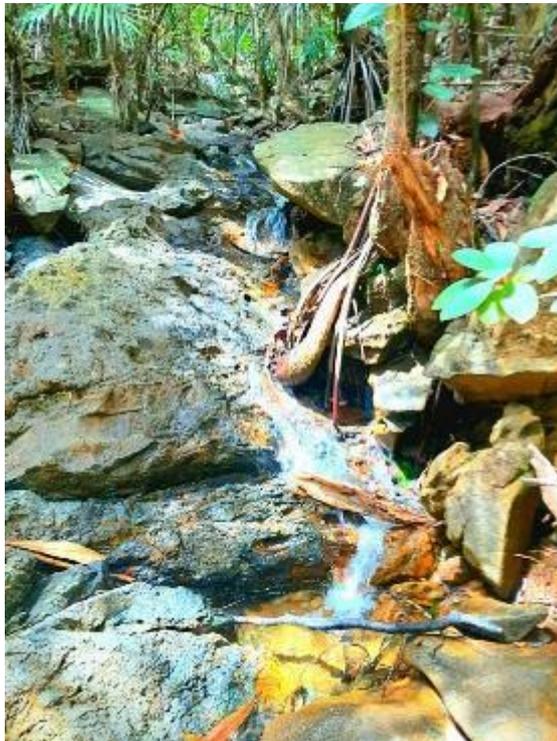




**Suivi de l'état de santé de la flore
des réserves forestières provinciales
à proximité de l'usine
de Prony Resources**

Bilan 2022



**Prony Resources
Mars 2023**

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 Critères et techniques de prélèvement.....	7
2.1.2 Analyses chimiques des échantillons	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 de suivi.	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	20
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>)	35
4. ANALYSE DES RESULTATS.....	37
4.1 Bilan général des campagnes de suivis des parcelles permanentes	37
4.2 Evolution de la condition chimique des sols, des litières et des végétaux communs.....	37
4.2.1 Evolution de la condition chimique des sols	37
4.2.2 Evolution de la condition chimique des litières	38
4.2.3 Evolution de la condition chimique des arbres.....	40
5. CONCLUSION	43
5.1 Etat de santé des parcelles.....	43
6. RÉFÉRENCES.....	47

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 des analyses effectués 2022.....	10
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 2022.....	10
Tableau 4 : Caractéristiques chimiques des échantillons de litière et de sol des parcelles permanentes - Forêt-Nord (2007-2022)	11
Tableau 5 : Caractéristiques chimiques des échantillons de litière et de sol des parcelles permanentes - Pic du Grand Kaori (2007-2022).....	12
Tableau 6 : Caractéristiques chimiques des échantillons de litière et de sol des parcelles permanentes - Pic du Pin (2009, 2011, 2015, 2017, 2022).....	13
Tableau 7 : Teneur foliaire des espèces communes - Forêt-Nord (2007-2022)	15
Tableau 8 : Teneur foliaire des espèces communes - Pic du Grand Kaori (2007-2022)	18
Tableau 9 : Teneurs foliaires des espèces d'arbres communes des deux parcelles sur Pic du Pin de 2015 à 2022.	19
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 2022.	37
Tableau 11 : Caractéristiques chimiques des sols des formations du Grand massif du Sud (Read <i>et al</i> , 2006) et valeurs moyennes des stations (2007-2020) et 2022.	38
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 2022	39
Tableau 14 : Comparaison de la teneur foliaire en 2022 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).....	40

FIGURES

Figure 1 :	Localisation des parcelles en Forêt-Nord, au Pic du Grand Kaori et au Pic du Pin.....	4
Figure 2 :	Techniques de prélèvements de feuilles par échenilloir (à gauche) et sol par truelle (à droite).....	7
Figure 3 :	<i>Gardenia aubreyii</i> (haut gauche), <i>Garcinia neglecta</i> (haut droit), <i>Sparattocyce dioica</i> (bas gauche), <i>Xylopi 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). La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2007 et 2022.	20
Figure 5 :	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite). La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2007 et 2022.	20
Figure 6 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2007 et 2022.	21
Figure 7 :	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2007 et 2022.	21
Figure 8 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Pic du Pin selon l'année (gauche) et l'altitude (droite). La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2009 et 2022.	22
Figure 9 :	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Pic du Pin selon l'année (gauche) et l'altitude (droite). La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2009 et 2022.	22
Figure 10 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des litières - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite). La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2007 et 2022.	23
Figure 11 :	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des litières - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite). La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2007 et 2022.	23
Figure 12 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des litières - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite). La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2007 et 2022.	24
Figure 13 :	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des litières - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite). La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2007 et 2022.	24
Figure 14 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) et soufre (S-%) des litières - Pic du Pin selon l'année. La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2009 et 2022.....	25
Figure 15:	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Garcinia neglecta</i> (<i>Guttiferae</i>) - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période 2007 à 2022. La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2007 et 2022.	26
Figure 16:	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Garcinia neglecta</i> (<i>Guttiferae</i>) - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période 2007 à 2022. La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2007 et 2022.	26
Figure 17 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> (<i>Rubiaceae</i>) - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période 2007 à 2022. La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2007 et 2022.	27
Figure 18:	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> (<i>Rubiaceae</i>)- Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période de 2007 à 2022. La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2007 et 2022.....	27

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 2022. La ligne pointillée présent l'évolution de la tendance linéaire entre 2007 et 2022.....	28
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 2022. La ligne pointillée présent l'évolution de la tendance linéaire entre 2007 et 2022.....	28
Figure 21:	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Xylopiia sp (veillardii)</i> - Forêt-Nord selon l'année (à gauche) et altitude (m) (droite) pour la période 2007 à 2022. La ligne pointillée présent l'évolution de la tendance linéaire entre 2007 et 2022.	29
Figure 22:	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Xylopiia sp (veillardii)</i> - Forêt-Nord selon l'année (à gauche) et altitude (m) (droite) pour la période de 2007 à 2022. La ligne pointillée présent l'évolution de la tendance linéaire entre 2007 et 2022.....	29
Figure 23:	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période 2007 à 2022. La ligne pointillée présent l'évolution de la tendance linéaire entre 2007 et 2022.....	31
Figure 24:	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> (<i>Rubiaceae</i>) - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période 2007 à 2022. La ligne pointillée présent l'évolution de la tendance linéaire entre 2007 et 2022.....	31
Figure 25:	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Sparattocyce dioica</i> Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période 2013 à 2022. La ligne pointillée présent l'évolution de la tendance linéaire entre 2013 et 2022.....	32
Figure 26:	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Sparattocyce dioica</i> - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour 2013 à 2022. La ligne pointillée présent l'évolution de la tendance linéaire entre 2013 et 2022.....	32
Figure 38 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Garcinia neglecta</i> - Pic du Pin selon l'année (gauche) et l'altitude (droite). La ligne pointillée présent l'évolution de la tendance linéaire entre 2015 et 2022.....	33
Figure 39 :	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Garcinia neglecta</i> - Pic du Pin selon l'année (gauche) et l'altitude (droite). La ligne pointillée présent l'évolution de la tendance linéaire entre 2015 et 2022.....	33
Figure 40 :	ANOVA teneur en Azote (N- %)(gauche) et Soufre (S- %) (droit) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> - Pic du Pin selon l'année . La ligne pointillée présent l'évolution de la tendance linéaire entre 2015 et 2022.....	34
Figure 41 :	ANOVA teneur en Azote (N- %)(gauche) et Soufre (S- %) (droit) des feuilles de <i>Sparattosyce dioica</i> - Pic du Pin selon l'année. La ligne pointillée présent l'évolution de la tendance linéaire entre 2015 et 2022.....	34
Figure 27:	ANOVA teneur en Azote total (N-%) (gauche) et Souffre (S%) (droite) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> entre Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin.....	35
Figure 28:	ANOVA teneur en Azote total (N-%) (gauche) et Souffre (S%) (droite) des feuilles de <i>Sparattocyce dioica</i> entre Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin.....	35
Figure 30 :	Teneur maximale en soufre (S%) des arbres des espèces communes de 2007 à 2022 sur les stations à Forêt-Nord le plus proche des sources des émissions industrielles de l'usine de Prony Resources New Caledonia.....	41
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).....	43

Figure 32 : Floraison des arbres émergeant de Candebra à Forêt Nord en Juillet 2021 Prise de vue de par drone de dépérissement localisé de *Cerberiopsis candelabra* sur Forêt Nord associée au fin de fructification et vie de l'arbre en Octobre 2021.....44

INTRODUCTION

Prony Resources a mis en œuvre des plans de suivi des milieux vivants qui sont inscrits dans sa démarche pour la protection de la biodiversité. Ainsi, Prony Resources 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 Prony Resources, 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 Prony Resources représente donc « une première » en la matière. L'étude de Prony Resources 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

Prony Resources 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) à la suite de 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 2022 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.

