/02/14	30/12/14	21/01/16	10/01/17	29/05/07	09/04/08	01/12/09	06/12/10	06/02/12	21/12/12	12/02/14	30/12/14	02/02/16	10/01/17	30/05/07	10/04/08	02/12/09	23/02/12	21/12/12	26/02/14	21/01/16	19/01/16	11/01/17	
Analyses	Elément	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5	MOY. n=5		
CHNS Humide	pH H2O	0,68	0,68	0,54	0,50	0,36	0,42	0,35	0,97	0,90	0,34	0,30	0,36	0,23	0,43	0,22	0,28	0,34	0,57	0,47	0,25	0,89	0,83	0,63	0,75	0,63	0,58	0,64	0,99	0,41	0,73	0,52	0,54	0,51	0,28	0,38	0,43	0,55	0,30	0,37		
	N %	12,73	10,39	6,39	5,89	6,26	6,57	4,68	15,58	10,05	5,39	6,03	7,14	4,08	5,72	4,00	5,03	4,92	7,04	4,68	4,01	14,41	12,40	6,15	6,39	7,33	7,94	8,62	12,13	5,38	11,13	12,22	11,39	6,13	5,44	7,82	9,38	10,98	3,88	5,94		
	C %	0,19	0,07	0,11	0,09	0,08	0,08	0,06	0,12	0,10	0,06	0,14	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,09	0,07	0,08	0,06	0,18	0,12	0,08	0,07	0,08	0,08	0,11	0,10	0,07	0,08	0,12	0,06	0,08	0,06	0,07	0,08	0,08	0,07	0,05		
Capacité d'échange	még%	27	22	23	19	16	28	12	43	25	25	15	17	14	17	12	24	12	24	20	19	30	29	27	24	26	24	47	54	52	25	27	27	13	23	24	24	22	21			
	Ca g/kg	3	2	2	2	1	2	1	4	2	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	0,5	5	5	4	4	5	3	2	1	2	9	5	29	2	6	5	3	1	2			
	Mg mg/kg	7186	8124	7244	8212	9014	10681	9997	1598	11505	613	11854	12663	13842	13201	15079	15818	18894	988	903	785	33052	38908	47792	37355	51886	43485	34879	23854	3329	9260	8944	12875	12395	10593	10499	9557	1819	1584	1707		
	Na mg/kg	63	141	122	400	106	181	179	91	149	43	73	56	19	171	249	92	188	53	93	56	177	232	114	284	186	150	257	102	91	96	290	142	355	162	58	240	63	95	54		
	K mg/kg	30	412	185	180	47	170	73	208	177	78	148	250	123	183	160	132	166	105	77	67	66	375	202	169	105	175	168	174	79	139	177	467	137	31	120	155	97	69	51		
	Fe g/kg	334	351	353	366	379	351	423	158	150	160	363	389	334	359	381	354	383	174	215	150	236	270	243	290	268	272	313	115	227	120	330	382	298	401	379	392	191	199	180		
	Co mg/kg	580	588	675	698	684	604	809	29	146	1409	327	650	1570	1032	798	1382	6	28	28	640	706	538	898	788	809	963	100	33	474	605	470	654	655	667	51	31	31	31	31		
	Cr mg/kg	24062	26235	30322	27951	19700	31100	30604	4327	2267	6019	21965	24595	34096	19224	23917	39174	33872	5652	5738	6706	17641	19857	27528	19243	24515	22277	25847	1800	5916	2334	16457	19706	20767	24747	22257	22227	5047	6206	6185		
	Mn mg/kg	5866	7302	6390	7599	6237	5479	6923	2709	3411	3693	14667	15872	8171	12966	8730	7857	11814	2202	3279	2360	4604	6344	5458	5618	5062	5880	6449	2737	2821	4023	3151	4942	2846	3705	4021	4244	2980	3027	3021		
	Ni mg/kg	5525	7107	5348	7240	8792	6545	9656	4466	6258	2977	5494	5789	3980	7730	7060	5959	6845	4105	5821	2305	7036	7173	2011	10338	9555	8752	8220	6227	5470	3062	5742	7020	4410	7935	7018	7478	4657	4818	2849		
Al g/kg	19	22	22	23	23	24	25	9	7	12	22	23	24	24	24	26	28	10	12	11	13	16	17	18	16	17	5	15	6	19	22	19	22	12	12	14	14	14				
Cu mg/kg	23	79	27	24	19	23	22	20	16	25	22	103	6	23	23	22	13	16	23	19	17	122	7	20	29	13	14	23	19	25	70	12	28	16	20	24	16	25				
P mg/kg	261	311	391	343	266	272	305	308	456	219	336	391	322	395	415	377	481	348	255	325	502	562	395	495	491	572	633	362	115	395	74	120	112	82	180	114	117	363	89			
Zn mg/kg	277	154	241	306	327	262	427	161	163	244	288	189	211	286	282	209	406	159	211	219	237	141	73	247	240	274	339	124	225	180	264	189	212	340								

Caractéristiques chimiques des parcelles au Pic du Grand Kaori

LITIÈRE	Parcel		PGK1										PGK2										PGK4										PGK3									
	Altitude (metres)		240										250										315										330									
	Année		2007	2008	2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016	2017	2007	2008	2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016	2017	2007	2008	2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016	2017	2007	2008	2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016	2017
	Date		28/11/07	06/10/08	15/12/09	29/12/10	29/02/12	17/01/13	06/03/14	09/03/15	11/02/16	12/01/17	29/11/07	14/10/08	16/12/09	15/03/11	19/03/12	17/01/13	31/03/14	17/03/15	17/02/16	17/01/17	05/12/07	09/10/08	06/01/10	23/03/11	23/04/12	16/01/13	27/02/14	17/03/15	15/03/16	19/01/17	04/12/07	16/10/08	17/12/09	17/03/11	12/04/12	16/01/13	19/02/14	17/03/15	01/03/16	18/01/17
Analyses	Element	MOY. n=10	MOY. n=5	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=5	MOY. n=10	MOY. n=5	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=5																											
CHNS Humide	N %	0,92	1,09	1,21	1,20	1,06	1,06	0,83	0,54	1,41	0,71	0,85	0,95	1,00	1,04	1,07	0,81	0,59	0,98	0,71	0,58	0,71	0,83	1,03	1,13	1,13	1,02	0,55	1,17	0,74	0,93	1,01	0,97	1,03	1,16	1,16	0,83	0,43	1,11	0,73		
	C %	48,97	50,35	46,27	51,55	51,55	49,57	47,76	44,73	47,06			49,63	47,76	48,05	50,56	50,56	51,05	46,67	42,81	46,09		46,52	46,99	46,13	48,98	48,98	48,82	45,91	43,31	44,20		44,47	35,53	46,13	48,94	48,94	50,39	45,24	42,09	43,48	
	S %	0,11	0,05	0,12	0,11	0,12	0,12	0,13	0,11	0,08	0,05	0,12	0,06	0,13	0,11	0,11	0,12	0,13	0,08	0,04	0,10	0,04	0,12	0,11	0,13	0,13	0,13	0,13	0,15	0,10	0,04	0,15	0,08	0,12	0,11	0,12	0,12	0,12	0,13	0,10	0,04	
	Ca %	1,44	1,44	1,47	1,35	1,04	1,04	1,36	0,91	0,77	0,41	1,82	1,52	1,63	1,29	1,17	1,17	1,31	1,44	0,92	0,53	1,46	1,69	1,97	1,52	1,59	1,59	1,99	1,45	1,08	0,74	1,50	1,32	1,55	1,52	1,36	1,36	1,67	1,28	1,43	0,64	
	Mg %	0,23	0,23	0,29	0,30	0,19	0,19	0,25	0,27	0,21	0,11	0,29	0,30	0,32	0,23	0,20	0,20	0,26	0,54	0,18	0,12	0,24	0,22	0,27	0,28	0,28	0,28	0,27	0,39	0,20	0,15	0,43	0,39	0,39	0,28	0,25	0,25	0,24	0,25	0,24	0,12	
	Na %	0,08	0,01	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,01	0,07	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,01	0,05	0,01	0,05	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,14	0,04	0,10	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	
	K %	0,16	0,05	0,13	0,07	0,09	0,09	0,09	0,13	0,06	0,05	0,12	0,06	0,08	0,04	0,06	0,06	0,05	0,11	0,05	0,02	0,07	0,03	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,09	0,04	0,02	0,12	0,07	0,15	0,06	0,07	0,07	0,05	0,12	0,05	0,03	
	P ppm	161	155	159	108	78	78	119	160	79	103	222	198	212	71	55	55	90	149	83	85	82	84	99	78	81	81	112	157	130	83	259	284	168	78	81	85	141	203	84		
	Mn ppm	910	1280	1178	1663	1019	1019	1311	1663	669	506	1606	1235	1518	1131	1131	1385	2167	403	387	333	429	407	1496	1453	1453	1523	783	1002	503	269	328	104	1496	530	530	472	530	466	331		

SOL	Parcel		PGK1										PGK2										PGK4										PGK3									
	Année		2007	2008	2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016	2017	2007	2008	2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016	2017	2007	2008	2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016	2017	2007	2008	2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016	2017
	Date		28/11/07	06/10/08	15/12/09	09/12/09	29/02/10	17/01/13	06/03/14	09/03/15	11/02/16	12/01/17	29/11/07	14/10/08	16/12/09	15/03/11	19/03/12	17/01/13	31/03/14	17/03/15	17/02/16	17/01/17	05/12/07	09/10/08	06/01/10	23/03/11	23/04/12	16/01/13	27/02/14	17/03/15	15/03/16	19/01/17	04/12/07	16/10/08	17/12/09	17/03/11	12/04/12	16/01/13	19/02/14	17/03/15	01/03/16	18/01/17
	Analyses	Element	MOY. n=10	MOY. n=5	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=5	MOY. n=10	MOY. n=5	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=10	MOY. n=5																										
CHNS Humide	pH H2O				5,70	5,46	5,95	5,71	5,53	5,00	5,53				5,27	5,06	5,99	5,84	5,87	5,37	5,24				6,17	6,34	6,00	6,55	5,59	5,87	6,01				6,37	6,13	6,26	6,39	5,85	6,58	5,43	
	N%	0,63	0,32	0,27	0,34	0,28	0,37	0,33	0,47	0,52	0,26	0,65	0,63	0,30	0,30	0,25	0,32	0,38	0,59	0,65	0,27	0,99	0,55	0,41	0,47	0,42	0,42	0,49	0,81	0,60	0,45	0,52	0,56	0,35	0,40	0,40	0,45	0,79	1,08	0,43	0,49	
Capacité d'échange	C%	13,32	4,68	4,88	5,27	5,46	6,17	4,92	10,72	6,75	3,75	13,08	12,92	5,30	5,76	4,57	5,06	6,84	12,36	10,48	3,80	20,87	9,41	6,12	6,22	6,79	4,95	8,17	11,83	8,97	7,33	8,53	8,37	5,75	6,59	6,23	6,57	11,74	10,85	4,71	7,93	
	S%	0,12	0,09	0,09	0,07	0,08	0,08	0,09	0,10	0,08	0,06	0,11	0,09	0,08	0,09	0,08	0,06	0,09	0,10	0,09	0,05	0,14	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,07	0,10	0,10	0,05	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09	0,07	0,05
	méq%	25	16	12	14	14	19	12	25	25	15	26	31	13	13	12	19	14	29	30	14	39	29	17	22	19	24	19	31	32	40	22	27	17	19	18	23	31	36	30	21	
	Ca g/kg	2	1	1	2	1	2	1	1	7	0,4	3	3	1	2	1	1	1	2	20	0,5	7	3	3	4	3	3	4	2	20	1	3	2	2	2	3	7	3	13	1		
	Mg mg/kg	5547	11929	6068	16501	3575	20224	11925	1074	5140	4581	10455	9550	8784	9962	7325	14192	11428	1458	4758	1143	20695	21944	23796	20634	28815	27777	23552	6668	6821	7207	14971	18484	12445	20725	19181	23563	19750	8432	6402	2538	
	Na mg/kg	119	117	74	394	96	86	128	100	94	47	128	126	63	153	88	137	152	128	111	44	152	136	301	241	120	106	218	120	101	53	84	129	81	266	144	115	233	107	92	47	
	K mg/kg	168	40	172	51	45	102	47	141	95	40	82	137	144	155	10	233	68	169	148	44	274	183	277	226	66	178	183	163	164	111	45	119	215	212	45	171	196	177	106	85	
	Fe g/kg	345	432	386	383	425	357	421	199	2108	170	339	334	365	371	396	339	396	178	1927	160	220	321	359	342	329	311	361	161	2084	130	368	347	391	353	369	326	278	166	1975	150	
	Co mg/kg	579	703	662	827	836	675	922	59	75		901	676	915	1130	956	914	1209	313	179		671	1053	1106	1269	1118	951	1414	233	216		1103	1101	901	1116	1149	1064	1086	150	127		
	Cr mg/kg	20805	13870	17766	19096	17651	25544	22762	5904	5199	6471	24258	21714	18727	24250	21511	32329	32615	5620	5731	7190	18510	22373	20286	17758	19097	27317	24538	3324	4125	3525	19746	23564	17129	19292	20038	30112	21444	3853	4204	4705	
Mn mg/kg	4819	5798	4962	6689	6163	4600	6791	3996	3409	3197	7187	5783	6521	8147	5564	8185	9102	5337	5302	4161	6990	13774	10643	10759	10894	9848	12337	5937	5767	6409	8736	9790	7412	10816	8875	8414	10311	4069	5322	5108		
Ni mg/kg	3727	5822	4738	7229	4561	5202	6998	2713	4532	1840	6222	4867	6334	5698	5231	3721	5629	3615	5169	2460	4173	6727	8309	8675	7491	5054	7945	4235	5248	2628	7595	7518	7645	9227	8779	6393	6936	4846	6461	2702		
Al g/kg	23	29	28	28	33	27	30	16	17	17	18	21	25	31	31	23	28	11	10	13	11	18	20	18	18	18	8	9	7	18	18	19	22	20	19	14	7	10	8			
Cu mg/kg	35	39	34	29	48	30	39	29	32	36	30	12	20	32	20	17	19	23	21	22	15	14	23	27	22	21	18	15	19	17	18	14	15	22	23	22	17	15	18	17		
P mg/kg	100	141	141	112	129	136	141	151	143	102	101	143	134	98	111	160	143	153	130	93	138	155	114	124	121	167	165	138	172	100	106	155	153	108	133	184	147	149	147			

Caractéristiques chimiques des parcelles au Pic du Pin

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

Tableau 6 : Caractéristiques chimiques des échantillons de litière et de sol des parcelles permanentes - Pic du Pin (2009, 2011, 2015, 2017)

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

- Les teneurs en Azote (N), Phosphore (P), Potasse (K), Soufre (S) et Calcium (Ca) sont en général plus élevées dans la litière que dans les sols de toutes les parcelles, à l'exception des teneurs en N des échantillons du sol prélevés en 2011.
- Les teneurs en 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), d'Aluminium (Al), Cobalt (Co), Zinc (Zn) et du Cuivre (Cu).
- Les sols sur PP1 à 299m sont moins acides que les sols des pentes sur PP2 (313m).

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

Espèces par année et altitude (m)	N		P		K		Ca		Mg		Na		Mn		S	
	%	Écart	ppm	Écart	%	Écart	%	Écart	%	Écart	%	Écart	ppm	Écart	%	Écart
<i>Garcinia-neglecta</i>	1,10	0,27	405	134	0,55	0,24	1,93	0,74	0,32	0,12	0,16	0,12	686	647	0,17	0,04
2007	0,93	0,22	358	135	0,54	0,13	2,11	0,76	0,36	0,13	0,18	0,05	962	870	0,17	0,03
184	1,10	0,07	480	49	0,47	0,12	2,70	0,23	0,46	0,06	0,17	0,05	1569	871	0,18	0,02
287	0,75	0,16	236	47	0,61	0,09	1,52	0,62	0,26	0,10	0,18	0,05	356	146	0,17	0,04
2008	1,00	0,33	350	147	0,51	0,20	1,87	0,57	0,33	0,13	0,10	0,07	859	976	0,16	0,04
184	1,31	0,09	483	70	0,39	0,16	2,40	0,18	0,43	0,11	0,11	0,10	1437	1127	0,15	0,03
287	0,70	0,06	217	30	0,64	0,16	1,35	0,21	0,23	0,03	0,10	0,03	282	92	0,17	0,05
2009	0,99	0,36	372	184	0,51	0,10	1,82	0,57	0,28	0,10	0,14	0,07	534	533	0,16	0,04
184	1,33	0,09	528	127	0,47	0,10	2,28	0,41	0,36	0,07	0,15	0,08	746	706	0,15	0,04
287	0,64	0,02	217	30	0,55	0,09	1,36	0,22	0,20	0,03	0,13	0,06	323	86	0,18	0,03
2010	1,18	0,05	448	71	0,38	0,08	2,12	0,68	0,38	0,06	0,39	0,28	1142	511	0,17	0,03
184	1,18	0,05	448	71	0,38	0,08	2,12	0,68	0,38	0,06	0,39	0,28	1142	511	0,17	0,03
287																
2011	1,11	0,24	374	159	0,48	0,12	2,02	0,69	0,28	0,09	0,09	0,04	424	327	0,19	0,04
184	1,32	0,06	514	60	0,46	0,11	2,41	0,59	0,34	0,07	0,09	0,03	549	404	0,19	0,03
287	0,90	0,13	235	76	0,50	0,14	1,63	0,57	0,21	0,06	0,10	0,04	299	174	0,20	0,06
2012	1,33	0,22	477	69	0,51	0,08	2,50	0,79	0,41	0,15	0,11	0,05	753	525	0,20	0,07
179	1,26	0,18	443	45	0,52	0,09	2,38	0,90	0,32	0,13	0,13	0,06	716	424	0,20	0,09
184	1,41	0,25	511	77	0,51	0,08	2,63	0,74	0,50	0,10	0,09	0,05	790	661	0,19	0,04
2014	1,29	0,22	549	71	0,64	0,12	2,22	0,42	0,47	0,06	0,24	0,11	1083	569	0,17	0,04
179	1,48	0,13	509	64	0,69	0,14	1,95	0,27	0,45	0,06	0,30	0,11	1095	416	0,15	0,04
185	1,09	0,04	588	58	0,59	0,09	2,50	0,38	0,50	0,07	0,17	0,06	1071	744	0,18	0,05
2015	1,10	0,11	466	78	0,68	0,20	2,16	1,16	0,25	0,05	0,17	0,07	367	304	0,20	0,04
179	1,03	0,08	425	77	0,62	0,16	3,12	0,78	0,24	0,06	0,15	0,07	557	332	0,18	0,04
185	1,17	0,10	507	60	0,74	0,23	1,20	0,33	0,25	0,05	0,18	0,08	176	80	0,21	0,04
2016	1,27	0,05	362	40	1,43	0,07	0,79	0,11	0,22	0,03	0,19	0,03	26	8	0,15	0,01
179	1,24	0,13	442	80	0,54	0,20	1,26	0,37	0,33	0,05	0,10	0,05	405	340	0,12	0,02
185	1,26	0,09	402	73	0,98	0,49	1,02	0,35	0,27	0,07	0,15	0,06	215	302	0,13	0,02
2017	1,08	0,18	362	54	0,34	0,14	1,45	0,33	0,27	0,06	0,10	0,04	593	233	0,13	0,03
179	1,19	0,10	329	58	0,44	0,12	1,31	0,34	0,24	0,05	0,11	0,04	440	86	0,13	0,02
185	0,96	0,17	394	26	0,23	0,05	1,59	0,29	0,30	0,06	0,08	0,03	746	239	0,14	0,03
<i>Gardenia-aubreyi</i>	1,67	0,65	398	120	1,49	0,75	1,04	0,19	0,36	0,10	0,41	0,11	126	153	0,24	0,17
2007	1,39	0,10	356	22	1,43	0,28	1,18	0,13	0,32	0,03	0,49	0,10	65	10	0,16	0,01
179	1,39	0,10	356	22	1,43	0,28	1,18	0,13	0,32	0,03	0,49	0,10	65	10	0,16	0,01
2008	3,11	0,17	648	38	3,05	0,29	0,82	0,20	0,53	0,11	0,43	0,12	418	202	0,61	0,12
179	3,11	0,17	648	38	3,05	0,29	0,82	0,20	0,53	0,11	0,43	0,12	418	202	0,61	0,12
2009	1,55	0,08	339	22	1,20	0,18	1,19	0,17	0,36	0,05	0,46	0,09	72	15	0,18	0,01
179	1,55	0,08	339	22	1,20	0,18	1,19	0,17	0,36	0,05	0,46	0,09	72	15	0,18	0,01
2010	1,49	0,06	315	33	0,98	0,09	1,03	0,11	0,30	0,05	0,35	0,03	75	36	0,15	0,01
179	1,49	0,06	315	33	0,98	0,09	1,03	0,11	0,30	0,05	0,35	0,03	75	36	0,15	0,01
2011	1,31	0,10	404	30	1,25	0,17	0,99	0,13	0,34	0,04	0,46	0,11	97	58	0,20	0,02
179	1,31	0,10	404	30	1,25	0,17	0,99	0,13	0,34	0,04	0,46	0,11	97	58	0,20	0,02
2012	1,26	0,15	342	77	1,11	0,40	1,04	0,13	0,31	0,04	0,29	0,08	48	25	0,18	0,02
179	1,29	0,08	398	59	1,33	0,42	1,01	0,14	0,29	0,05	0,24	0,07	61	31	0,19	0,02
287	1,22	0,21	286	43	0,90	0,27	1,07	0,12	0,33	0,04	0,34	0,07	35	6	0,16	0,01
2014	1,46	0,27	410	109	1,40	0,27	1,03	0,12	0,33	0,04	0,32	0,05	39	7	0,18	0,03
179	1,66	0,20	491	98	1,58	0,20	0,97	0,06	0,30	0,02	0,28	0,01	42	8	0,20	0,04
287	1,25	0,12	328	30	1,21	0,17	1,09	0,14	0,36	0,04	0,37	0,04	35	4	0,17	0,02
2015	1,01	0,13	369	110	1,02	0,38	1,41	0,85	0,25	0,04	0,39	0,17	31	11	0,16	0,02
179	1,10	0,13	429	110	1,22	0,41	0,90	0,25	0,26	0,04	0,26	0,11	36	14	0,16	0,02
287	0,91	0,03	308	76	0,82	0,24	1,92	0,95	0,24	0,03	0,52	0,11	26	4	0,16	0,01
2016	1,19	0,20	342	52	0,82	0,21	1,60	0,25	0,29	0,11	0,25	0,16	256	266	0,14	0,03
179	1,37	0,09	370	56	0,65	0,14	1,64	0,22	0,24	0,09	0,14	0,14	421	299	0,16	0,03
287	1,01	0,03	313	30	1,00	0,10	1,57	0,30	0,35	0,10	0,35	0,10	92	44	0,12	0,02
2017	1,12	0,18	268	48	0,82	0,22	0,63	0,12	0,20	0,04	0,22	0,10	25	7	0,11	0,01
179	1,23	0,19	303	44	0,95	0,18	0,60	0,13	0,17	0,01	0,15	0,07	27	8	0,12	0,01
287	1,00	0,07	233	13	0,69	0,19	0,66	0,11	0,23	0,03	0,29	0,07	22	6	0,11	0,01

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>	1,287	0,153	386	88	0,891	0,259	1,905	0,982	0,373	0,124	0,363	0,16	74	37	0,121	0,022
2007	1,116	0,085	349	30	0,719	0,206	2,269	0,261	0,475	0,073	0,679	0,099	90	22	0,113	0,005
287	1,116	0,085	349	30	0,719	0,206	2,269	0,261	0,475	0,073	0,679	0,099	90	22	0,113	0,005
2008	1,246	0,063	354	37	1,003	0,149	2,27	0,46	0,26	0,041	0,319	0,068	73	21	0,104	0,009
287	1,246	0,063	354	37	1,003	0,149	2,27	0,46	0,26	0,041	0,319	0,068	73	21	0,104	0,009
2009	1,179	0,08	342	34	1,175	0,165	2,199	0,46	0,311	0,083	0,384	0,077	102	24	0,104	0,007
287	1,179	0,08	342	34	1,175	0,165	2,199	0,46	0,311	0,083	0,384	0,077	102	24	0,104	0,007
2010																
287																
2011	1,441	0,103	370	31	0,898	0,228	1,951	0,32	0,368	0,087	0,343	0,116	121	47	0,123	0,016
287	1,441	0,103	370	31	0,898	0,228	1,951	0,32	0,368	0,087	0,343	0,116	121	47	0,123	0,016
2012	1,373	0,137	404	89	0,868	0,273	1,772	0,245	0,386	0,116	0,29	0,114	78	26	0,133	0,01
243	1,386	0,179	476	65	0,824	0,325	1,784	0,34	0,469	0,103	0,275	0,162	62	5	0,132	0,011
287	1,36	0,097	332	23	0,911	0,239	1,76	0,137	0,303	0,051	0,305	0,048	93	30	0,135	0,011
2014	1,389	0,201	418	89	1,033	0,206	2,008	0,316	0,524	0,096	0,369	0,074	88	25	0,131	0,009
243	1,236	0,13	491	56	1,086	0,234	1,782	0,22	0,594	0,065	0,376	0,083	79	28	0,134	0,012
287	1,542	0,124	345	36	0,98	0,185	2,234	0,222	0,453	0,065	0,363	0,073	97	21	0,128	0,004
2015	1,167	0,092	411	51	0,773	0,354	3,019	2,036	0,478	0,105	0,459	0,175	67	16	0,12	0,012
243	1,21	0,054	422	20	0,647	0,305	3,381	2,963	0,469	0,129	0,35	0,117	64	16	0,119	0,014
287	1,123	0,108	401	72	0,899	0,386	2,656	0,465	0,487	0,091	0,567	0,161	70	17	0,122	0,011
2016	1,365	0,061	389	138	0,837	0,195	0,905	0,117	0,279	0,037	0,288	0,065	28	14	0,151	0,024
243	1,367	0,066	516	32	0,796	0,19	0,94	0,096	0,292	0,033	0,251	0,047	30	19	0,163	0,028
287	1,363	0,062	262	39	0,879	0,213	0,87	0,135	0,266	0,04	0,326	0,062	26	5	0,139	0,013
2017	1,277	0,12	409	146	0,764	0,204	0,966	0,303	0,263	0,051	0,192	0,064	40	28	0,105	0,028
243	1,366	0,096	522	118	0,674	0,193	0,709	0,114	0,277	0,061	0,191	0,068	19	3	0,126	0,019
287	1,188	0,061	297	49	0,854	0,191	1,223	0,168	0,249	0,04	0,193	0,067	62	25	0,084	0,017
<i>Xylopiya-sp.</i>	1,40	0,22	565	102	0,80	0,23	1,18	0,34	0,36	0,08	0,26	0,10	102	161	0,17	0,04
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
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
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
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
2009	1,58	0,07	616	23	0,80	0,08	1,09	0,11	0,40	0,05	0,32	0,04	32	6	0,16	0,02
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
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
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
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
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
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
184	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
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
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
2015	1,045	0,28	499	103	0,591	0,167	1,37	0,663	0,315	0,049	0,197	0,063	302	384	0,152	0,034
185	0,785	0,062	426	82	0,441	0,064	1,691	0,793	0,308	0,058	0,143	0,021	578	375	0,15	0,046
243	1,304	0,072	571	66	0,74	0,053	1,05	0,323	0,322	0,044	0,25	0,037	26	8	0,155	0,024
2016	1,468	0,093	466	51	0,876	0,266	1,252	0,496	0,344	0,119	0,204	0,107	116	87	0,157	0,049
185	1,468	0,098	496	46	0,785	0,077	0,892	0,066	0,259	0,065	0,137	0,055	174	93	0,201	0,024
243	1,468	0,098	437	42	0,966	0,365	1,612	0,473	0,43	0,098	0,271	0,107	57	11	0,113	0,009
2017	1,315	0,09	471	139	0,586	0,271	1,184	0,493	0,314	0,118	0,204	0,096	107	77	0,149	0,073
185	1,314	0,113	566	126	0,624	0,283	0,982	0,273	0,226	0,057	0,126	0,044	165	71	0,211	0,042
243	1,317	0,072	377	71	0,547	0,286	1,386	0,608	0,401	0,093	0,282	0,061	50	11	0,086	0,022

Tableau 7 : Teneur foliaire des espèces communes - Forêt-Nord (2007-2017)