D'autres perturbations notables par des cochons sauvages comme l'érosion des sous-bois des forêts Forêt Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin, non liées aux activités industrielles, sont 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 dans les rapports de suivi annuel de l'état de santé de la végétation à la Direction de l'Environnement de la Province Sud 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 annuel pour les analyses chimiques, afin de bien documenter les dégâts liés aux cochons, selon les milieux et les altitudes.

1.3 Localisation des parcelles permanentes

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

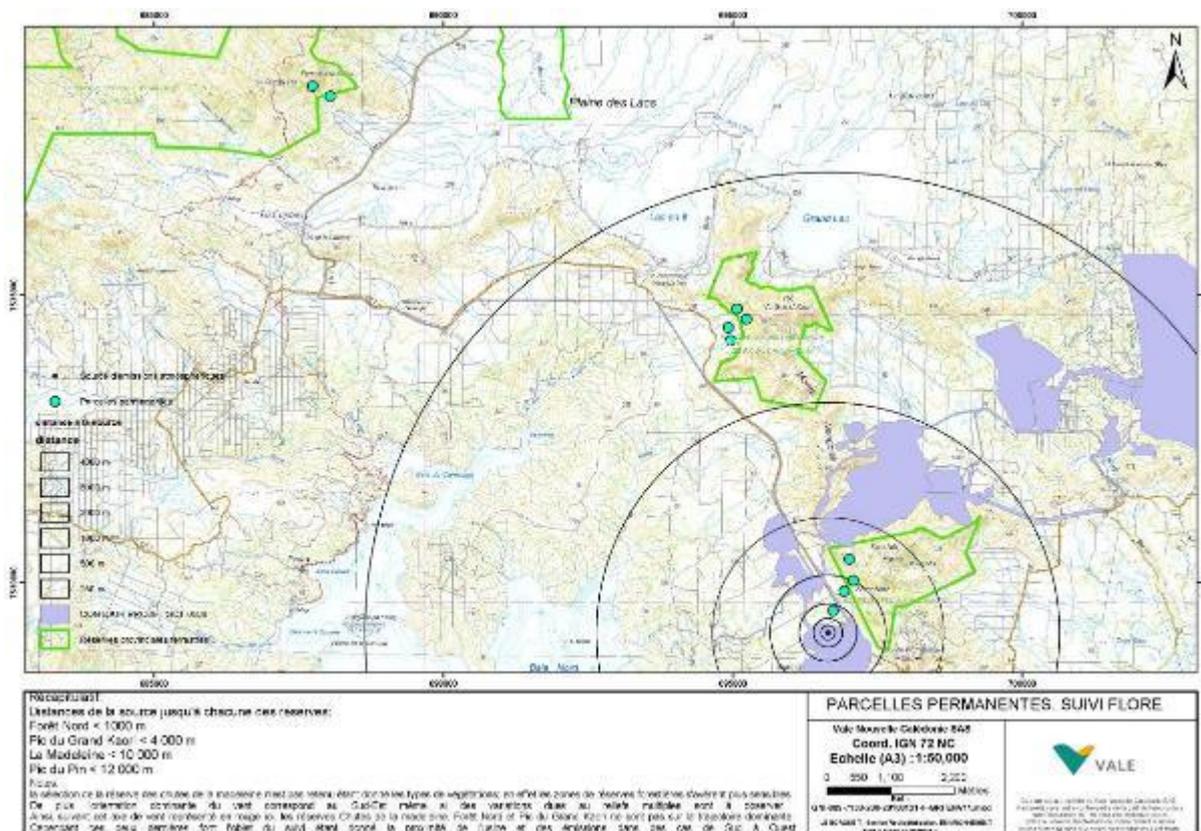


Figure 1 : Localisation des parcelles en Forêt-Nord, au Pic du Grand Kaori et au Pic du Pin

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>Anllastrum</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 de feuilles par échenilloir (à gauche) et sol par truelle (à droite)

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 (figure 2). 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 *Xylopiia vieillardii* (Cf. figure 3).



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.

2.2 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 2022. 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 (2007-2022), le Pic du Grand Kaori (2007-2022) et le Pic du Pin (2015-2022).

Des analyses de variance multifactorielle (MANOVA) ont été appliquées aux bases de données avec le logiciel statistique XLSTAT 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 2022. 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 2022. MANOVA ;
- Comparaison des teneurs en N% et S % des litières de Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori entre 2007 (T0) et 2022. 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 2022. MANOVA ;
- Comparaison des teneurs en N% et S% dans les feuilles des espèces communes de Pic du Pin entre 2015 et 2022. 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.

2.3 Fréquence d'échantillonnage et données disponibles

Le programme d'échantillonnage des parcelles permanentes de 2022 a été réalisé pour la Forêt Nord et le Pic du Grand Kaori en grand partie en janvier 2022, en fonction des périodes de faible pluviométrie.

Le calendrier ci-dessous présente le planning qui a été suivi en 2022 pour les prélèvements et les analyses des parcelles permanentes des stations forestières.

Activité prélèvement, analyse et rédaction	janvier 2022	févr-22	mars 2022	avril 2022	mai-22	juin 2022	juillet 2022	août 2022	septembre 2022	octobre 2022	nov-22	déc-22	janv-23	févr-23
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														
Envoi des échantillons et traitement phytosanitaire par irradiation gamma à Steritech Brisbane														
Remise en état laboratoire UQ suite au inondations Brisbane														
Analyses chimiques effectuées par UQ (Centre Minsite Réhabilitation) pour échantillons des trois Réserves														
Réception des résultats des analyses Chimiques des trois Réserves														
Analyses des données et rédaction rapport 2022														

Tableau 2 : Planning des échantillonnages et des analyses effectués 2022.

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 2022.