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

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

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

Espèces par année et altitude (m)	N		P		K		Ca		Mg		Na		Mn		S	
	%	Écart	ppm	Écart	%	Écart	%	Écart	%	Écart	%	Écart	ppm	Écart	%	Écart
<i>Gardenia-aubryi</i>	1,10	0,20	272	46	0,90	0,28	1,02	0,37	0,33	0,08	0,37	0,12	64	246	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
330	1,15	0,10	294	27	1,10	0,20	0,98	0,07	0,34	0,04	0,44	0,10	35	14	0,16	0,02
2009	1,20	0,37	259	25	0,92	0,17	1,19	0,21	0,37	0,07	0,46	0,09	36	20	0,16	0,02
240	0,69	0,03	241	15	0,91	0,15	0,99	0,11	0,43	0,05	0,55	0,11	29	24	0,16	0,02
250	1,56	0,20	261	24	1,05	0,10	1,25	0,10	0,37	0,06	0,45	0,09	29	8	0,16	0,01
315	1,20	0,37	259	25	0,92	0,17	1,19	0,21	0,37	0,07	0,46	0,09	36	20	0,16	0,02
330	1,35	0,08	284	31	0,69	0,21	1,16	0,18	0,38	0,08	0,36	0,07	30	17	0,15	0,02
2010	1,30	0,10	273	30	0,83	0,24	1,02	0,31	0,34	0,08	0,34	0,05	44	54	0,15	0,03
240	1,35	0,08	284	31	0,69	0,21	1,16	0,18	0,38	0,08	0,36	0,07	30	17	0,15	0,02
250	1,28	0,13	266	19	0,87	0,21	0,89	0,16	0,31	0,07	0,33	0,03	52	18	0,14	0,02
315	1,25	0,10	258	34	0,78	0,30	1,09	0,56	0,38	0,09	0,33	0,05	63	107	0,17	0,04
330	1,31	0,09	284	32	0,99	0,10	0,97	0,11	0,30	0,04	0,34	0,05	32	9	0,14	0,02
2012	1,10	0,13	291	38	1,09	0,29	0,99	0,14	0,36	0,09	0,35	0,10	52	29	0,16	0,02
240	1,22	0,10	317	37	1,11	0,18	0,92	0,10	0,36	0,07	0,35	0,10	70	30	0,17	0,02
250	1,18	0,07	312	20	1,41	0,22	0,99	0,13	0,26	0,03	0,23	0,06	72	23	0,17	0,02
315	0,99	0,06	253	24	0,95	0,23	1,00	0,14	0,42	0,08	0,41	0,08	28	18	0,14	0,01
330	1,01	0,10	282	35	0,92	0,23	1,04	0,17	0,40	0,09	0,39	0,05	40	19	0,16	0,02
2013	1,01	0,13	298	41	0,96	0,20	0,99	0,17	0,34	0,06	0,33	0,10	37	21	0,18	0,03
240	1,04	0,10	330	13	0,89	0,19	0,99	0,28	0,36	0,08	0,32	0,07	24	9	0,18	0,01
250	1,08	0,21	300	54	1,03	0,21	1,02	0,20	0,30	0,05	0,29	0,09	53	22	0,18	0,02
315	0,95	0,05	264	20	0,86	0,20	0,96	0,08	0,38	0,05	0,45	0,10	32	23	0,17	0,01
330	0,99	0,09	298	41	1,05	0,17	0,98	0,11	0,31	0,02	0,26	0,07	41	21	0,19	0,05
2014	1,02	0,16	277	36	1,01	0,21	1,05	0,15	0,37	0,10	0,41	0,09	37	13	0,17	0,02
240	1,04	0,21	308	13	1,10	0,26	1,05	0,13	0,30	0,03	0,37	0,09	38	16	0,18	0,02
250	1,06	0,22	248	29	1,09	0,16	0,96	0,07	0,35	0,11	0,37	0,05	39	13	0,15	0,02
315	0,94	0,06	282	45	0,94	0,25	1,02	0,20	0,41	0,07	0,40	0,06	31	7	0,16	0,01
330	1,05	0,11	270	26	0,91	0,12	1,20	0,10	0,45	0,11	0,53	0,07	40	17	0,18	0,02
2015	1,00	0,11	244	84	0,77	0,41	0,90	0,46	0,26	0,07	0,26	0,14	309	859	0,13	0,02
240	1,25	0,06	298	48	1,05	0,27	0,71	0,15	0,25	0,03	0,29	0,05	28	6	0,14	0,01
250	1,03	0,11	297	58	1,11	0,21	0,61	0,13	0,28	0,05	0,23	0,05	28	16	0,13	0,02
315	1,17	0,06	340	53	1,09	0,20	0,91	0,12	0,27	0,02	0,24	0,07	38	45	0,14	0,01
330	1,13	0,09	315	25	0,85	0,18	0,83	0,05	0,30	0,06	0,32	0,06	32	19	0,13	0,01
2016	1,15	0,11	312	47	1,03	0,23	0,76	0,16	0,28	0,05	0,27	0,07	31	24	0,13	0,02
240	1,17	0,06	340	53	1,09	0,20	0,91	0,12	0,27	0,02	0,24	0,07	38	45	0,14	0,01
250	1,13	0,09	315	25	0,85	0,18	0,83	0,05	0,30	0,06	0,32	0,06	32	19	0,13	0,01
315	1,15	0,11	312	47	1,03	0,23	0,76	0,16	0,28	0,05	0,27	0,07	31	24	0,13	0,02
330	1,11	0,20	269	47	0,94	0,25	1,13	0,44	0,38	0,14	0,38	0,12	42	33	0,15	0,04
2017	1,03	0,17	228	40	0,61	0,18	0,60	0,12	0,24	0,06	0,24	0,08	39	58	0,10	0,02
240	1,14	0,04	265	40	0,70	0,16	0,66	0,09	0,22	0,05	0,30	0,11	30	7	0,12	0,02
250	0,95	0,22	224	32	0,64	0,16	0,56	0,11	0,23	0,05	0,24	0,06	43	37	0,12	0,01
315	1,07	0,17	222	13	0,66	0,16	0,48	0,07	0,22	0,05	0,19	0,07	69	112	0,08	0,01
330	0,97	0,16	202	46	0,44	0,15	0,68	0,09	0,29	0,07	0,22	0,04	16	8	0,09	0,02
<i>Sparattocye 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
2015	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
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									

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

Espèces par année et altitude (m)	N		P		K		Ca		Mg		Na		Mn		S	
	%	Écart	ppm	Écart	%	Écart	%	Écart	%	Écart	%	Écart	ppm	Écart	%	Écart
<i>Garcinia neglecta</i>	0,98	0,22	204	42	0,38	0,15	0,58	0,40	0,21	0,17	0,16	0,09	426	346	0,14	0,06
2015	0,86	0,11	176	13	0,31	0,06	0,30	0,13	0,08	0,04	0,11	0,04	664	310	0,19	0,04
299	0,93	0,06	170	10	0,34	0,04	0,22	0,03	0,05	0,01	0,11	0,04	713	334	0,18	0,02
313	0,78	0,09	183	14	0,28	0,07	0,38	0,14	0,11	0,04	0,12	0,04	615	315	0,19	0,06
2017	1,11	0,23	232	43	0,45	0,19	0,86	0,39	0,34	0,16	0,20	0,11	188	175	0,09	0,03
299	1,32	0,04	259	24	0,56	0,15	0,68	0,13	0,46	0,13	0,21	0,12	147	106	0,09	0,03
313	0,89	0,04	205	41	0,34	0,16	1,04	0,50	0,22	0,07	0,18	0,11	230	231	0,10	0,02
<i>Gardenia aubreyii</i>	1,05	0,11	222	64	0,71	0,29	0,40	0,34	0,15	0,08	0,22	0,08	83	105	0,13	0,03
2015	1,00	0,11	186	33	0,78	0,34	0,14	0,04	0,08	0,01	0,20	0,07	45	32	0,15	0,02
313	1,00	0,11	186	33	0,78	0,34	0,14	0,04	0,08	0,01	0,20	0,07	45	32	0,15	0,02
2017	1,10	0,09	258	69	0,63	0,24	0,66	0,31	0,21	0,07	0,25	0,08	120	142	0,11	0,03
313	1,10	0,09	258	69	0,63	0,24	0,66	0,31	0,21	0,07	0,25	0,08	120	142	0,11	0,03
<i>Sparattocyce dioica</i>	1,15	0,14	214	52	0,57	0,37	0,71	0,66	0,19	0,09	0,16	0,11	509	418	0,13	0,04
2015	1,25	0,09	184	25	0,88	0,24	0,16	0,04	0,12	0,02	0,24	0,08	205	201	0,13	0,02
299	1,25	0,09	184	25	0,88	0,24	0,16	0,04	0,12	0,02	0,24	0,08	205	201	0,13	0,02
2017	1,05	0,11	243	57	0,26	0,08	1,27	0,46	0,27	0,06	0,07	0,03	814	348	0,13	0,05
299	1,05	0,11	243	57	0,26	0,08	1,27	0,46	0,27	0,06	0,07	0,03	814	348	0,13	0,05

Tableau 9 : Teneurs foliaires des espèces d'arbres communes des deux parcelles sur Pic du Pin en 2015 et 2017.

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

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

3.2 Analyse de variance (ANOVA) de la teneur en Azote (N -%) et Soufre (S -%) dans le sol, la litière et les espèces communes

ANOVA des teneurs en Azote total (N- %) et Soufre total (S -%) dans le sol de Forêt-Nord

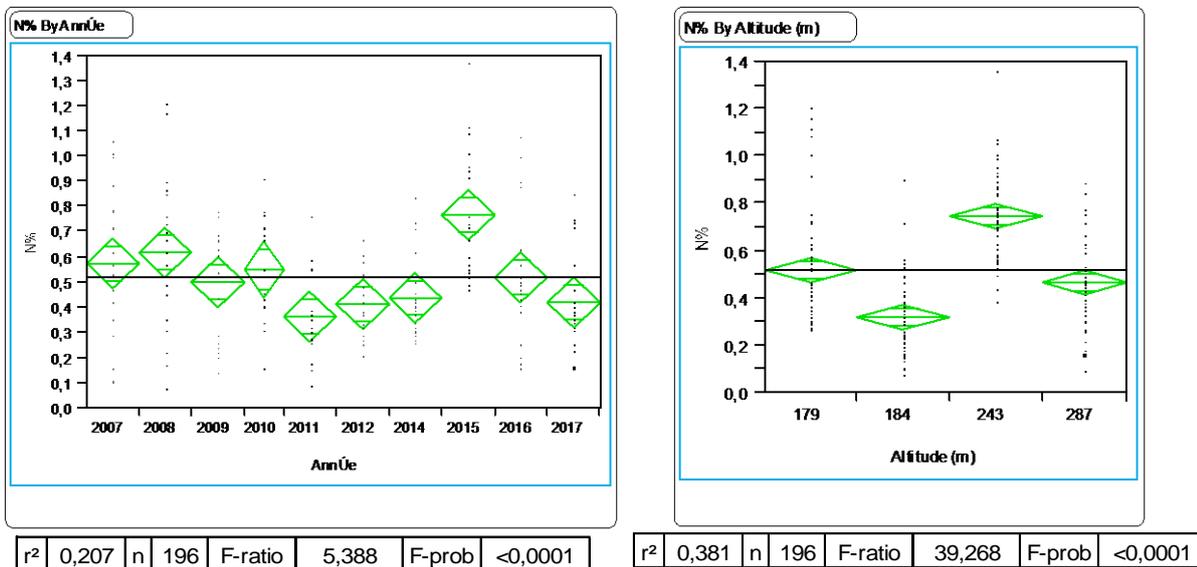


Figure 4 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

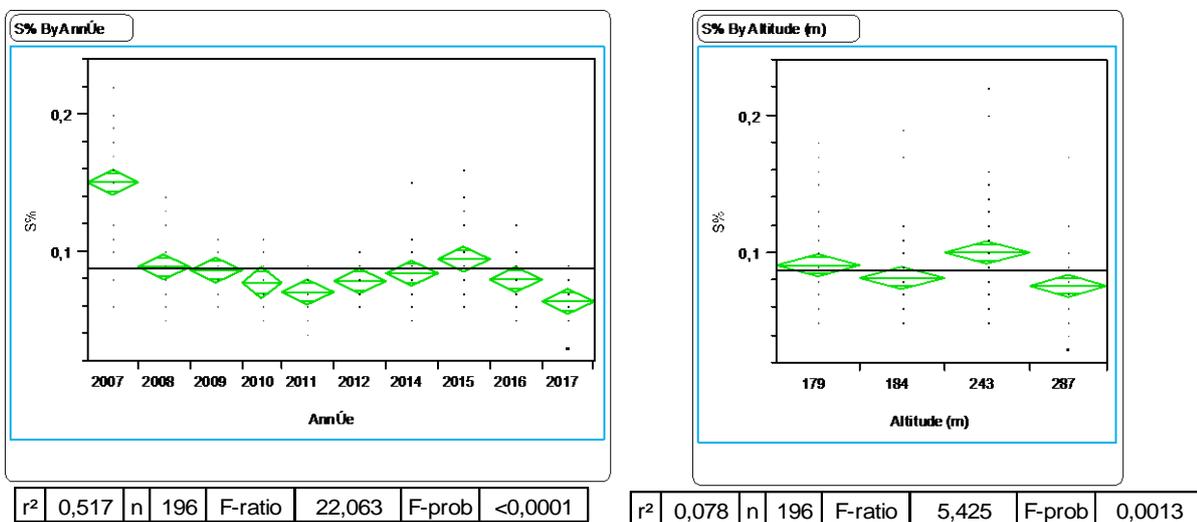


Figure 5 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des sols de Forêt-Nord prélevés sur les parcelles permanentes de 2007 à 2017 montre plusieurs tendances :

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

ANOVA des teneurs en Azote total (N-%) et Soufre total (S-%) dans les sols des parcelles du Pic du Grand Kaori

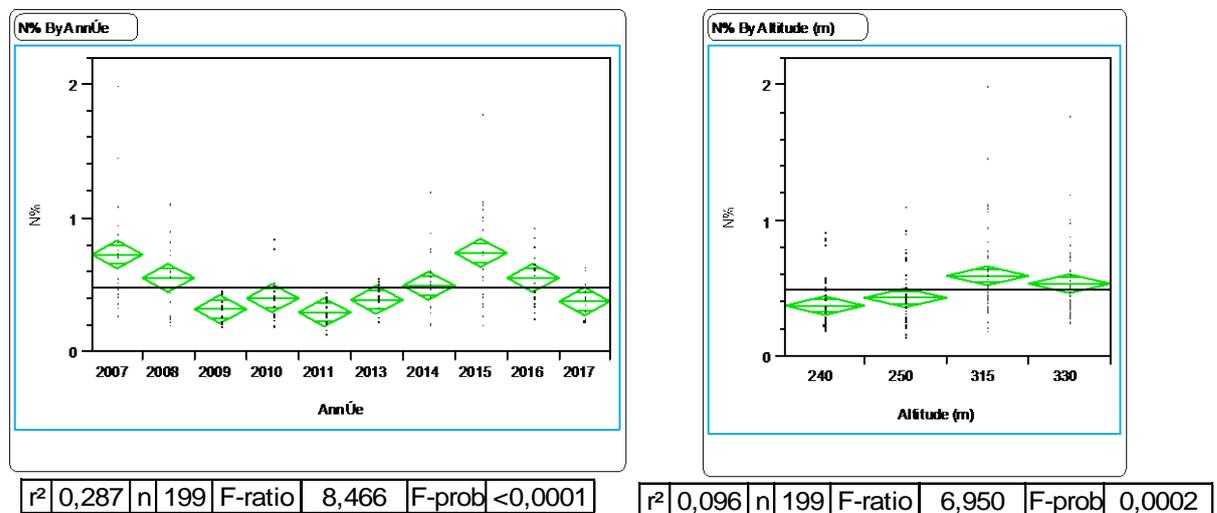


Figure 6 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

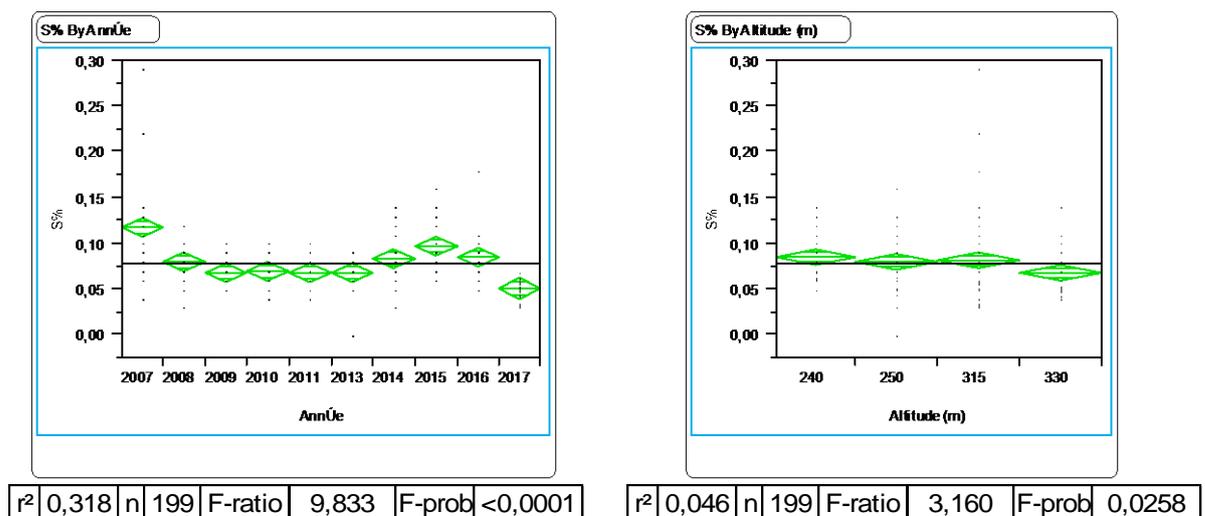
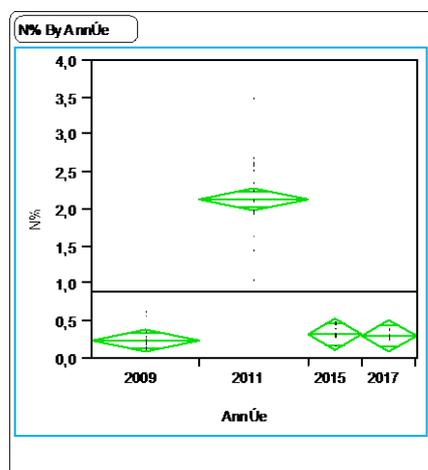


Figure 7 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

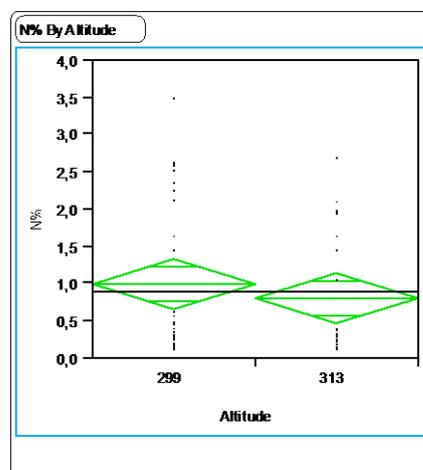
L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des sols du Pic du Grand Kaori prélevés sur les parcelles permanentes de 2007 à 2017 montre plusieurs tendances :

- Les teneurs en N, et S, montrent une diminution significative de 2007 à 2011 suivie d'une augmentation en 2015, suivie d'une diminution notable en 2016.
- Les teneurs en N varient de manière significative entre les parcelles se trouvant à des altitudes différentes.
- La teneur en S diminue de manière légèrement significative avec l'augmentation de l'altitude.