Caractéristiques chimiques des parcelles au Pic du Pin

LITIÈRE	Altitude (m)		299								313							
	Année		2009	2011	2015	2017	2018	2019	2022	2009	2011	2015	2017	2018	2019	2022		
	Date		29/06/2009	30/03/2011	28/04/2015	29/04/2017	06/03/2018	12/03/2019	17/03/2022	01/07/2009	05/04/2011	28/04/2015	29/04/2017	06/03/2018	12/03/2019	17/03/2022		
Analyses	Element	Moyenne n=10	Moyenne n=10	Moyenne n=5	Moyenne n=10	Moyenne n=10	Moyenne n=5											
	CHNS Humide	N %	0,96	1,07	0,51	0,91	0,74	0,92	0,94	1,03	0,88	0,84	0,74	0,73	0,82	0,78		
C %		48,47	48,61	46,76	45,84	38,29	47,06	47,49	49,28	52,84	46,33	45,32	43,94	44,05	42,50			
S %		0,11	0,10	0,11	0,04	0,08	0,09	0,05	0,10	0,11	0,13	0,04	0,08	0,08	0,06			
Ca %		1,19	1,06	1,21	0,57	0,04	0,06	0,61	1,21	1,14	1,50	0,57	0,10	0,06	0,54			
Mg %		0,24	0,28	0,24	0,13	1,01	1,10	0,10	0,25	0,21	0,28	0,12	0,87	1,21	0,08			
Na %		0,05	0,03	0,04	0,01	0,18	0,25	0,05	0,05	0,03	0,06	0,02	0,16	0,27	0,03			
K %		0,06	0,08	0,10	0,02	0,03	0,04	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,03	0,03	0,05			
P ppm		110,60	105,80	189,11	91,39	99,60	120,90	56,43	91,40	92,80	124,11	87,27	65,37	82,46	51,01			
Mn ppm		1381,70	2032,01	2099,78	912,80	1662,90	980,57	2454,81	1675,90	1993,30	1547,31	608,07	952,70	911,44	883,45			
SOL		pH			6,09	6,07	5,78	5,75	5,43			5,72	5,82	5,48	5,67	5,43		
	CHNS Humide	N%	0,28	2,38	0,32	0,31	0,49	0,24	0,27	0,19	1,90	0,35	0,32	0,27	0,30			
		C%	53,97	38,94	3,86	5,48	10,62	3,34		37,50	36,12	5,26	4,94	7,97	4,39			
		S%	0,08	0,07	0,06	0,05	0,09	0,02	0,05	0,09	0,09	0,08	0,07	0,10	0,02			
	Conductivité		17,51	10,93	13,71	18,85	138,00		119,70	9,75	6,63	13,42	19,07	163,65	280,90			
			0,61	0,79	0,35	0,33	1,13	0,31	0,63	0,32	0,33	1,28	0,69	1,23	1,10			
	Attaque totale acide/fusion alcaline	Ca-g/kg	8449,13	11628,94	2154,37	1440,42	1466,08	1293,61	437,78	7607,06	4723,90	542,71	445,37	413,08	361,46			
		Na-mg/kg	161,12	251,64	51,10	44,58	1543,14	699,13		295,60	53,08	52,89	37,69	1606,81	768,13			
		K-mg/kg	196,03	110,04	50,75	51,16	535,54	74,96	59,67	154,58	111,03	41,72	49,52	512,56	77,78			
		Fe-g/kg	377,56	362,38	183,25	15,32	210,74	316,38		451,38	427,28	215,88	18,34	266,29	344,15			
		Co-mg/kg	695,11	973,49	189,55		718,90	614,56		622,61	622,39	9,13		374,93	302,64			
		Cr-mg/kg	1598,33	2189,04	4702,91	5666,23	43177,44	6121,31		1508,83	1859,85	6170,67	7544,11	42374,22	7116,54			
		Mn-mg/kg	8364,53	9667,12	7850,58	6744,85	6944,29	7636,92	5186,18	5507,72	6217,80	3688,69	3983,81	3052,78	3698,19			
		Ni-mg/kg	5337,04	7029,18	5023,59	2660,44	3806,40	5104,20		6112,55	4837,94	3436,59	2086,06	3475,40	2696,80			
		Al-g/kg	26,52	29,65	14,72	14,69	18,66	17,56		25,72	26,32	15,02	15,29	17,34	15,59			
Cu-mg/kg		13,63	21,67	22,77	25,92				13,54	21,86	23,77	29,17						
P-mg/kg		93,11	106,84	109,48	106,85	114,06	76,52	58,64	86,79	100,11	112,46	88,38	73,51	54,04				
Zn-mg/kg		190,28	307,93	195,01	233,77	230,41	220,11		270,88	321,85	193,08	263,15	254,57	181,24				

Tableau 6 : Caractéristiques chimiques des échantillons de litière et de sol des parcelles permanentes - Pic du Pin (2009, 2011, 2015, 2017, 2022)

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 prélevées 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 légèrement moins acides que les sols des pentes sur PP2 (313m).

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

Espèce/Année	Altitude (m)	N (%)		P (ppm)		K (%)		Ca (%)		Mg (%)		Na (%)		Mn (ppm)		S (%)		C (%)	
		Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.
<i>Garcinia-neglecta</i>	185	1,12	0,30	387	137	0,50	0,25	1,87	0,73	0,31	0,12	0,15	0,11	712	676	0,16	0,05	45,32	4,21
	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		
2007	185	1,31	0,09	483	70	0,39	0,16	2,40	0,18	0,43	0,11	0,11	0,10	1437	1127	0,15	0,03	45,40	0,69
	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	52,15	0,40
2008	185	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	48,78	3,53
	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	51,66	0,63
2009	185	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	48,62	3,21
	287	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	43,59	1,06
2010	185	1,18	0,05	448	71	0,38	0,08	2,12	0,68	0,38	0,06	0,39	0,28	1142	511	0,17	0,03	43,59	1,06
	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	51,01	2,24
2011	179	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	48,60	2,96
	185	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	45,52	3,98
2012	185	1,41	0,25	511	77	0,51	0,08	2,63	0,74	0,50	0,10	0,09	0,05	790	661	0,19	0,04	45,72	3,11
	179	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	45,62	3,37
2014	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	44,53	1,44
	179	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	44,59	1,07
2015	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	44,76	0,58
	179	1,27	0,05	362	40	1,43	0,07	0,79	0,11	0,22	0,03	0,19	0,03	26	8	0,15	0,01	40,99	0,32
2016	185	1,24	0,13	442	80	0,54	0,20	1,26	0,37	0,33	0,05	0,10	0,05	405	340	0,12	0,02	41,04	1,70
	179	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	41,02	1,16
2017	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	40,34	0,72
	179	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	40,58	0,88
2018	185	1,30	0,25	274	135	0,38	0,47	1,28	0,43	0,18	0,04	0,11	0,02	398	214	0,11	0,07	46,01	5,96
	179	1,10	0,32	395	52	0,33	0,11	1,84	0,27	0,38	0,07	0,09	0,03	1112	594	0,20	0,03	39,58	7,22
2019	185	1,20	0,29	335	116	0,35	0,33	1,56	0,45	0,28	0,11	0,10	0,03	755	565	0,15	0,07	42,79	7,10
	179	0,82	0,11	217	57	0,51	0,16	1,11	0,09	0,22	0,03	0,18	0,07	811	161	0,17	0,02	49,74	1,59
2020	185	1,13	0,30	333	58	0,30	0,06	1,75	0,17	0,40	0,03	0,11	0,03	863	1121	0,16	0,03	42,07	1,73
	179	0,98	0,27	275	82	0,40	0,16	1,43	0,36	0,31	0,10	0,15	0,06	837	755	0,16	0,03	45,90	4,34
2022	185	1,28	0,12	558	105	0,38	0,26	3,02	0,60	0,46	0,05	0,13	0,04	1520	1527	0,19	0,04	42,72	3,01
	179	1,38	0,53	465	160	0,35	0,20	2,43	0,87	0,35	0,12	0,21	0,13	1061	1146	0,18	0,03	42,71	2,11
<i>Gardenia-aubreyii</i>	185	1,33	0,10	298	53	0,25	0,06	1,20	0,18	0,20	0,02			827	220	0,09	0,01	44,08	0,93
	179	1,27	0,10	261	54	0,25	0,05	1,34	0,23	0,18	0,04			517	364	0,11	0,02	44,52	1,18
2007	179	1,36	0,53	350	113	1,13	0,60	1,08	0,41	0,30	0,10	0,34	0,13	108	152	0,19	0,12	45,92	4,85
	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	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		
	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	45,63	0,78
2009	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	45,63	0,78
	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	48,67	0,99
2010	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	48,67	0,99
	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	47,40	1,19
2011	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	47,40	1,19
	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	48,38	0,78
2012	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	48,38	0,78
	287	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	47,97	0,85
2014	179	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	48,44	7,00
	287	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	48,21	4,71
2015	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	50,52	0,31
	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	50,57	0,61
2016	179	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	50,54	0,46
	287	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	46,39	0,39
2017	179	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	46,86	0,30
	287	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	46,62	0,41
2018	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	44,50	0,53
	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	44,76	0,55
2019	179	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	44,63	0,53
	287	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	46,14	0,38
2020	179	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	46,11	0,58
	287	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	46,13	0,46
2022	179	0,92	0,21	314	64	1,02	0,15	0,89	0,23	0,25	0,06	0,19	0,03	85	18	0,17	0,04	41,59	5,73
	287	1,30	0,16	355	61	0,93	0,25	1,58	0,21	0,33	0,07	0,29	0,05	147	37	0,14	0,02	34,63	5,39
2022	179	1,11	0,2																