ANOVA des teneurs en Azote total (N- %) et Soufre total (S -%) dans les sols des parcelles du Pic du Pin

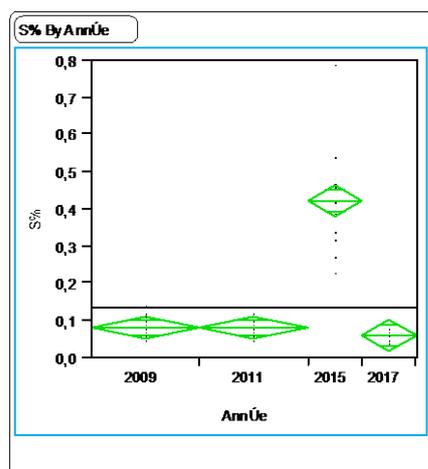


r^2	0,879	n	60	F-ratio	136,360	F-prob	<0,0001
-------	-------	---	----	---------	---------	--------	---------

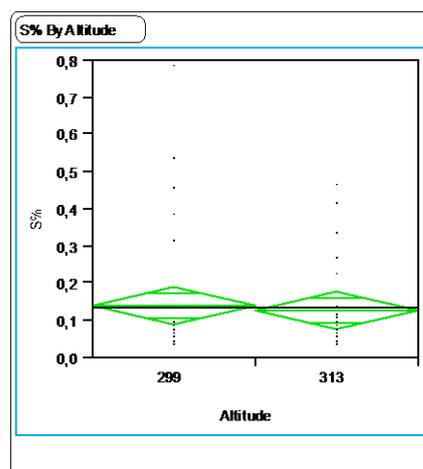


r^2	0,010	n	60	F-ratio	0,594	F-prob	0,4430
-------	-------	---	----	---------	-------	--------	--------

Figure 8 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Pic du Pin selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)



r^2	0,800	n	60	F-ratio	75,007	F-prob	<0,0001
-------	-------	---	----	---------	--------	--------	---------



r^2	0,002	n	60	F-ratio	0,143	F-prob	0,7060
-------	-------	---	----	---------	-------	--------	--------

Figure 9 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Pic du Pin selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des sols du Pic du Pin prélevés sur les parcelles permanentes de 2009, 2011 et de 2015 montre plusieurs tendances :

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

ANOVA des teneurs en Azote total (N-%) et Soufre total (S-%) dans la litière des parcelles de Forêt Nord

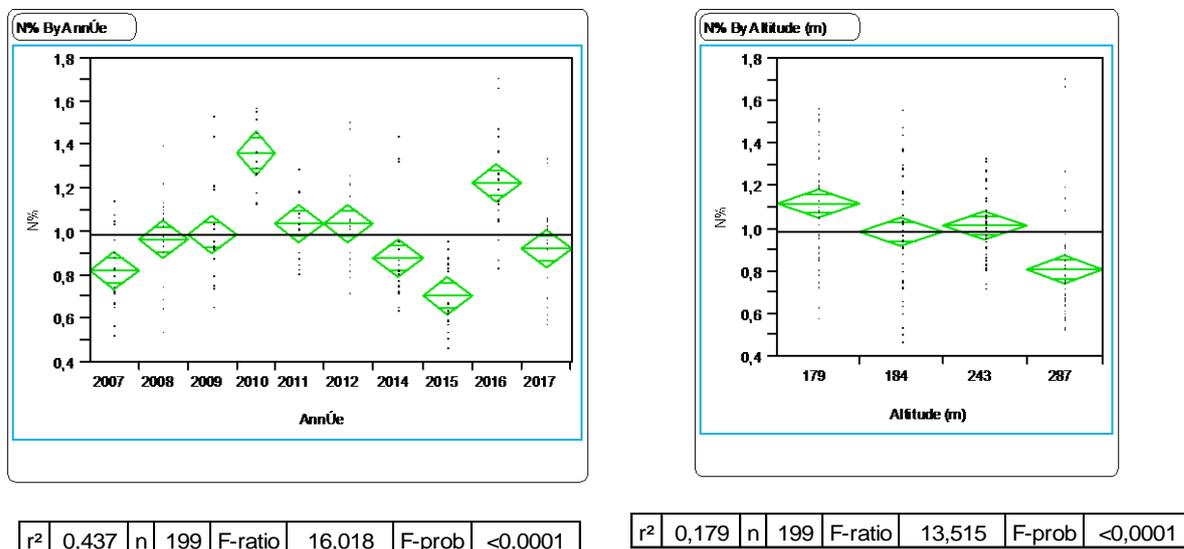


Figure 10 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des litières - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

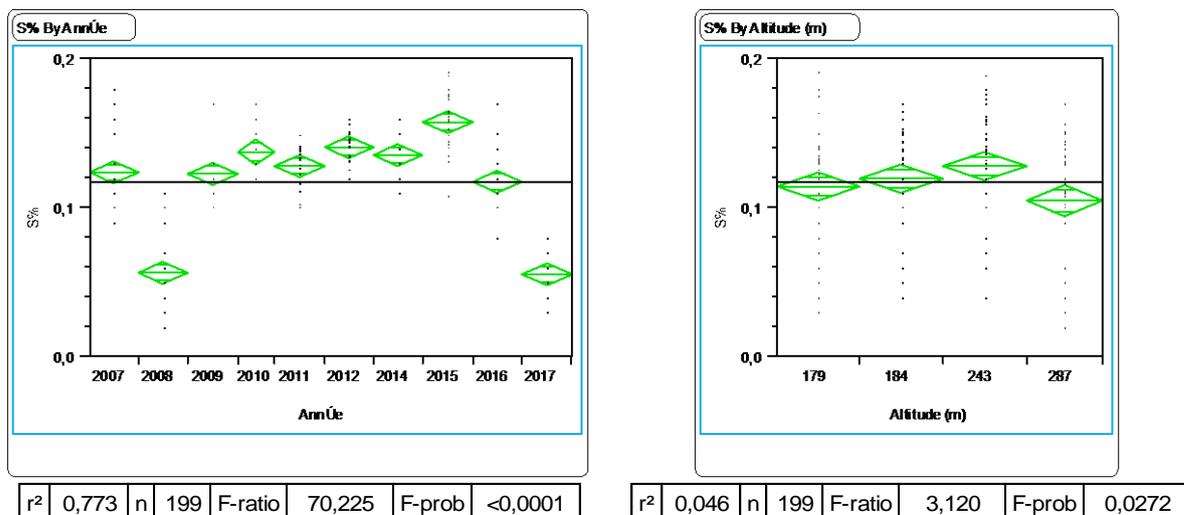


Figure 11 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des litières - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des litières de Forêt-Nord prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2017 montre plusieurs tendances :

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

ANOVA des teneurs en Azote total (N- %) et Soufre total (S -%) dans la litière des parcelles du Pic du Grand Kaori

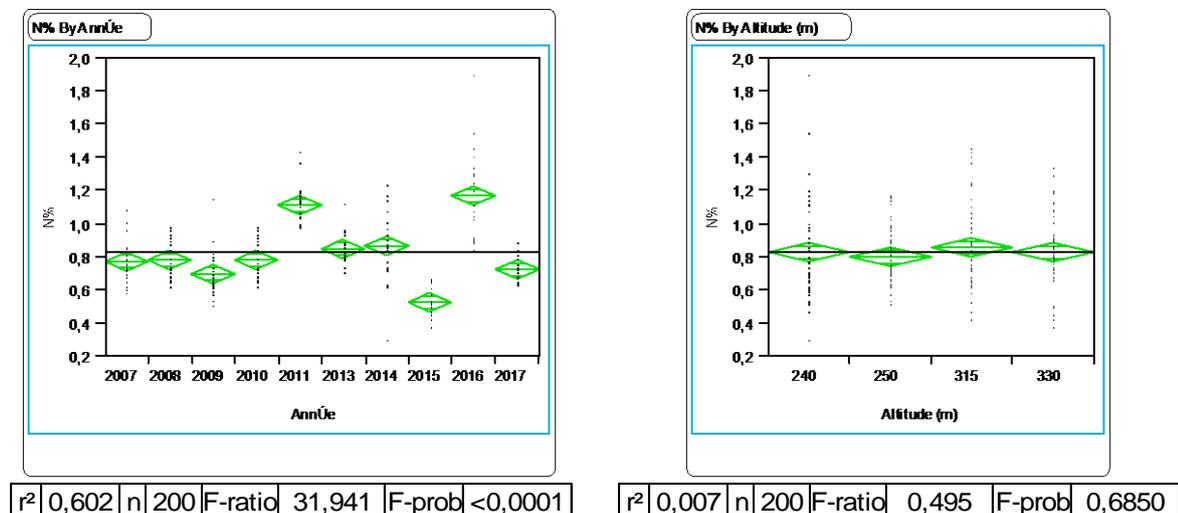


Figure 12 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des litières - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

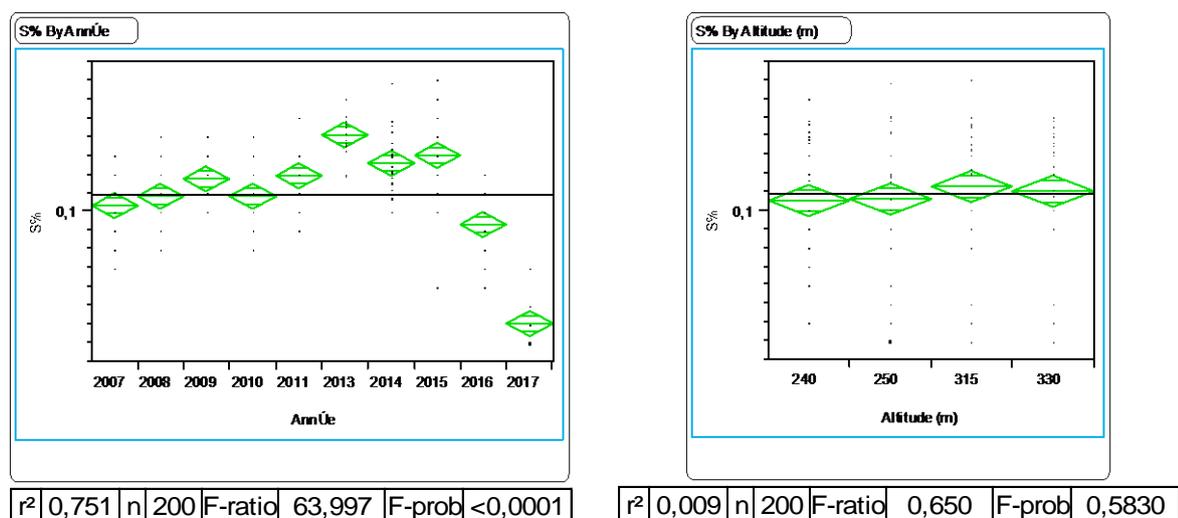


Figure 13 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des litières - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des litières du Pic du Grand Kaori prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2017 montre plusieurs tendances :

- Les teneurs en N montrent une augmentation significative de 2007 à 2011 suivie d'une diminution à 2015 suivi d'une augmentation en 2016 et enfin d'une diminution en 2017, suggérant des variations cycliques.
- Les teneurs en S augment de manière significative entre 2007 et 2015 et ensuite elles diminuent en 2016 à des valeurs semblables à 2007.
- Les teneurs en S varient de manière légèrement significative entre les parcelles selon l'altitude: parcelles hautes contiennent des teneurs en S légèrement plus élevées que les parcelles basses.

ANOVA des teneurs en Azote total (N- %) et Soufre total (S -%) dans la litière des parcelles du Pic du Pin

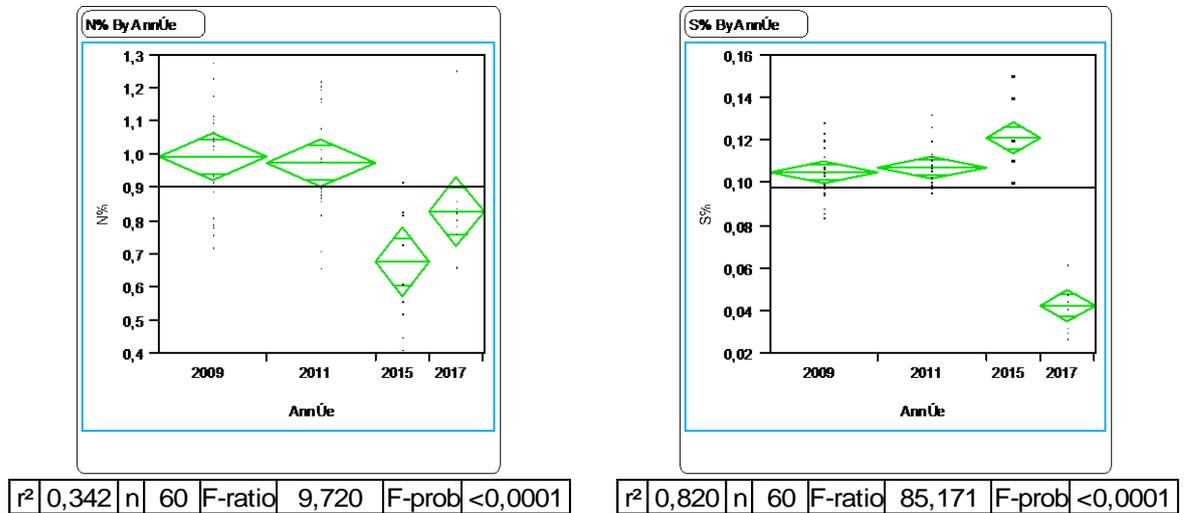


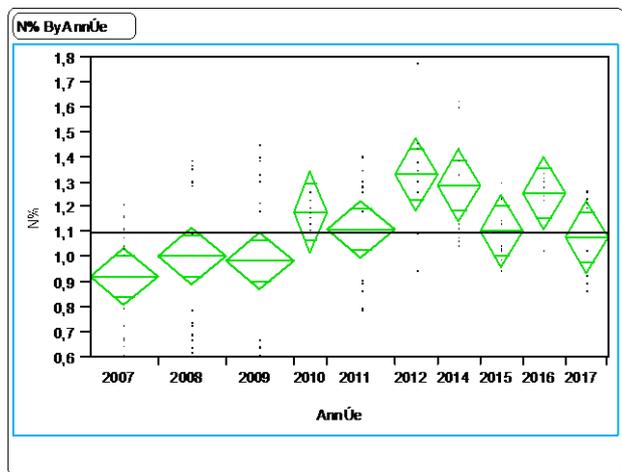
Figure 14 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) et soufre (S-%) des litières - Pic du Pin selon l'année

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des litières du Pic du Pin prélevées sur les parcelles permanentes de 2009 à 2017 montre plusieurs tendances :

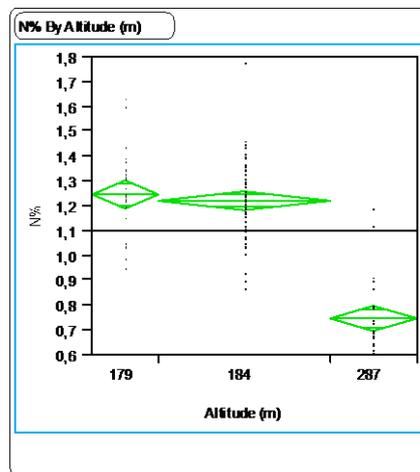
- Les teneurs en N montrent une diminution significative de 2009 à 2015 suivie d'une augmentation en 2017.
- Les teneurs en S montrent une augmentation du 2009 à 2015 et ensuite une diminution significative en 2017.

ANOVA des teneurs en Azote total (N -%) et Soufre total (S -%) dans les feuilles des espèces commun sur les parcelles de Forêt-Nord

Garcinia neglecta (Guttiferae)

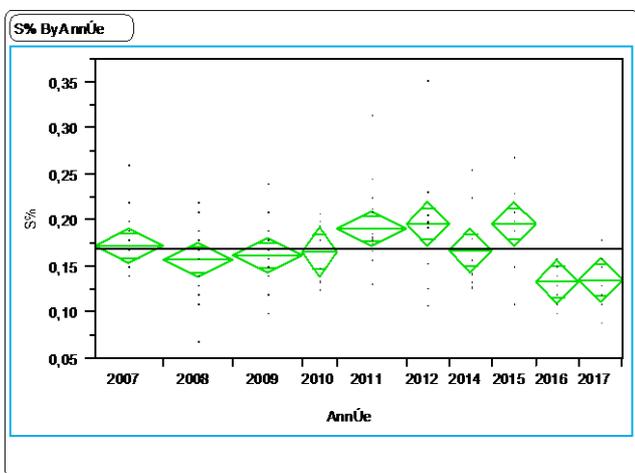


r ²	0,239	n	122	F-ratio	3,910	F-prob	0,0002
----------------	-------	---	-----	---------	-------	--------	--------

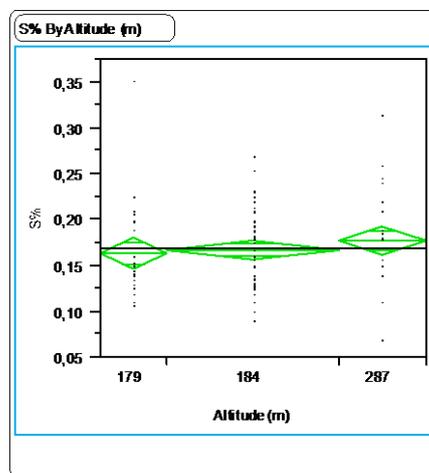


r ²	0,647	n	122	F-ratio	109,080	F-prob	<0,0001
----------------	-------	---	-----	---------	---------	--------	---------

Figure 15: ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Garcinia neglecta (Guttiferae)* - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période 2007 à 2017.

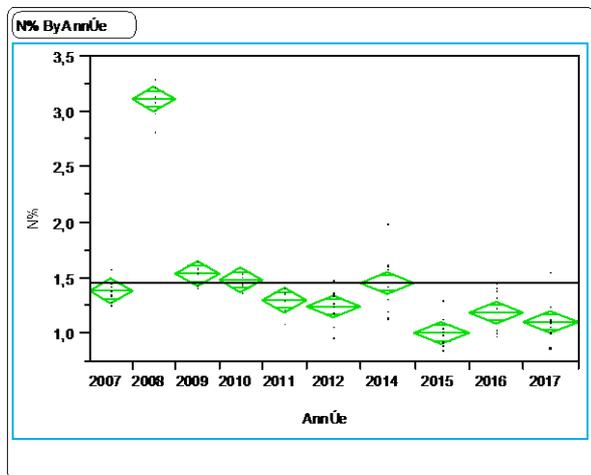


r ²	0,228	n	122	F-ratio	3,530	F-prob	0,0007
----------------	-------	---	-----	---------	-------	--------	--------

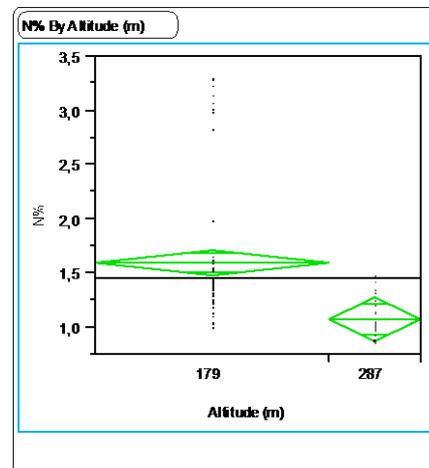


r ²	0,014	n	122	F-ratio	0,848	F-prob	0,4306
----------------	-------	---	-----	---------	-------	--------	--------

Figure 16: ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de *Garcinia neglecta (Guttiferae)* - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période 2007 à 2017.

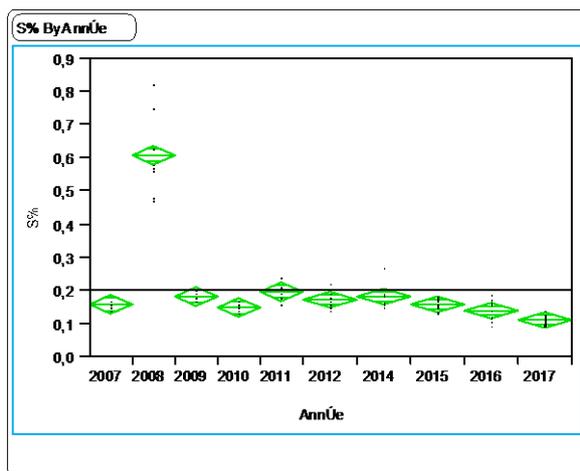
Gardenia aubreyii (Rubiaceae)


r ²	0,927	n	90	F-ratio	113,750	F-prob	<0,0001
----------------	-------	---	----	---------	---------	--------	---------

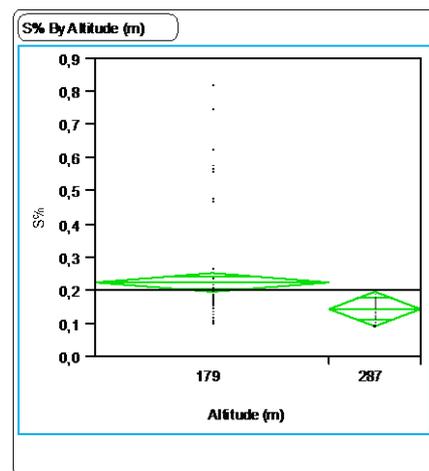


r ²	0,173	n	90	F-ratio	18,430	F-prob	<0,0001
----------------	-------	---	----	---------	--------	--------	---------

Figure 17 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Gardenia aubreyii (Rubiaceae)* - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période 2007 à 2017.



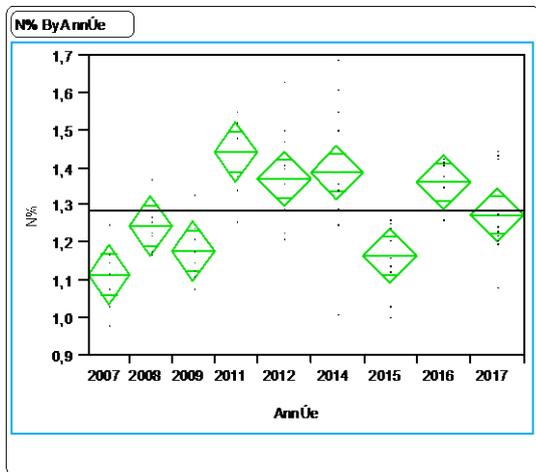
r ²	0,914	n	90	F-ratio	95,282	F-prob	<0,0001
----------------	-------	---	----	---------	--------	--------	---------



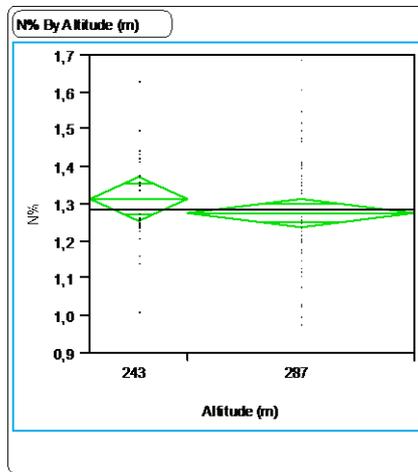
r ²	0,071	n	90	F-ratio	6,790	F-prob	0,0107
----------------	-------	---	----	---------	-------	--------	--------

Figure 18: ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de *Gardenia aubreyii (Rubiaceae)*- Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période de 2007 à 2017.

***Sparattocyce dioica* (Moraceae)**

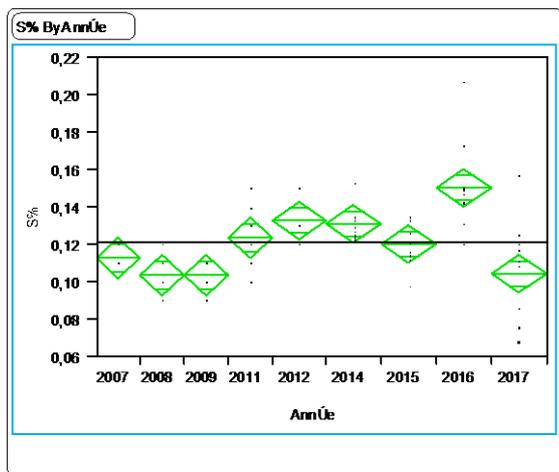


r ²	0,485	n	82	F-ratio	8,615	F-prob	<0,0001
----------------	-------	---	----	---------	-------	--------	---------

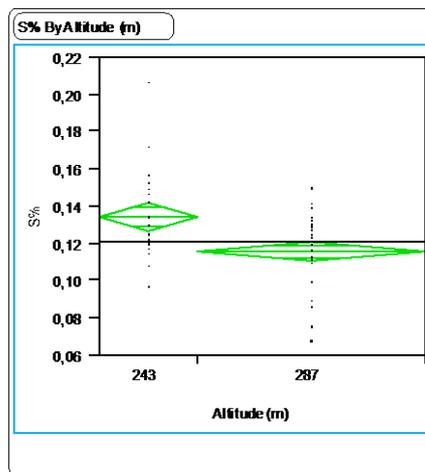


r ²	0,012	n	82	F-ratio	1,001	F-prob	0,32
----------------	-------	---	----	---------	-------	--------	------

Figure 19 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Sparattocyce dioica* (Moraceae) - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période 2007 à 2017.

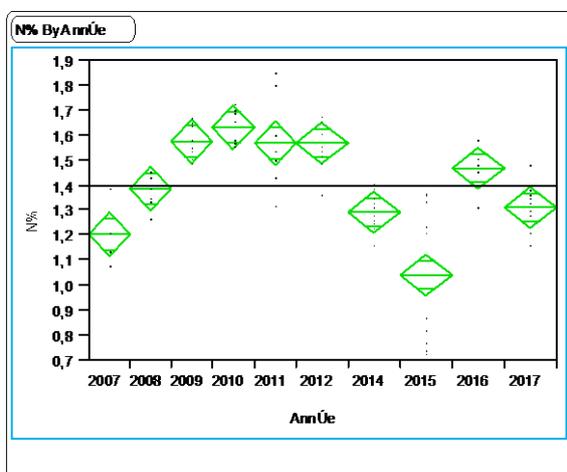


r ²	0,911	n	82	F-ratio	9,540	F-prob	<0,0001
----------------	-------	---	----	---------	-------	--------	---------

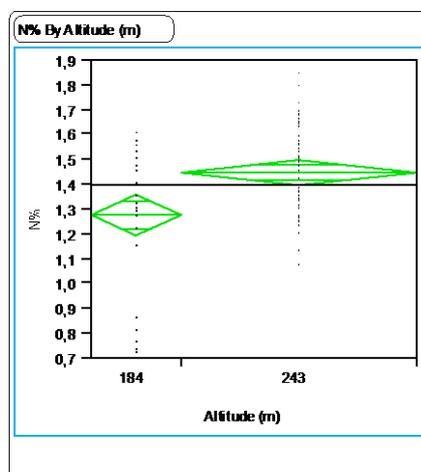


r ²	0,161	n	82	F-ratio	13,356	F-prob	0,0002
----------------	-------	---	----	---------	--------	--------	--------

Figure 20: ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de *Sparattocyce dioica* (Moraceae) - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période 2007 à 2017.

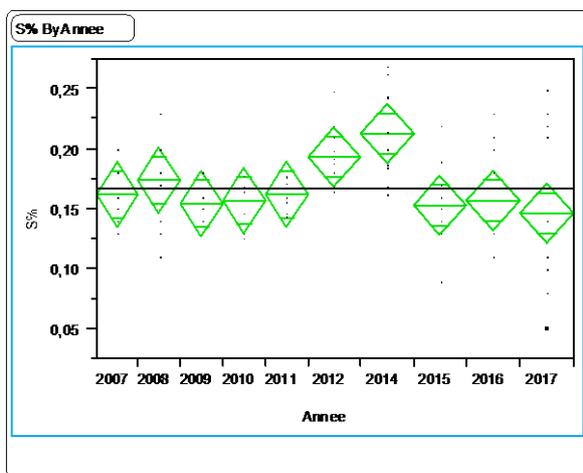
Xylopi* cf. *veillardii


r^2	0,686	n	90	F-ratio	19,447	F-prob	<0,0001
-------	-------	---	----	---------	--------	--------	---------

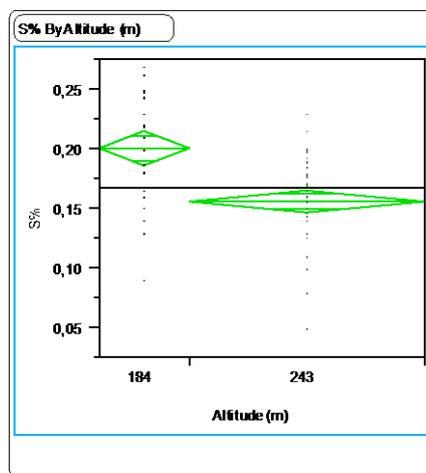


r^2	0,119	n	90	F-ratio	11,900	F-prob	0,0009
-------	-------	---	----	---------	--------	--------	--------

Figure 21: ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Xylopi* sp (*veillardii*) - Forêt-Nord selon l'année (à gauche) et altitude (m) (droite) pour la période 2007 à 2017.



r^2	0,236	n	90	F-ratio	2,750	F-prob	0,0074
-------	-------	---	----	---------	-------	--------	--------



r^2	0,230	n	90	F-ratio	26,376	F-prob	<0,0001
-------	-------	---	----	---------	--------	--------	---------

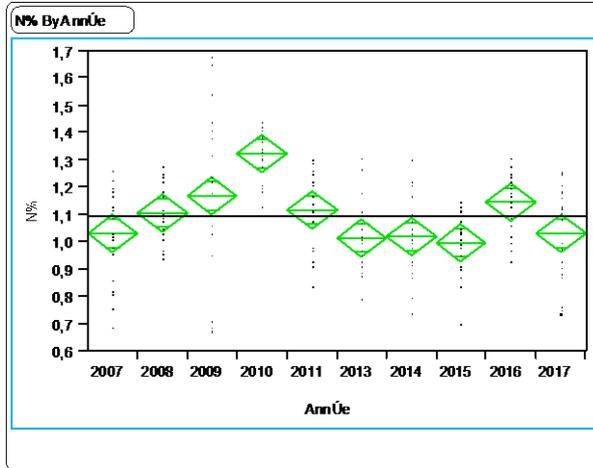
Figure 22: ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de *Xylopi* sp (*veillardii*) - Forêt-Nord selon l'année (à gauche) et altitude (m) (droite) pour la période de 2007 à 2017.