Espèce/Année	Altitude (m)	N (%)		P (ppm)		K (%)		Ca (%)		Mg (%)		Na (%)		Mn (ppm)		S (%)		C (%)		
		Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	
<i>Sparattosyce-dioica</i>		1,27	0,19	376	99	0,85	0,29	1,73	0,88	0,37	0,13	0,36	0,15	85	57	0,12	0,03	36,59	4,54	
	287	1,12	0,08	349	30	0,72	0,21	2,27	0,26	0,48	0,07	0,68	0,10	90	22	0,11	0,00			
	2007		1,12	0,08	349	30	0,72	0,21	2,27	0,26	0,48	0,07	0,68	0,10	90	22	0,11	0,00		
		287	1,25	0,06	354	37	1,00	0,15	2,27	0,46	0,26	0,04	0,32	0,07	73	21	0,10	0,01	37,98	0,52
	2008		1,25	0,06	354	37	1,00	0,15	2,27	0,46	0,26	0,04	0,32	0,07	73	21	0,10	0,01	37,98	0,52
		287	1,18	0,08	342	34	1,18	0,16	2,20	0,46	0,31	0,08	0,38	0,08	102	24	0,10	0,01	36,28	1,15
	2009		1,18	0,08	342	34	1,18	0,16	2,20	0,46	0,31	0,08	0,38	0,08	102	24	0,10	0,01	36,28	1,15
		287																		
	2010																			
		287	1,44	0,10	370	31	0,90	0,23	1,95	0,32	0,37	0,09	0,34	0,12	121	47	0,12	0,02	37,71	1,47
	2011		1,44	0,10	370	31	0,90	0,23	1,95	0,32	0,37	0,09	0,34	0,12	121	47	0,12	0,02	37,71	1,47
		243	1,39	0,18	476	65	0,82	0,33	1,78	0,34	0,47	0,10	0,27	0,16	62	5	0,13	0,01	35,92	2,32
	2012		1,36	0,10	332	23	0,91	0,24	1,76	0,14	0,30	0,05	0,30	0,05	93	30	0,13	0,01	39,57	0,38
		287	1,37	0,14	404	89	0,87	0,27	1,77	0,24	0,39	0,12	0,29	0,11	78	26	0,13	0,01	37,74	2,48
	2013		1,24	0,13	491	56	1,09	0,23	1,78	0,22	0,59	0,06	0,38	0,08	79	28	0,13	0,01	36,13	1,73
		287	1,54	0,12	345	36	0,98	0,19	2,23	0,22	0,45	0,07	0,36	0,07	97	21	0,13	0,00	36,01	1,18
	2014		1,39	0,20	418	89	1,03	0,21	2,01	0,32	0,52	0,10	0,37	0,07	88	25	0,13	0,01	36,07	1,40
		243	1,21	0,05	422	20	0,65	0,31	3,38	2,96	0,47	0,13	0,35	0,12	64	16	0,12	0,01	33,91	0,55
	2015		1,12	0,11	401	72	0,90	0,39	2,66	0,46	0,49	0,09	0,57	0,16	70	17	0,12	0,01	34,04	0,89
		287	1,17	0,09	411	51	0,77	0,35	3,02	2,04	0,48	0,11	0,46	0,18	67	16	0,12	0,01	33,98	0,70
	2016		1,37	0,07	516	32	0,80	0,19	0,94	0,10	0,29	0,03	0,25	0,05	30	19	0,16	0,03	33,66	1,26
		287	1,36	0,06	262	39	0,88	0,21	0,87	0,14	0,27	0,04	0,33	0,06	26	5	0,14	0,01	33,44	1,50
2017		1,36	0,06	389	138	0,84	0,20	0,91	0,12	0,28	0,04	0,29	0,07	28	14	0,15	0,02	33,55	1,31	
	243	1,37	0,10	522	118	0,67	0,19	0,71	0,11	0,28	0,06	0,19	0,07	19	3	0,13	0,02	41,96	0,46	
2018		1,19	0,06	297	49	0,85	0,19	1,22	0,17	0,25	0,04	0,19	0,07	62	25	0,08	0,02	34,93	1,02	
	287	1,28	0,12	409	146	0,76	0,20	0,97	0,30	0,26	0,05	0,19	0,06	40	28	0,10	0,03	38,44	3,78	
2019		1,11	0,39	414	105	0,66	0,19	1,51	0,26	0,40	0,08	0,30	0,09	131	25	0,13	0,03	28,36	6,88	
	287	1,11	0,20	313	94	0,87	0,18	0,96	0,23	0,27	0,05	0,29	0,03	78	14	0,13	0,02	47,10	4,39	
2020		1,11	0,29	364	108	0,77	0,20	1,23	0,37	0,33	0,09	0,29	0,07	105	34	0,13	0,02	37,73	11,27	
	243	1,42	0,17	389	47	0,84	0,30	1,28	0,10	0,60	0,09	0,43	0,14	47	10	0,12	0,02	32,22	2,24	
2021		1,34	0,17	289	31	1,23	0,18	1,56	0,28	0,27	0,05	0,30	0,08	60	15	0,11	0,03	39,68	6,12	
	287	1,38	0,17	345	65	1,02	0,32	1,40	0,24	0,45	0,19	0,37	0,13	53	14	0,11	0,02	35,95	5,86	
2022		1,43	0,08	551	46	0,87	0,64	1,78	0,32	0,58	0,08	0,44	0,10	241	12	0,15	0,02	35,19	1,34	
	287	1,03	0,28	393	86	0,79	0,18	1,88	0,37	0,38	0,13	0,41	0,10	218	35	0,14	0,02	39,72	4,97	
2023		1,23	0,29	472	106	0,83	0,44	1,83	0,33	0,48	0,15	0,42	0,10	230	28	0,15	0,02	37,45	4,18	
	243	0,95	0,18	275	46	0,50	0,16	0,95	0,18	0,26	0,04			32	13	0,07	0,01	36,72	1,32	
2024		0,99	0,14	200	13	0,46	0,16	0,99	0,14	0,23	0,04			49	17	0,07	0,01	37,20	0,55	
	287	0,97	0,15	237	51	0,48	0,15	0,97	0,15	0,24	0,04			40	17	0,07	0,01	36,96	0,99	
<i>Xylopia-veillardii</i>		1,29	0,35	546	120	0,76	0,24	1,10	0,35	0,33	0,10	0,25	0,10	118	165	0,17	0,05	43,35	5,64	
	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			
	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	1,39	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	46,39	0,85
	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	46,39	0,85
		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	46,52	0,66
	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	46,52	0,66
		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	45,64	0,78
	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	45,64	0,78
		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	47,74	1,71
	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	47,74	1,71
		185	1,54	0,10	647	66	0,89	0,17	1,10	0,13	0,27	0,06	0,18	0,07	145	96	0,20	0,03	46,73	1,22
	2012		1,61	0,09	648	87	0,89	0,16	1,00	0,06	0,29	0,03	0,17	0,05	24	6	0,18	0,01	43,74	0,49
		243	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	45,23	1,80
	2013		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	48,62	5,22
		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	45,94	0,57
	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	47,28	3,78
		185	0,79	0,06	426	82	0,44	0,06	1,69	0,79	0,31	0,06	0,14	0,02	578	375	0,15	0,05	49,91	0,50
	2015		1,30	0,07	571	66	0,74	0,05	1,05	0,32	0,32	0,04	0,25	0,04	26	8	0,15	0,02	45,22	0,89
		243	1,04	0,28	499	103	0,59	0,17	1,37	0,66	0,32	0,05	0,20	0,06	302	384	0,15	0,03	47,56	2,56
	2016		1,47	0,10	496	46	0,79	0,08	0,89	0,07	0,26	0,06	0,14	0,06	174	93	0,20	0,02	41,90	0,51
		243	1,47	0,10	437	42	0,97	0,36	1,61	0,47	0,43	0,10	0,27	0,11	57	11	0,11	0,01	41,90	0,51
2017		1,47	0,09	466	51	0,88	0,27	1,25	0,50	0,34	0,12	0,20	0,11	116	87	0,16	0,05	41,90	0,48	
	185	1,31	0,11	566	126	0,62	0,28	0,98	0,27	0,23	0,06	0,13	0,04	165	71	0,21	0,04	42,61	0,32	
2018		1,32	0,07	377	71	0,55	0,29	1,39	0,61	0,40	0,09	0,28	0,06	50	11	0,09	0,02	33,14	1,63	
	243	1,32	0,09	471	139	0,59	0,27	1,18	0,49	0,31	0,12	0,20	0,10	107	77	0,15	0,07	37,88	5,11	
2019		1,52	0,11	472	44	0,56	0,08	0,93	0,15	0,19	0,04	0,13	0,05	198	72	0,24	0,03	46,95	5,02	
	243	1,32	0,14	530	33	0,67	0,21	0,81	0,16	0,29	0,08	0,20	0,05	77	17	0,15	0,02	40,09	5,00	
2020		1,42	0,16	501	47	0,61	0,16	0,87	0,16	0,24	0,08	0,17	0,06	137	80	0,19	0,06	43,52	5,95	
	185	1,54	0,16	465	23	0,81	0,07	0,86	0,10	0,29	0,09	0,14	0,10	168	125	0,22	0,02	44,88	2,85	
2021		1,42	0,19	443	61	0,80	0,17	0,87												