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des feuilles des espèces communes prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2017 à Forêt-Nord montrent plusieurs tendances :

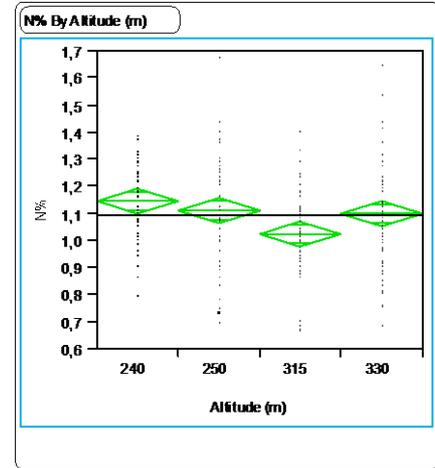
- Les teneurs en N chez *Garcinia* et *Sparattocyce* ont montré une augmentation significative de 2007 à 2016 suivie d'une diminution en 2017.
- Les teneurs en N de *Xylopia* ont montré une augmentation de 2007 à 2011 et ensuite elles diminuent en 2015 pour ensuite osciller en 2016/2017 ; suggérant un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

ANOVA des éléments dans les feuilles des espèces communes sur les parcelles du Pic du Grand Kaori

Gardenia aubreyii (Rubiaceae)

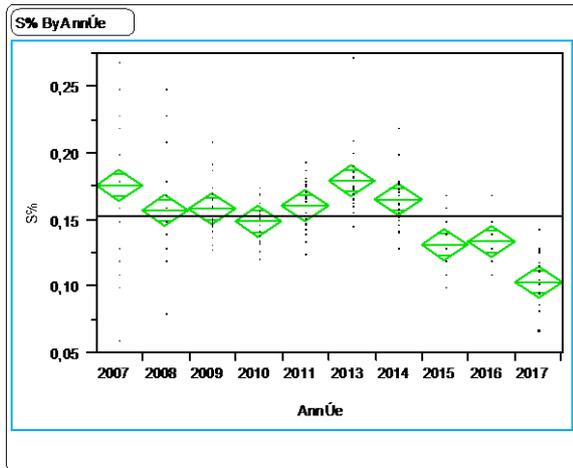


r ²	0,250	n	200	F-ratio	7,070	F-prob	<0,0001
----------------	-------	---	-----	---------	-------	--------	---------

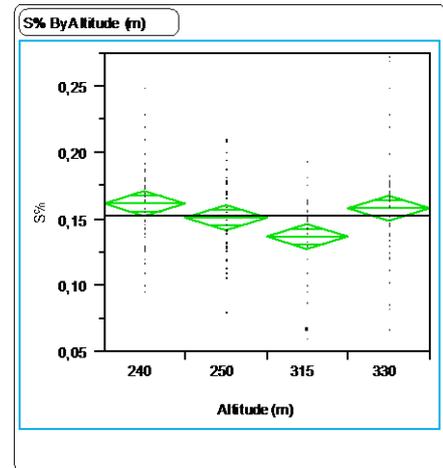


r ²	0,057	n	200	F-ratio	3,990	F-prob	0,0087
----------------	-------	---	-----	---------	-------	--------	--------

Figure 23: ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Gardenia aubreyii*- Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période 2007 à 2017.

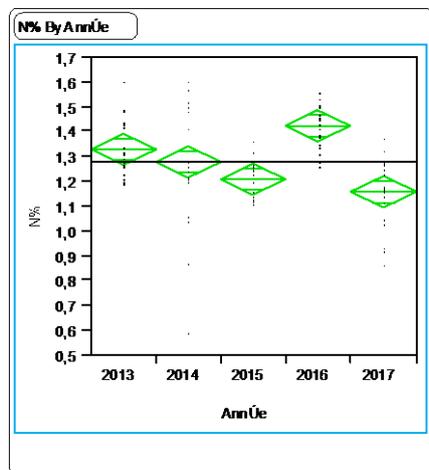


r ²	0,388	n	200	F-ratio	13,400	F-prob	<0,0001
----------------	-------	---	-----	---------	--------	--------	---------

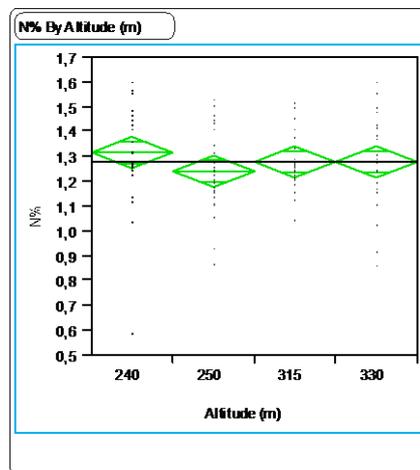


r ²	0,070	n	200	F-ratio	4,980	F-prob	0,0024
----------------	-------	---	-----	---------	-------	--------	--------

Figure 24: ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de *Gardenia aubreyii* (Rubiaceae) - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période 2007 à 2017.

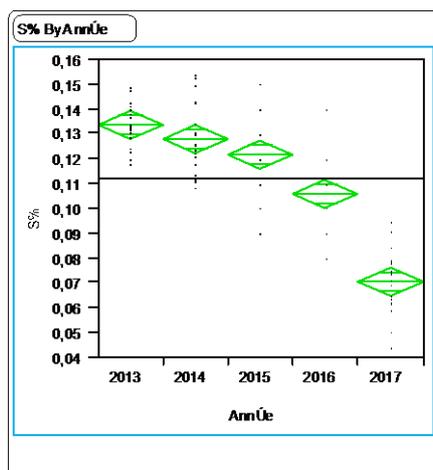
***Sparattocyce dioica* (Moraceae)**


r^2	0,288	n	100	F-ratio	9,620	F-prob	<0,0001
-------	-------	---	-----	---------	-------	--------	---------

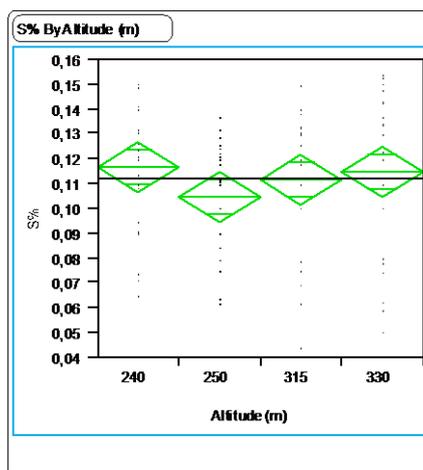


r^2	0,023	n	100	F-ratio	0,786	F-prob	0,504
-------	-------	---	-----	---------	-------	--------	-------

Figure 25: ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Sparattocyce dioica* Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période 2013 à 2017



r^2	0,747	n	100	F-ratio	70,310	F-prob	<0,0001
-------	-------	---	-----	---------	--------	--------	---------



r^2	0,028	n	100	F-ratio	0,950	F-prob	0,4190
-------	-------	---	-----	---------	-------	--------	--------

Figure 26: ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de *Sparattocyce dioica* - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour 2013 à 2017.

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des feuilles des espèces communes prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2017 du Grand Kaori montre plusieurs tendances :

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

- Les feuilles de *Sparattocyce* ont montré une augmentation significative en N de 2012 à 2015 suivie d'une diminution en 2017.
- Les teneurs en S des feuilles de *Sparattocyce* montrent une diminution significative constante de 2012 à 2017.
- Les feuilles de *Sparattocyce* contiennent plus de S sur les parcelles du haut que sur les parcelles du bas. Cette même tendance entre les parcelles est observée pour N, mais elle n'est significative.

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

Gardenia aubreyii (Rubiaceae)

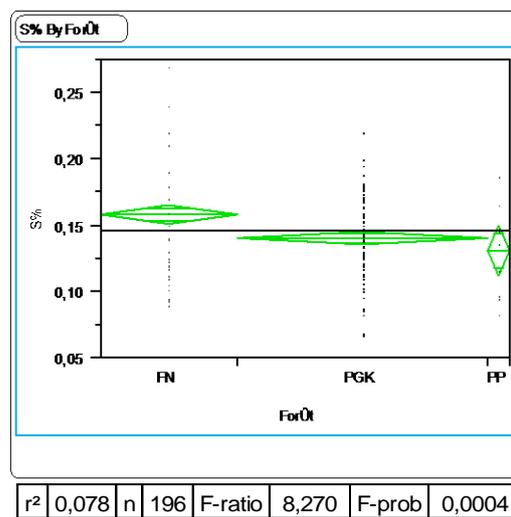
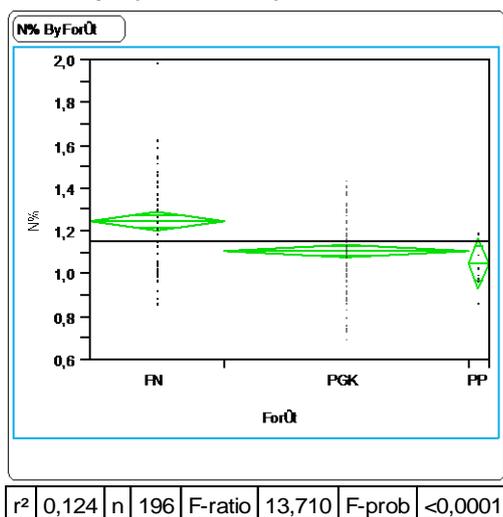


Figure 27: ANOVA teneur en Azote total (N-%) (gauche) et Soufre (S%) (droite) des feuilles de *Gardenia aubreyii* entre Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin.

Sparattoyce dioica (Moraceae)

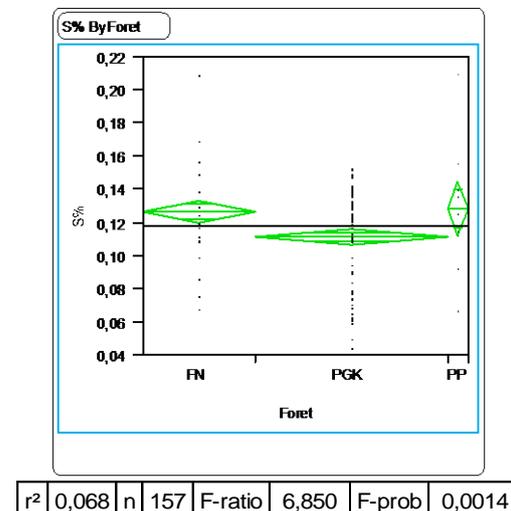
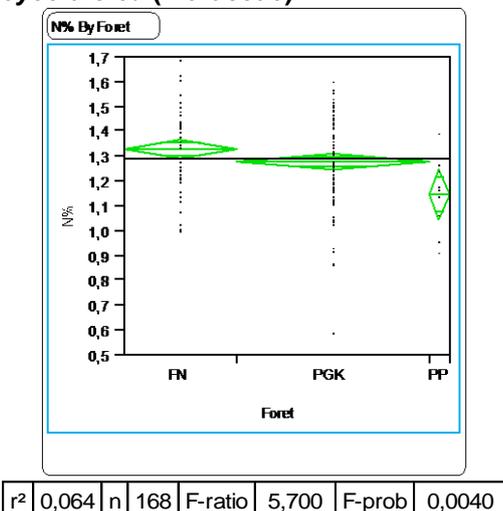


Figure 28: ANOVA teneur en Azote total (N-%) (gauche) et Soufre (S%) (droite) des feuilles de *Sparattoyce dioica* entre Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin

L'analyse de variance effectuée sur les teneurs en N et S des feuilles des *Gardenia* et *Sparattoyce* prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2017 des Réserves de Forêt Nord, du Pic du Grand Kaori, et du Pic du Pin montrent plusieurs tendances.

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

3.4 Analyse de variance (ANOVA) des teneurs en Soufre Isotopique $\delta^{34}\text{S}$ (‰) et Soufre total S (%) des litières à Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin

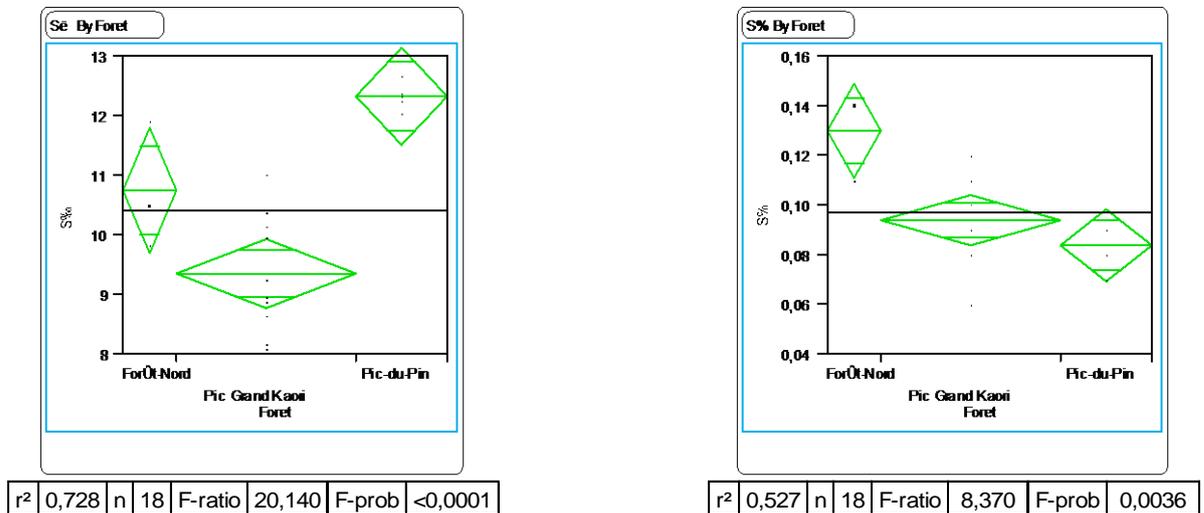


Figure 29: ANOVA teneurs en Soufre Isotope (S‰) (gauche) et Soufre total (S%) (droite) des litières de Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin.

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

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

4. ANALYSE DES RESULTATS

4.1 Bilan général des campagnes de suivis des parcelles permanentes

La campagne de suivi des parcelles permanentes pour la période 2017 a commencé début janvier en Forêt Nord pour se continuer sur le Pic du Grand Kaori à la mi-janvier et se terminer par un prélèvement tardif du sol, de la litière et des feuilles au niveau du Pic du Pin, fin avril 2017, après le passage de cyclone Cook.

Le tableau ci-dessous présente une synthèse du nombre de mesures ou d'éléments analysés dans les sols, la litière et les feuilles en Forêt Nord, au Pic du Grand Kaori et au Pic du Pin, en 2017.