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**

Espèce\ANNEE	ALTITUDE (m)	N (%)		P (ppm)		K (%)		Ca (%)		Mg (%)		Na (%)		Mn (ppm)		S (%)		C (%)	
		Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.
<i>Gardenia-aubreyi</i>	240	1,10	0,20	253	70	0,90	0,32	1,06	0,47	0,36	0,14	0,37	0,12	67	133	0,14	0,04	46,43	4,26
	250	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	47,58	0,46
	315	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	48,08	1,47
	330	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	48,50	0,42
2007	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	41,43	0,58
		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	46,40	3,04
	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	48,87	0,94
	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	48,81	0,53
2008	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	48,12	0,65
	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	48,22	0,47
		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	48,51	0,72
	240	1,15	0,16	265	22	0,88	0,11	1,26	0,22	0,38	0,07	0,43	0,05	27	14	0,15	0,01	43,88	2,40
2009	250	1,42	0,13	268	32	0,85	0,24	1,28	0,22	0,30	0,05	0,42	0,04	56	17	0,17	0,02	46,94	7,13
	315	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	49,15	0,95
	330	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	41,77	4,78
		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	45,43	5,14
2010	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	49,64	1,30
	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	50,05	1,13
	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	49,23	0,66
	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	49,10	0,56
2011		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	49,50	0,99
	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		
2012	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		
		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	1,04	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	47,69	1,15
	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	47,49	1,33
2013	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	46,46	3,11
	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	47,31	1,06
		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	47,24	1,78
	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	50,87	1,65
2014	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	49,62	0,58
	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	49,19	0,90
	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	50,30	0,36
		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	50,00	1,13
2015	240	1,02	0,06	194	10	0,78	0,13	2,31	0,57	0,94	0,15	0,24	0,05	19	12	0,07	0,01	47,40	0,73
	250	0,84	0,09	167	29	0,86	0,19	2,13	1,00	0,69	0,06	0,28	0,07	42	24	0,06	0,01	47,81	0,45
	315	1,06	0,03	184	26	1,05	0,29	1,38	0,55	0,61	0,13	0,21	0,05	26	22	0,05	0,01	47,96	0,61
	330	1,06	0,07	155	18	0,96	0,32	1,33	0,28	0,73	0,25	0,22	0,09	9	5	0,05	0,00	46,91	0,37
2016		1,00	0,11	175	26	0,91	0,25	1,79	0,75	0,74	0,19	0,24	0,07	24	20	0,06	0,01	47,52	0,66
	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	44,72	0,97
	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	45,66	0,71
	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	44,97	0,71
2017	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	45,55	0,94
		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	45,22	0,87
	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	46,01	0,53
	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	43,98	5,52
2018	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	44,26	5,12
	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	43,58	4,93
		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	44,46	4,24
	240	1,00	0,27	241	69	0,79	0,19	0,71	0,41	0,24	0,07	0,29	0,08	92	29	0,12	0,03	39,41	7,53
2019	250	0,90	0,18	211	19	0,90	0,18	0,79	0,18	0,30	0,11	0,19	0,06	109	60	0,12	0,02	39,76	6,88
	315	0,86	0,15	235	46	0,82	0,12	0,81	0,29	0,26	0,08	0,19	0,09	88	27	0,12	0,03	43,26	6,34
	330	0,97	0,08	150	51	0,51	0,33	0,70	0,28	0,23	0,03	0,18	0,11	187	253	0,10	0,01	47,93	6,80
		0,93	0,18	212	57	0,77	0,24	0,76	0,28	0,26	0,08	0,21	0,09	115	115	0,11	0,02	42,31	7,15
2020	240	1,18	0,20	227	30	1,18	0,15	0,99	0,22	0,29	0,08	0,42	0,11	229	143	0,14	0,01	46,43	5,43
	250	0,95	0,09	280	42	1,01	0,19	0,88	0,12	0,33	0,05	0,39	0,09	59	36	0,14	0,02		

Espèce\ANNEE	ALTITUDE (m)	N (%)		P (ppm)		K (%)		Ca (%)		Mg (%)		Na (%)		Mn (ppm)		S (%)		C (%)	
		Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.
<i>Sparattocyce-dioica</i>		1,31	0,17	288	122,2	0,96	0,476	1,56	0,973	0,48	0,285	0,24	0,092	160	257,5	0,1	0,032	36	3,231
	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	35,31	1,37
	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	35,55	1,44
	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	35,18	0,95
	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	37,12	0,57
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	35,79	1,32
	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	37,42	1,85
	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	38,72	2,66
	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	36,50	0,94
	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	36,08	0,53
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	37,18	1,88
	240	1,25	0,09	203	18	0,86	0,22	2,92	0,93	1,17	0,21	0,22	0,06	70	65	0,04	0,01	36,76	1,06
	250	1,18	0,06	216	61	1,34	0,56	4,27	2,16	0,95	0,44	0,19	0,05	107	72	0,05	0,02	35,14	0,69
	315	1,23	0,05	196	30	0,84	0,35	3,39	1,45	1,12	0,38	0,25	0,05	76	29	0,05	0,01	33,75	0,83
	330	1,18	0,05	181	16	0,91	0,23	2,08	0,40	1,22	0,18	0,19	0,05	56	19	0,04	0,01	35,20	0,83
2015		1,21	0,07	199	36	0,99	0,39	3,17	1,52	1,11	0,31	0,21	0,05	77	51	0,05	0,01	35,21	1,35
	240	1,43	0,11	351	86	0,86	0,15	1,28	0,24	0,35	0,08	0,21	0,06	85	68	0,12	0,02	32,57	1,18
	250	1,46	0,07	514	98	1,10	0,21	1,14	0,24	0,44	0,09	0,17	0,04	88	37	0,09	0,01	33,26	1,65
	315	1,41	0,06	466	60	1,23	0,17	1,35	0,24	0,39	0,13	0,24	0,04	69	23	0,11	0,01	33,47	0,91
	330	1,39	0,11	298	34	0,95	0,20	1,16	0,24	0,40	0,11	0,20	0,06	82	51	0,10	0,01	33,65	0,49
2016		1,42	0,09	407	112	1,04	0,22	1,23	0,24	0,39	0,10	0,20	0,05	81	44	0,11	0,01	33,24	1,13
	240	1,25	0,07	272	39	0,57	0,16	1,03	0,26	0,37	0,07	0,22	0,04	59	27	0,08	0,01	36,84	5,01
	250	1,13	0,11	276	37	0,78	0,15	0,75	0,09	0,37	0,10	0,13	0,02	53	13	0,07	0,01	37,30	4,99
	315	1,20	0,10	225	63	0,69	0,13	0,72	0,17	0,23	0,09	0,18	0,06	39	8	0,07	0,01	37,02	5,54
	330	1,07	0,21	234	16	0,66	0,13	0,55	0,22	0,31	0,10	0,18	0,04	42	17	0,06	0,01	36,98	4,87
2017		1,16	0,14	252	45	0,67	0,15	0,76	0,25	0,32	0,10	0,17	0,05	48	18	0,07	0,01	37,04	4,69
	240	1,28	0,10	233	50	0,54	0,08	1,07	0,46	0,35	0,12	0,21	0,08	140	39	0,10	0,01	32,52	2,21
	250	1,27	0,34	233	32	0,75	0,20	0,95	0,24	0,34	0,11	0,17	0,05	144	51	0,09	0,01	31,79	6,24
	315	1,36	0,13	239	45	0,63	0,23	0,94	0,17	0,34	0,12	0,19	0,10	171	55	0,10	0,02	34,54	3,31
	330	1,22	0,26	280	27	0,68	0,10	1,04	0,24	0,34	0,16	0,22	0,08	139	48	0,10	0,02	36,51	6,83
2018		1,28	0,22	248	42	0,65	0,17	1,00	0,28	0,34	0,12	0,20	0,08	148	47	0,10	0,01	33,97	5,13
	240	1,44	0,16	258	137	1,32	0,39	1,32	0,39	0,53	0,13	0,25	0,07	428	469	0,09	0,01	36,76	4,18
	250	1,38	0,12	279	65	1,38	0,54	1,21	0,13	0,54	0,16	0,23	0,09	49	44	0,09	0,01	35,78	1,07
	315	1,29	0,04	261	49	1,26	0,31	1,31	0,11	0,41	0,16	0,23	0,08	73	33	0,10	0,01	36,60	0,77
	330	1,37	0,15	340	90	1,13	0,23	1,41	0,18	0,42	0,08	0,32	0,06	88	77	0,10	0,01	36,29	0,75
2019		1,37	0,13	285	91	1,27	0,37	1,31	0,22	0,47	0,14	0,26	0,08	159	272	0,10	0,01	36,36	2,07
	240	1,31	0,07	360	129	0,91	0,63	1,49	1,02	0,47	0,20	0,30	0,17	208	117	0,13	0,03	34,88	1,41
	250	1,29	0,08	322	74	1,11	0,68	1,23	0,72	0,51	0,24	0,25	0,10	230	84	0,10	0,02	39,39	4,85
	315	1,29	0,08	358	93	1,93	0,66	2,24	0,69	0,49	0,07	0,31	0,12	229	42	0,13	0,05	39,39	4,85
	330	1,33	0,12	341	55	1,93	0,60	2,88	0,64	0,56	0,18	0,42	0,06	285	104	0,11	0,01	36,64	0,59
2020		1,30	0,09	346	86	1,47	0,76	1,96	0,98	0,51	0,17	0,32	0,13	238	89	0,12	0,03	37,57	3,78
	240	1,48	0,07	-73	39	0,07	0,01	1,97	0,63	0,35	0,11			1210	648	0,10	0,03	36,53	1,55
	250	1,53	0,15	229	35	0,75	0,12	0,84	0,19	0,23	0,08			40	11	0,06	0,00	37,81	1,10
	315	1,45	0,07	194	50	0,64	0,15	0,66	0,13	0,17	0,06			49	16	0,06	0,01	37,90	0,53
	330	1,39	0,07	108	252	0,09	0,04	2,38	1,62	0,31	0,12			590	530	0,11	0,03	37,04	1,70
2022		1,46	0,10	115	170	0,39	0,33	1,46	1,10	0,26	0,12			472	625	0,08	0,03	37,32	1,33