Mesures ou analyses	FN1	FN2	FN3	FN4	FN Total	PGK 1	PGK2	PGK3	PGK4	PGK Total	PP1	PP2	PP Total
Nombre d'échantillons de sols prélevés	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	10
Nombre d'éléments analysée (sol)	24	24	24	24	480	24	24	24	24	480	24	24	240
Nombre d'échantillons de litières prélevés	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20	5	5	10
Nombre d'éléments analysée (litières)	9	9	9	9	180	9	9	9	9	180	9	9	90
Nombre d'espèces prélevées pour analyses foliaires	2	2	2	2	8	2	2	2	2	8	2	2	4
Nombre d'échantillons de feuilles prélevés	20	20	20	20	80	20	20	20	20	80	10	10	20
Nombre d'éléments analysée (feuilles)	8	8	8	8	640	8	8	8	8	640	8	8	160
Total mesures ou analyses par Forêt					1300					1300			490

Tableau 10 : Nombre d'échantillons prélevés sur les trois Réserves (Forêt Nord, Pic du Grand Kaori, Pic du Pin) et analyses chimiques effectuées sur les échantillons de 2017.

Les campagnes de prélèvements des échantillons du sol, de la litière et pour les feuilles ont été effectuées par une équipe de 4 personnes.

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

4.2.1 Evolution de la condition chimique des sols

Les résultats des analyses chimiques des sols des parcelles permanentes de la Forêt Nord et du Pic du Grand Kaori 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 les teneurs en Mg, Ni, Fe et Cr des sols au niveau de la Forêt Nord, du Pic du Grand Kaori et du Pic du Pin se rapprochent d'avantage des sols des forêts humides. Cependant, il y a des variations entre les stations forestières et les données existantes de Read *et al* (2006). Pour la Forêt Nord : les teneurs en N, P, K sont en général les plus élevées et s'approchent de celles des forêts humides. Les sols du Pic du Grand Kaori ont des teneurs en P et K qui sont plus faible et qui s'approchent plutôt des teneurs connues dans les Forêt à *Nothofagus* (dont cette station possède des populations). Les valeurs des sols montrent aussi qu'il y a des variations entre les années (temporelles) pour certains éléments.

Analyses sol	Formations végétales du Sud (Read <i>et al</i> , 2006)			Forêt Nord		Pic du Grand Kaori		Pic du Pin	
	Forêt à <i>Nothofagus</i>	Forêt Humide	Maquis	2007-2016	2017	2007-2016	2017	2009 & 2015	2017
				Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
pH	3.5 - 5.9	4.1 – 6.0	4.4 – 6.1	5,74	5,66	5,86	5,55	5,90	5,94
N (mg g ⁻¹)	0.9 – 3.6	0.7 – 3.8	0.8 – 1.6	0,52	0,42	0,48	0,36	1,02	0,32
P (mg g ⁻¹)	0.07 – 0.24	0.10 – 0.18	0.06 – 0.32	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01
K (mg g ⁻¹)	0.01 – 0.12	0.03 – 0.28	0.04 – 2.10	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Ca (mg g ⁻¹)	0.07 – 1.20	0.40 – 1.15	0.05 – 1.5	3,88	1,25	3,32	0,77	0,57	0,51
Mg (mg g ⁻¹)	0.01 – 60	3.1 – 17	0.4 – 12.0	17,0	30,1	13,8	3,8	6,7	0,9
S (mg g ⁻¹)				0,09	0,06	0,08	0,05	0,08	0,06
Ni (mg g ⁻¹)	0.5 – 6.7	2.3 – 8.5	1.3 – 10.4	6,5	2,7	6,4	2,4	5,5	2,3
Fe (mg g ⁻¹)	50 – 490	270 – 460	290 - 510	313	153	333	154	363	168
Cr (mg g ⁻¹)	2 – 134	25 – 184	14 - 110	21	53	19	54	25	66

Tableau 11 : Caractéristiques chimiques des sols des formations du Grand massif du Sud (Read *et al*, 2006) et valeurs moyennes des stations (2007-2016) et 2017.

L'analyse de variance des teneurs en Azote (N) et Soufre (S) des sols des trois stations forestières montre plusieurs tendances significatives spatiales et temporelles.

En Forêt Nord les teneurs en N et en S ont montré une oscillation en N et S très significative de 2007 à 2017, sur les mêmes années, ce qui suggère plutôt des cycles naturels. Les teneurs N et S sont plus élevées sur FN 2 à 243m d'altitude, suggérant que le cœur de la forêt, sur cette station en piedmont, a un cycle de décomposition assez dynamique comparé aux autres habitats forestiers situés plus en périphérie de lisière (FN4, FN1, FN3).

Sur le Pic du Grand Kaori, l'oscillation en N et S est semblable entre 2007 et 2017, ce qui est significatif. De plus, le pic de 2015 correspondant à la même période qu'en Forêt Nord. Les variations altitudinales des teneurs en N et S dans les sols des parcelles permanentes à Pic du Grand Kaori sont moins importantes qu'en 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 les faibles teneurs en S.

Aucune analyse de variations n'a été effectuée avec les 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 et Pic du Pin entre les valeurs moyennes de 2007-2016 et 2017.

Sites	Distance du source industriel	Date	Analysis #	Area (V/s)	$d^{34}\text{S}_{\text{VCDT}} \times 1000$	S%
SOL_FN1	Proche	10.01.17	K-153220	1,725		0,05
SOL_FN2	Proche	10.01.17	K-153221	2,62	14,53	0,08
SOL_FN3	Proche	12.01.17	K-153222			
SOL_FN4	Proche	11.01.17	K-153223	2,328	13,73	0,07
SOL_PGK1	Moyenne	12.01.17	K-153224	2,233	16,14	0,06
SOL_PGK2	Moyenne	17.01.17	K-153225	1,771		0,05
SOL_PGK3	Moyenne	18.01.17	K-153226	1,69		0,05
SOL_PGK4	Moyenne	19.01.17	K-153227	2,077	14,55	0,06
SOL_PP1	Loin Témoin	26.01.17	K-153228			
SOL_PP2	Loin Témoin	26.01.17	K-153229			

Tableau 12 : Les valeurs teneurs en $\delta^{34}\text{S}$ (‰) et soufre total (%) des échantillons de sol des trois forêts. Les valeurs spectrales (V/s) en rouge indiquent que les valeurs détectables de $\delta^{34}\text{S}$ sont très faible et non enregistrable < 2.

L'évaluation des teneurs en soufre isotopique ($\delta^{34}\text{S}$) sur les trois forêts n'a pas permis de révéler des tendances indicatives d'un signal de soufre d'origine industrielle, comme témoin les résultats entre les sites les plus proches en Forêt Nord et le site témoin éloigné du Pic du Pin. Ces résultats montrent de très faibles teneurs S(%) avec seulement 40% des échantillons avec des valeurs détectables de $\delta^{34}\text{S}$ évident par les faibles pics spectraux (V/s). En absence de source géologique (comme témoin la faible teneur en S% total), les valeurs de $\delta^{34}\text{S}$ enregistrées dans les sols latéritiques des 3 forêts peuvent provenir d'apports des pluies (ex : +10 à +15‰) et d'embruns marins (+21‰) habituellement rencontrés dans les végétations côtières (Winner *et al*, 1978 ; Thode, 1983 ; Mizota & Sasaki, 1996 ; Wynn *et al*, 2013).

4.2.2 Evolution de la condition chimique des litières

La caractéristique chimique des litières des forêts sur latérites en Nouvelle-Calédonie est méconnue (Becquer *et al*, 1995). Le peu d'informations disponibles indique que les teneurs en P, K et Ca en Forêt-Nord et Pic du Grand Kaori sont semblables à celles des analyses effectuées sur des forêts à Mourange (Read *et al*, 2006).

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. Les écarts types des valeurs moyennes enregistrées sur les parcelles permanentes suggèrent que les différences restent faibles comparées aux forêts décrites par de Read *et al*, 2006.

Analyse litière	Formations végétales du Sud (Read <i>et al</i> , 2006)			Forêt Nord		Pic du Grand Kaori		Pic du Pin	
	Forêt à <i>Nothofagus</i>	Forêt Humide	Maquis	2017		2017		2017	
				Moyenne	Ecartype	Moyenne	Ecartype	Moyenne	Ecartype
	(n = 4)	(n = 3)	(n = 4)						
pH	4.7 ± 0.1	5.3 ± 0.2	4.8 ± 0.2						
N (mg g ⁻¹)	1.77 ± 0.03	2.39 ± 0.10	1.13 ± 0.17	0,92	0,217	0,72	0,07	0,83	0,16
P (mg g ⁻¹)	0.125 ± 0.040	0.123 ± 0.050	0.084 ± 0.033	0,14	0,033	0,09	0,02	0,09	0,02
K (mg g ⁻¹)	0.142 ± 0.044	0.147 ± 0.065	0.072 ± 0.023	0,04	0,003	0,03	0,02	0,02	0,01
Ca (mg g ⁻¹)	0.281 ± 0.098	0.700 ± 0.225	0.092 ± 0.015	0,82	0,160	0,58	0,17	0,57	0,13
Mg (mg g ⁻¹)	7.27 ± 2.60	11.47 ± 4.84	5.36 ± 1.48	14,80	5,110	12,50	3,67	12,43	2,86
Mn (mg g ⁻¹)	7.60 ± 2.09	7.32 ± 2.24	3.91 ± 0.961	3,63	3,770	4,32	4,90	7,60	5,01

Tableau 13 : Caractéristiques chimiques des litières des formations du Grand massif du Sud (Read *et al*, 2006) et valeurs moyennes des stations en 2017

L'analyse de variance effectuée sur les teneurs en N et S des échantillons de litières montrent plusieurs tendances.

Les teneurs en N dans la litière de la Forêt Nord montrent une augmentation de manière significative de 2007 à 2010. De 2011 à 2015 les teneurs en N diminuent, pour ensuite osciller en 2016 et 2017 ce qui suggère que les variations en N sont possiblement liés aux cycliques de la décomposition. Ce flux en N notable en Forêt Nord est aussi perçu aussi au Pic du Grand Kaori et pendant la même période. La diminution en N observée au Pic du Pin de 2011 à 2015 peut aussi correspondre aux diminutions observées sur les autres deux forêts.

Les teneurs en S dans la litière de la Forêt-Nord ont une tendance différente que pour l'azote ; elles montrent une augmentation significative entre 2007 et 2015 pour ensuite diminuer en dessous de la moyenne en 2016. L'augmentation en S dans la litière en Forêt Nord entre 2008 et 2015 (au-dessus de la moyenne) peut être liée à des apports atmosphériques. Cependant la baisse en S en 2016 et 2017 suggère plutôt une variation cyclique et naturelle en S, car l'activité industrielle a augmenté lors de la période de 2015 à 2017. Les tendances des teneurs en S dans la litière de Pic du Grand Kaori montrent la même variation de 2007 à 2016 qu'en Forêt Nord suggérant plutôt une origine dans les flux biologiques. Ce flux du cycle biologique en S est aussi observé sur le Pic du Pin, qui est la forêt témoin le plus éloignée des sources industrielles.

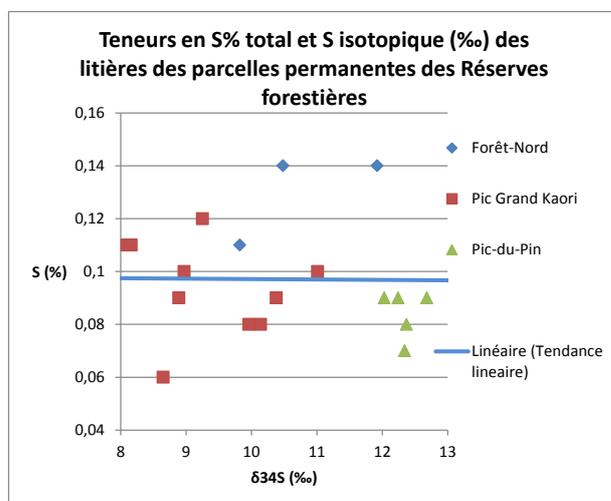
L'analyse de la variance de la teneur des éléments d'origine organique montre que la teneur en azote diminue de manière significative selon l'augmentation d'altitude en Forêt-Nord. Cette différence pourrait être due à la diminution de la biomasse aérienne qui baisse aussi avec l'altitude.

Les teneurs en S montrent une variation inverse selon l'altitude, avec la litière des parcelles du bas contenant des plus fortes teneurs en S. Ceci pourrait être due à des effets localisés de dominance d'une espèce dans la composition de la litière. Au Pic du Grand Kaori, les teneurs en N et S augmentent suivant l'altitude, encore que la différence entre les altitudes soit faible.

Les analyses des échantillons de litières a permis de générer plus de résultats détectables en soufre isotopique $\delta^{34}\text{S}$ que les sols. L'ensemble des valeurs tombent dans une fourche entre +8 et +13. L'analyse de variance a montré que les teneurs en $\delta^{34}\text{S}$ sont significativement plus élevées pour la litière du site témoin de Pic du Pin que sur les autres sites plus proche du site industriel.

A l'inverse, les échantillons de Pic du Pin contiennent des concentrations de S% qui sont significativement plus faibles que les deux autres sites en 2017.

Les valeurs plus élevées en $\delta^{34}\text{S}$ dans les litières de Pic du Pin à faible teneur en S pourraient s'expliquer par une activité métabolique de décomposition plus lente de cette litière (Krouse, 1977 ; Wynne *et al*, 2013) qui est issu d'une canopée quasi mono spécifique de *Nothofagus aequilateralis*. Les litières de la forêt à *Nothofagus* du Pic du Pin est composée de feuilles et branches plutôt de type ligneux avec des faibles teneurs en éléments nutritifs, surtout en N (McCoy, 1991 ; Read *et al*, 2006). La fourchette de valeurs entre +6 et +11 $\delta^{34}\text{S}$ dans les échantillons de Pic du Grand Kaori et Forêt Nord peut correspondre à la gamme des apports des pluies (Heaton *et al*, 1997 ; Wynne, *et al*, 2013) avec une décomposition plus active comme témoignent les teneurs en N de ses litières.



Aucune analyse de variance a été faite 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 la

Forêt Nord ont diminué de manière générale entre les valeurs en moyenne enregistrées pour la période 2007-2010 et après 2011. Cette diminution après 2011 est possiblement due à une diminution des apports des poussières liée à la circulation routière sur la végétation puisque les valeurs en Mn des litières à FN4 et FN1 ont baissé par rapport valeurs après 2011. Effectivement le goudronnage de la route en fin Octobre 2010 a nettement réduit les dépôts poussières latéritique sur la végétation en proximité du CR7 comme en témoignent probablement les réductions en Mn.