Tableau 8 : Teneur foliaire des espèces communes - Pic du Grand Kaori (2007-2022)

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 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 *Gardenia aubreyii* suivi de *Sparattocyce dioica*.

Espèce\Annee\Altitude (m)	N (%)		P (ppm)		K (%)		Ca (%)		Mg (%)		Na (%)		Mn (ppm)		S (%)		C (%)	
	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.	Moy.	Écart.
<i>Garcinia spp</i>	0,93	0,20	193	67	0,37	0,19	0,90	0,64	0,24	0,17	0,19	0,11	561	562	0,12	0,05	44,07	5,53
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	45,41	0,47
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	46,84	0,93
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	46,13	1,03
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	34,67	1,65
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	42,32	2,62
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	38,50	4,53
299	0,88	0,19	210	100	0,18	0,10	1,29	0,56	0,24	0,11	0,09	0,03	1019	724	0,11	0,06	39,00	5,07
313	1,08	0,19	201	31	0,60	0,14	0,60	0,09	0,23	0,04	0,38	0,04	128	35	0,11	0,02	45,45	6,95
2018	0,98	0,21	205	70	0,39	0,25	0,94	0,52	0,23	0,08	0,23	0,16	573	674	0,11	0,04	42,23	6,67
299	0,85	0,25	270	89	0,51	0,23	2,04	0,42	0,40	0,15	0,18	0,08	1381	900	0,15	0,06	43,15	3,16
313	0,88	0,16	207	35	0,52	0,12	1,35	0,83	0,43	0,28	0,24	0,07	340	221	0,11	0,05	45,49	4,00
2019	0,86	0,20	238	72	0,51	0,17	1,70	0,72	0,41	0,21	0,21	0,08	861	827	0,13	0,05	44,32	3,62
299	0,83	0,19	119	46	0,20	0,04	0,60	0,31	0,15	0,08			685	517	0,09	0,04	49,72	4,00
313	0,89	0,14	107	16	0,20	0,07	0,79	0,31	0,14	0,04			355	294	0,09	0,04	48,69	4,20
2022	0,86	0,16	113	33	0,20	0,05	0,70	0,31	0,14	0,06			520	433	0,09	0,04	49,20	3,91
<i>Gardenia aubryi</i>	1,07	0,14	205	64	0,67	0,36	0,81	0,69	0,22	0,13	0,28	0,17	153	280	0,12	0,04	47,12	3,95
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	47,09	0,39
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	47,09	0,39
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	46,09	1,53
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	46,09	1,53
2018	0,99	0,18	205	11	0,32	0,11	1,50	0,59	0,29	0,11	0,16	0,06	536	459	0,13	0,06	43,46	7,10
313	0,99	0,18	205	11	0,32	0,11	1,50	0,59	0,29	0,11	0,16	0,06	536	459	0,13	0,06	43,46	7,10
2019	1,19	0,18	258	36	1,14	0,28	1,33	0,86	0,37	0,10	0,52	0,15	35	13	0,14	0,01	48,75	2,64
313	1,19	0,18	258	36	1,14	0,28	1,33	0,86	0,37	0,10	0,52	0,15	35	13	0,14	0,01	48,75	2,64
2022	1,05	0,09	120	20	0,46	0,11	0,43	0,08	0,14	0,03			26	7	0,08	0,02	50,23	0,49
313	1,05	0,09	120	20	0,46	0,11	0,43	0,08	0,14	0,03			26	7	0,08	0,02	50,23	0,49
<i>Sparattosyce dioica</i>	1,25	0,16	237	66	0,62	0,37	0,93	0,52	0,37	0,20	0,22	0,12	316	314	0,10	0,04	36,20	4,08
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	35,67	0,73
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	35,67	0,73
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	41,65	0,63
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	41,65	0,63
2018	1,24	0,15	294	22	0,47	0,23	1,10	0,23	0,54	0,11	0,22	0,08	272	115	0,09	0,05	30,96	4,73
299	1,24	0,15	294	22	0,47	0,23	1,10	0,23	0,54	0,11	0,22	0,08	272	115	0,09	0,05	30,96	4,73
2019	1,31	0,16	294	34	1,04	0,34	1,42	0,12	0,61	0,12	0,34	0,07	193	96	0,11	0,03	36,04	1,38
299	1,31	0,16	294	34	1,04	0,34	1,42	0,12	0,61	0,12	0,34	0,07	193	96	0,11	0,03	36,04	1,38
2022	1,40	0,08	168	52	0,45	0,21	0,70	0,19	0,29	0,10			94	36	0,06	0,02	36,68	1,65
299	1,40	0,08	168	52	0,45	0,21	0,70	0,19	0,29	0,10			94	36	0,06	0,02	36,68	1,65

Tableau 9 : Teneurs foliaires des espèces d'arbres communes des deux parcelles sur Pic du Pin de 2015 à 2022.

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 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 aubreyi* et de *Sparattosyce 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

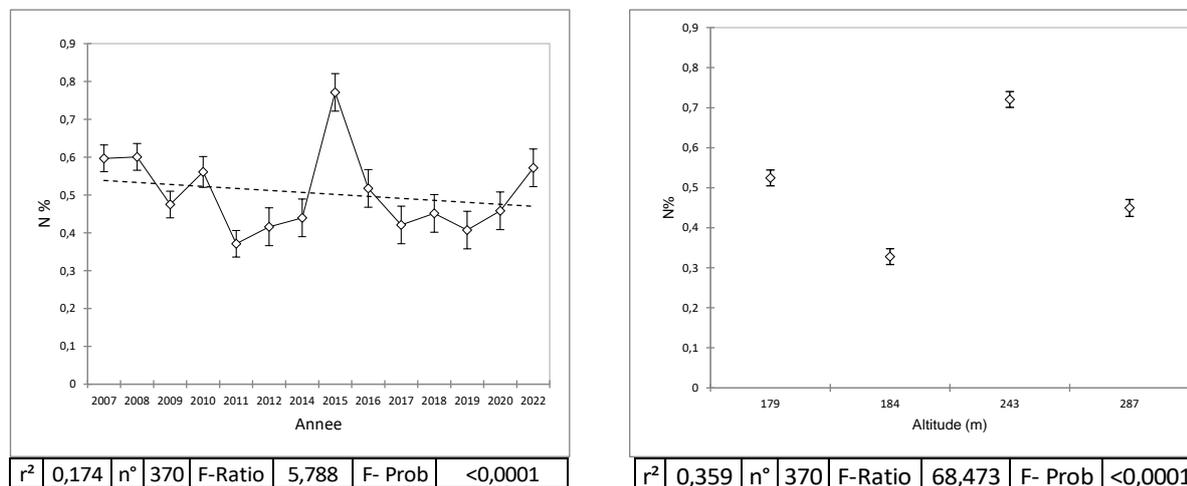


Figure 4 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite). La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2007 et 2022.

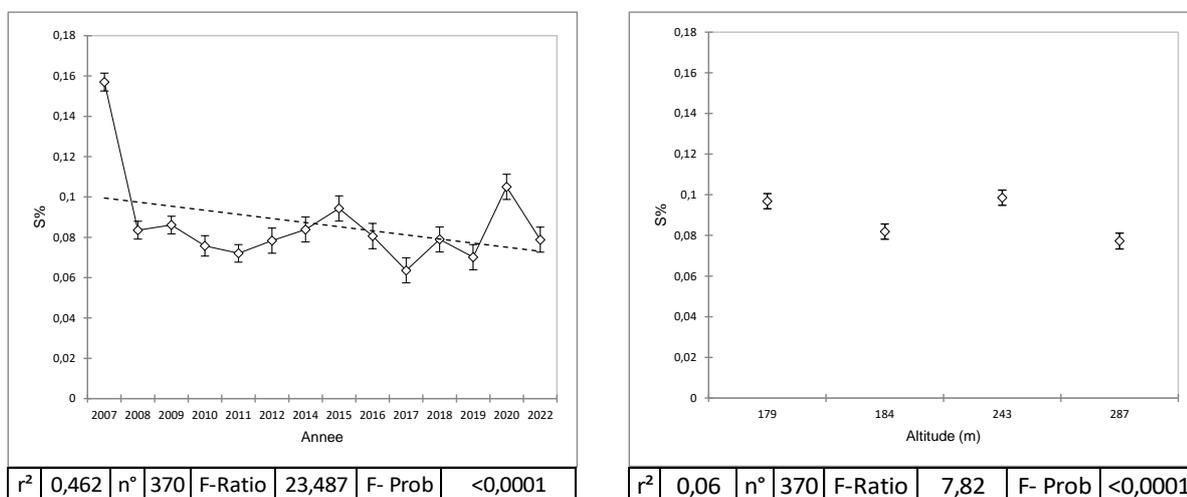


Figure 5 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite). La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2007 et 2022.

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des sols de Forêt-Nord prélevés sur les parcelles permanentes de 2007 à 2022 montre plusieurs tendances :

- Les tendances linéaires pour les teneurs en N et S montrent une diminution de 2007 à 2022.
- Les teneurs en N montrent une différence significative avec des pics en 2015 et 2022.
- Les teneurs en S montrent une diminution significative de 2007 à 2011 suivie d'un pic en 2015 et 2020 interrompu par des diminutions significatives en 2017 et 2022.
- 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

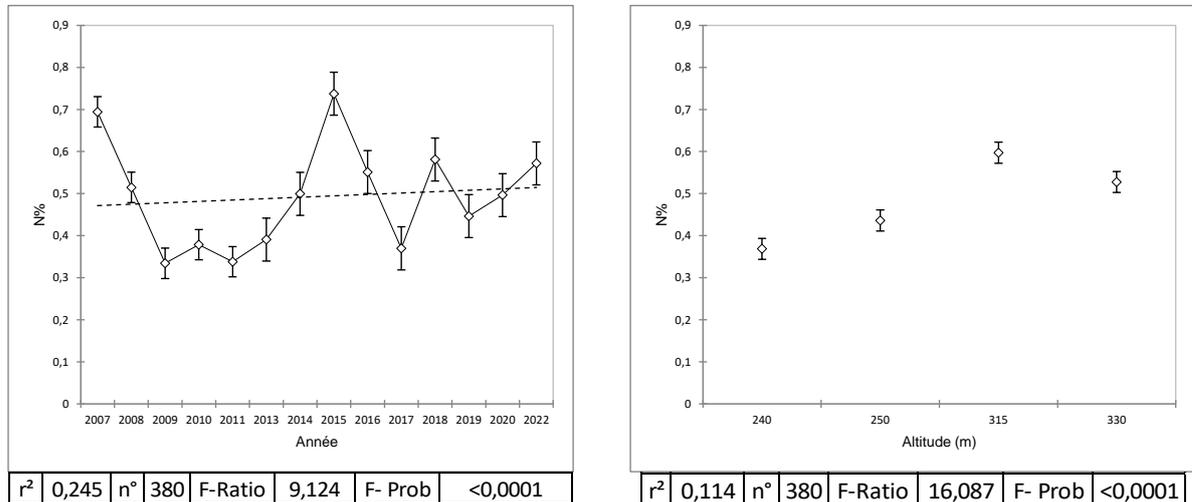


Figure 6 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2007 et 2022.

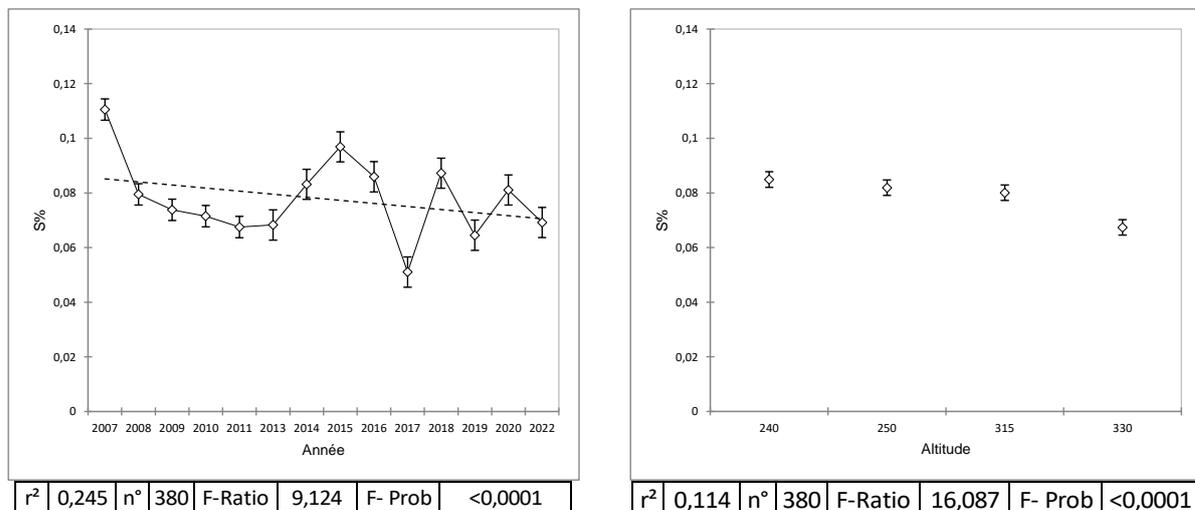


Figure 7 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2007 et 2022.