4.2.3 Evolution de la condition chimique des arbres

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

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

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

Espèces	Localité	Année	N	P	K	Ca	Mg	Na	Mn	S
			%	ppm	%	%	%	%	ppm	%
<i>Garcinia neglecta</i>	Forêt Nord	2017	1,32	471	0,59	1,18	0,31	0,20	107	0,149
<i>Gardenia aubreyii</i>			1,28	409	0,76	0,97	0,26	0,19	40	0,105
<i>Sparattosyce dioica</i>			1,12	268	0,82	0,63	0,20	0,22	25	0,113
<i>Xylopia veillardii</i>			1,08	362	0,34	1,45	0,27	0,10	593	0,135
<i>Gardenia aubreyii</i>	Pic du Grand Kaori	2017	1,00	175	0,91	1,79	0,74	0,24	24	0,133
<i>Sparattosyce dioica</i>			1,21	199	0,99	3,17	1,11	0,21	77	0,123
<i>Garcinia neglecta</i>	Pic du Pin	2017	0,86	176	0,31	2,99	0,79	0,11	664	0,185
<i>Gardenia aubryi</i>			1,00	186	0,78	1,44	0,83	0,20	45	0,152
<i>Sparattosyce dioica</i>			1,25	184	0,88	1,61	1,16	0,24	205	0,130
Moyenne des espèces communes parcelles permanentes Forêt Nord		2017	1,29	431	0,85	1,55	0,34	0,27	283	0,17
Moyenne des espèces communes parcelles permanentes Pic du Grand		2017	1,10	187	0,95	2,48	0,93	0,23	51	0,13
Moyenne des espèces communes parcelles permanentes Pic du Pin		2017	1,04	182	0,66	2,02	0,93	0,18	305	0,16
Moyenne des espèces communes des parcelles permanentes sur Forêt Nord, Pic du Grand Kaori, Pic du Pin		2017	1,14	267	0,82	2,02	0,73	0,23	213	0,15
Moyenne sur 118 Dicotylédones en forêt sur sol ultramafique (Jaffré <i>et al</i> , 1994 b)			1,34	440	0,86	1,55	0,49	0,25	250	
Moyenne sur 100 Dicotylédones en maquis sur sol ferrallitique ferritique désaturée (Jaffré <i>et al</i> , 1994 b)			0,91	320	0,59	1,10	0,24	0,21	950	

Tableau 14 : Comparaison de la teneur foliaire en 2017 des espèces communes d'arbres de Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin avec les valeurs moyennes des espèces forestières et para forestières décrites par Jaffré *et al* (1994 b)

Le tableau ci-dessus présente une synthèse de la teneur foliaire moyenne de 2017 des espèces d'arbres communs aux parcelles de la Forêt-Nord, du Pic du Grand Kaori et du Pic du Pin, comparée à la teneur dans 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 plus élevées 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* sur le Pic du Pin et en Forêt Nord. Les valeurs élevées de Mn pour peuvent indiquer que cette espèce accumule le manganèse, ou des dépôts de poussières en provenance du trafic routier de la CR7, ou du labourage des plantations sylvicole du Pic du Pin. Les teneurs en phosphore des arbres des stations du Pic du Grand Kaori, de la Forêt Nord et du Pic du Pin sont basses par rapport à celles des espèces de forêt et se rapprochent plutôt des valeurs des dicotylédones de maquis (Jaffré *et al*, 1994b). Cette différence en P est due au faible nombre d'espèces que représentent les valeurs moyennes des forêts suivies (4 espèces).

Les mesures effectuées dans le cadre de cette étude montrent que la teneur en soufre des arbres de *Garcinia neglecta* en Forêt-Nord et au Pic du Pin montrent la même tendance que pour le manganèse : elle est élevée par rapport à celles du Pic du Grand Kaori. Des teneurs élevées en S ont été relevées sur des échantillons de *Gardenia aubreyii*, et *Xylopia cf veillardii* en Forêt Nord. La variation de la teneur en soufre pour ces espèces entre 2007 à 2017 (ref : figure 30) pourrait correspondre à un cycle naturel de soufre variant selon les activités de décomposition plutôt qu'à des émissions de source industrielle, puisque des teneurs élevées on en S ont été enregistrées en 2008 avant la mise en marche des installations industrielles.

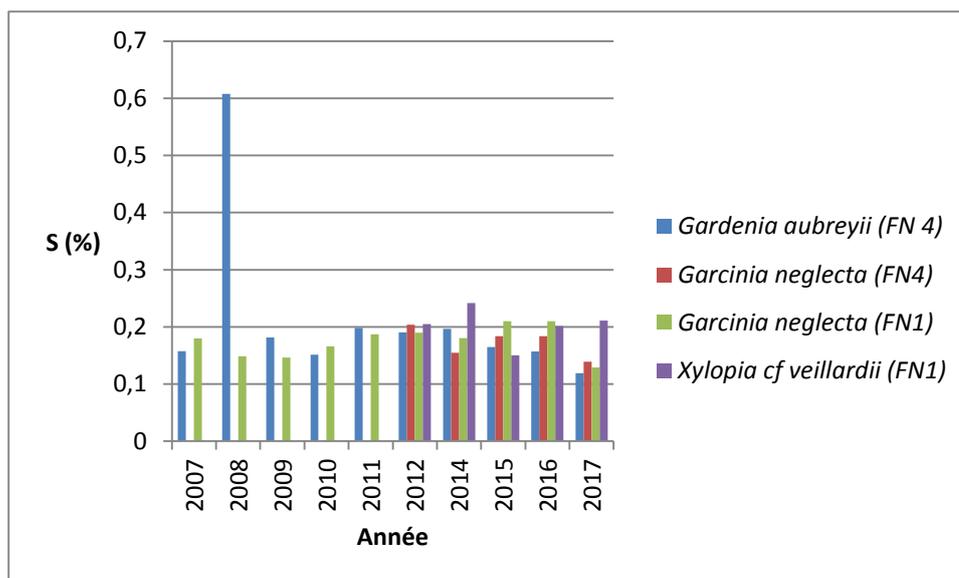


Figure 30 : Teneur moyenne en soufre (S%) des arbres des espèces communes à Forêt-Nord de 2007 à 2017 sur les stations le plus proche des sources des émissions industrielles de l'usine de Vale Nouvelle Calédonie.

L'analyse de variance des teneurs foliaires en Azote (N) et Soufre (S) des espèces communes a permis de montrer certain tendances temporelles et spatiales. La teneur en N dans les feuilles de *Garcinia* ont montré une augmentation significative progressive de 2007 à 2017 en Forêt Nord. *Xylopia* et *Sparattocyce* ont montré une augmentation significative en N suivie par une diminution en 2015 puis une augmentation en 2016 suggérant une variation cyclique d'accumulation. Les feuilles de *Gardenia* en Forêt Nord ont aussi montré des variations significatives de 2007 à 2017 dans leur teneur en N, et les tendances sont semblable que celles sur Pic du Grand Kaori, pour les mêmes années.

Les teneurs en S de *Garcinia* montrent des augmentations légèrement significatives de 2007 à 2015 suivies d'une diminution à 2017. Cette courbe de variation en S avec un pic en 2014/2015 suivi d'une diminution > 2016, est aussi enregistrée pour *Gardenia*, *Sparattocyce* et *Xylopia*.

5. CONCLUSION

5.1 Etat de santé des parcelles

L'année 2016 a été caractérisée par l'opération de l'usine et de la centrale électrique de Prony Energie avec des arrêts pour maintenance pour des durées d'un mois en milieu d'année. Les prélèvements des échantillons du sol, de la litière et des feuilles des arbres des stations forestières en début 2017 a donc été primordiale pour évaluer les impacts cumulés des retombées atmosphériques des opérations des installations de Vale NC et de Prony Energie en 2016. La période d'évaluation de Janvier à Avril en 2017 a été souvent interrompue par des intempéries avec une dépression en Février et le cyclone Cook en Avril. Cependant, le nouveau protocole réduit et simplifié d'échantillonnage, il est appliqué depuis 2012 et il a permis le suivi des stations forestières pour obtenir une bonne idée de l'évolution chimique sur la Forêt Nord et le Pic du Grand Kaori ainsi que sur le Pic du Pin, malgré les mauvaises conditions météorologiques.

Les observations des parcelles permanentes lors des campagnes échantillonnage en début 2017 ont permis de constater des fouilles récentes de cochons sur la parcelle PGK 1 en piedmont du Pic du Grand Kaori. Ces traces de fouilles étaient quasi absentes sur les parcelles sur les éboulis plus hauts (PGK 2, 3, 4). Les fouilles de cochons sauvages se sont étendues sur la moitié de la parcelle (200 m²) sous forme de dépressions des sols remués sur des dizaines de mètres avec des racines exposées et une absence de dépôt de litière. A Pic du Pin les dégâts persistent : les fouilles de cochons constatées en 2011 se sont étendues aux pentes avoisinantes avec des évidences comme des traces d'érosion et des racines exposées. Aucun dégât de cochon n'a été constaté sur les parcelles permanentes de la Forêt Nord.



Figure 31: Dégâts de fouilles récentes de cochons sur la parcelle permanent PGK 1 (à gauche). Traces de fouilles sur la parcelle permanent PP2 de pente au niveau du Pic du Pin, illustrant l'érosion au sol et absence de plantules sur la placette (à droite).

Les mois de Juillet à Décembre 2017 étaient marqués par de longues périodes déficitaires en pluies, typiques d'une sécheresse aggravée. Cette sécheresse a eu des effets très localisés de dépérissement qui ont entraîné la mort de quelques arbustes sur des zones exposées aux vents et à l'évaporation au sol, telles que photographiées en Novembre 2017 sur la lisière de la Forêt Nord au niveau le couloir technique des conduites.



Figure 32 : Dépérissement localisé d'arbuste exposé aux conditions très sèches en lisière de Forêt Nord et en bordure du couloir technique des tuyauteries.

Les prélèvements effectués sur les parcelles de la Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori ont montré plusieurs variations temporelles dans les valeurs chimiques des sols, des litières et des arbres communs en 2017.

N : La première tendance temporelle enregistrée est la diminution significative des teneurs en Azote (N) de la litière de 2010-11 à 2015, suivie d'un pic en 2016, puis d'une baisse en 2017 ; ceci sur l'ensemble des stations forestières (Forêt Nord, Pic du Grand Kaori).

A l'inverse, les teneurs en N des sols de Forêt Nord et Pic du Grand Kaori montrent une diminution significative de 2007 à 2011, suivie d'une augmentation en 2015, suivie d'une diminution jusqu'en 2017. Les résultats des analyses de sol et litières à Pic du Pin montrent des augmentations en N en 2017.

Les feuilles de la plupart des espèces ciblées à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori montrent aussi des courbes d'oscillations semblables à celles de la litière ce qui suggère des phénomènes cycliques naturels de décomposition plutôt qu'une accumulation en N des milieux (liée aux émissions industrielles de NOx.)

S : Les teneurs en soufre de la litière montrent une tendance à augmenter en Forêt Nord et au Pic du Grand Kaori de 2007 à 2011-2013, pour ensuite diminuer à des valeurs en dessous de la moyenne en 2016/2017. Certaines espèces en Forêt Nord et au Pic du Grand Kaori ont aussi des teneurs en S qui varient de manière temporelle (ex : *Gardenia*, *Garcinia*). **Ces variations sont aléatoires et ne correspondent pas avec une augmentation constante associée à une émission industrielle.** De plus les valeurs en S sont largement inférieures à celles rencontrées sur de la végétation soumise à une influence constante d'émissions industrielles (Mankovska, 1997).

Cependant des effets ponctuels d'émissions épisodiques sur Forêt Nord pourraient être pris en considération compte tenu que Forêt-Nord est la plus proche des sources des émissions atmosphériques ; ils pourraient expliquer l'augmentation des teneurs en S de la litière qui sont plus importantes en Forêt Nord qu'au Pic du Grand Kaori. Cela pourrait aussi expliquer pourquoi un plus grand nombre d'arbres échantillonnés en Forêt Nord montrent des teneurs en S qui sont plus élevées qu'aux autres stations forestières plus éloignées.

En conclusion, les résultats de l'étude sur l'état de santé de la Forêt Nord ainsi que sur l'évolution chimique des autres réserves plus distantes des sources d'émissions (Pic du Grand Kaori, Pic du Pin) montrent que les formations sont en bonne santé.

Les teneurs croissantes en S notées en 2010 dans la litière et les espèces communes en Forêt Nord ont diminué en grande partie en 2011, pour descendre en dessous des valeurs moyennes en 2016/2017, laissant suggérer des accumulations épisodiques liées aux apports fait par les cycles de décomposition et la pluviométrie, qui peuvent expliquer les variations, ainsi que des émissions industrielles moins fréquentes vers Forêt Nord avec une meilleure maîtrise du complexe industriel.

Des analyses isotopiques de soufre n'ont pas permis de détecter de valeurs de soufre isotopique vu les faibles teneurs naturelles en soufre des sols latéritiques.

Les valeurs des litières en $\delta^{34}\text{S}$ pour les trois forêts présentent des teneurs proches de celles dues aux apports des pluies, (et non pas des valeurs $> +20$ indicatrices d'un apport industriel constant sur des parcelles permanentes).

Des prélèvements en 2018 des sols et litières des forêts montreront si des variations temporelles en $\delta^{13}C$ existent pour les forêts indicatrices des éventuels apports industriels.

Les dégâts sur les sous-bois liés aux fouilles des cochons sauvages persistent sur le Pic du Pin et ils commencent à s'étendre à des poches localisées sur les piedmonts de Pic du Grand Kaori, qui étaient indemnes de tout passage de cochon selon les observations faites avant 2016. Pas de trace de cochons sauvages en Forêt Nord.

6. RÉFÉRENCES

- Chukhrov, F.V., Ermilova, L.P., Churikov, V.S. and Nosik, L.P. (1980). The isotopic composition of plant sulphur. *Org. Geochem.*, 2, 69-75.
- Heaton THE, Spiro B, Robertson SMC (1997). Potential canopies influences on the isotopic composition of nitrogen and sulphur in atmospheric deposition. *Oecologie* 109: 600-607.
- Isnard, S., L'huillier, L., Rigault, F. and Jaffré, T. 2016. How did the ultramafic soils shape the flora of the New Caledonian hotspot? *Plant Soil*, DOI 10.1007/s11104-016-2910-5.
- 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 ultrabasiqes 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.
- Krouse, H., 1980. Sulphur isotopes in our environment. In: Fritz, P., Fontes, J. (Eds.), *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*. Elsevier Ltd, pp. 435e571.
- Krouse, H.R., 1977. Sulphur isotope abundance elucidate uptake of atmospheric sulphur emissions by vegetation. *Nature* 265 (5589), 45e46.
- 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.
- 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.

Mizota C & Sasaki, A (1996) Sulphur isotope composition of soils and fertilizers: Differences between Northern and Southern Hemispheres *Geoderma* 71 77-93.

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

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

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

Mizota C & Sasaki, A (1996) Sulphur isotope composition of soils and fertilizers: Differences between Northern and Southern Hemispheres *Geoderma* 71 77-93.

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.

Murray F. 2003. Air pollution impacts on vegetation in Australia. In: *Air pollution Impacts on crops and forests: A global assessment.* Edited by L. Emberson, M. Ashmore & F. Murray. pp.103-118. Imperial College Press, London.

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.

Murray, F (2011) Les enquêtes sur la cause du décès d'arbres sur un site industriel de Vale Nouvelle Calédonie: Investigations et rapport d'étape. Murdoch University, Perth, Australia.

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.

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.

Rapport Technique Vale (2011). Investigation sur la cause du dépérissement d'une formation végétale dominée par le chêne gomme en aval du site industriel de Vale Nouvelle-Calédonie : Rapport d'étape. Vale Nouvelle Calédonie, Octobre 2011, 90 Pages.

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.

Thode, HG (1983) Chapter 1 Sulphur isotopes in nature and the environment: An overview. 26 pages.

Tcherkez, G & Tea, I (2013) $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ isotope fractionation in plant sulphur metabolism. *New Phytologist* 200: 44–53 doi: 10.1111/nph.12314

Winner, W.E., Bewley, J.D., Krouse, H.R. et al. (1978). Stable sulfur isotope analysis of SO_2 pollution impact on vegetation. *Oecologia* 36: 351. <https://doi.org/10.1007/BF00348061>.

Wynn, P.M., Loader, N, J., Fairchild, I,J (2014) Interrogating trees for isotopic archives of atmospheric sulphur deposition and comparison to speleothem records. *Environmental Pollution* (187) 98-105.