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des sols du Pic du Grand Kaori prélevés sur les parcelles permanentes de 2007 à 2022 montre plusieurs tendances :

- Les teneurs en N montrent une tendance linéaire en augmentation de 2007 à 2022.
- Les teneurs en S montrent une tendance linéaire en diminution de 2007 à 2022.
- Les teneurs de N montrent des différences significatives marqués par une diminution de 2007 à 2013 et des pics en 2015, 2018 et 2022.
- Les teneurs en S montrent des différences significatives marquée par une diminution de 2007 à 2013 ainsi que des pics en 2015, 2018 et 2020.
- Les teneurs en S diminuent sont 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

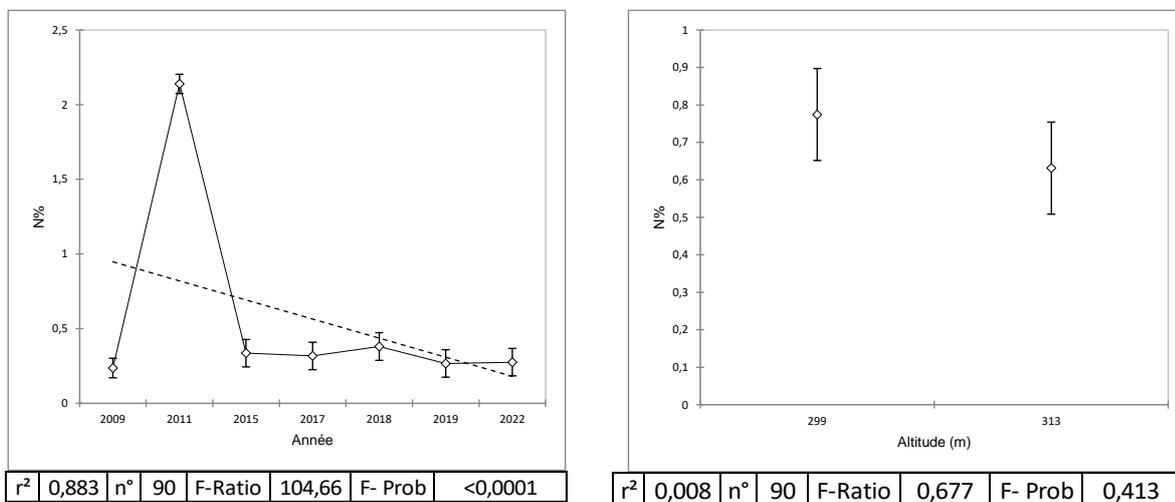


Figure 8 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Pic du Pin selon l'année (gauche) et l'altitude (droite). La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2009 et 2022.

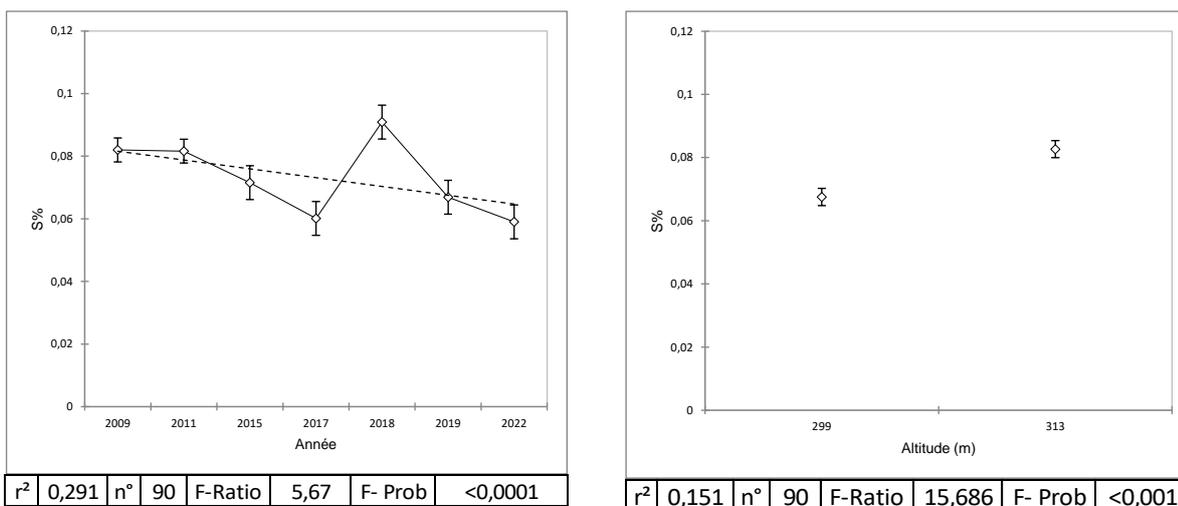


Figure 9 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Pic du Pin selon l'année (gauche) et l'altitude (droite). La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2009 et 2022.

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des sols du Pic du Pin prélevés sur les parcelles permanentes de 2009 à 2022 montre plusieurs tendances :

- Les teneurs en N, montrent une augmentation significative de 2009 à 2011, suivie d'une diminution à 2022.
- Les teneurs en S montrent une légère diminution de 2009 à 2022, qui est 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

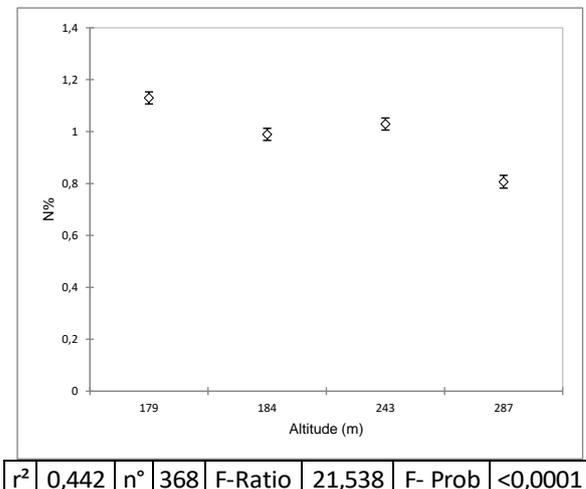
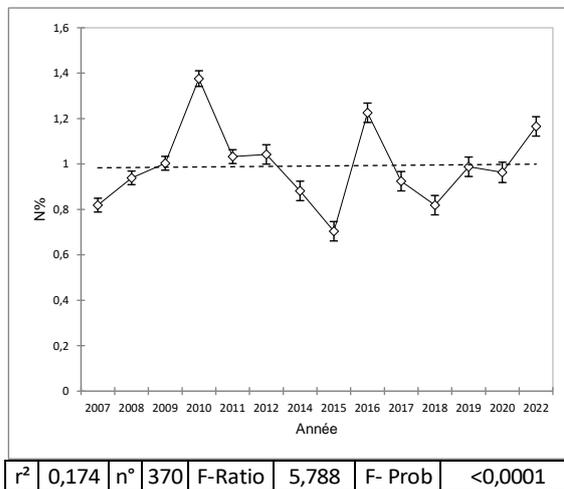


Figure 10 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des litières - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite). La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2007 et 2022.

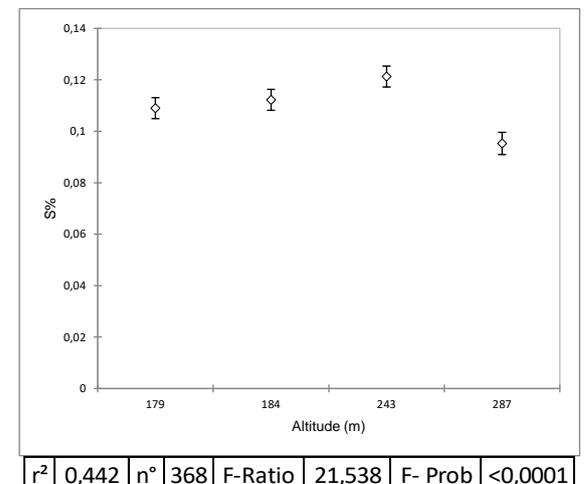
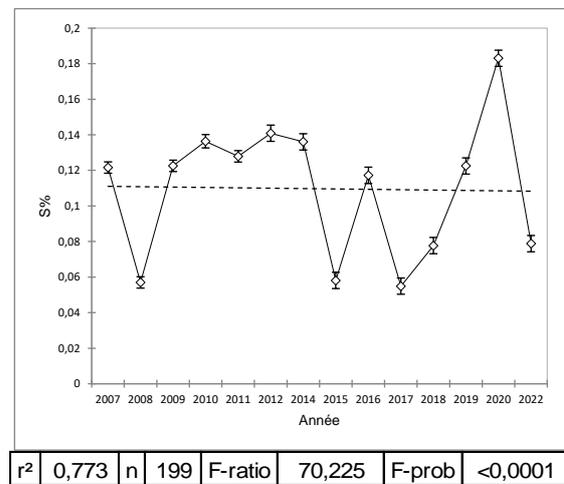


Figure 11 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des litières - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite). La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2007 et 2022.

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des litières de Forêt-Nord prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2022 montre plusieurs tendances :

- La teneur en N montre une augmentation significative de 2007 à 2010 et des pics en 2016 et 2022 interrompu par des diminutions à 2015 et 2018 qui pourrait suggérer des variations cycliques.
- Les teneurs en S oscillent de façon significative entre 2007 et 2016, suivies d'une diminution à 2017 et pic maximale en 2020 pour descendre sous la tendance linéaire en 2022. 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

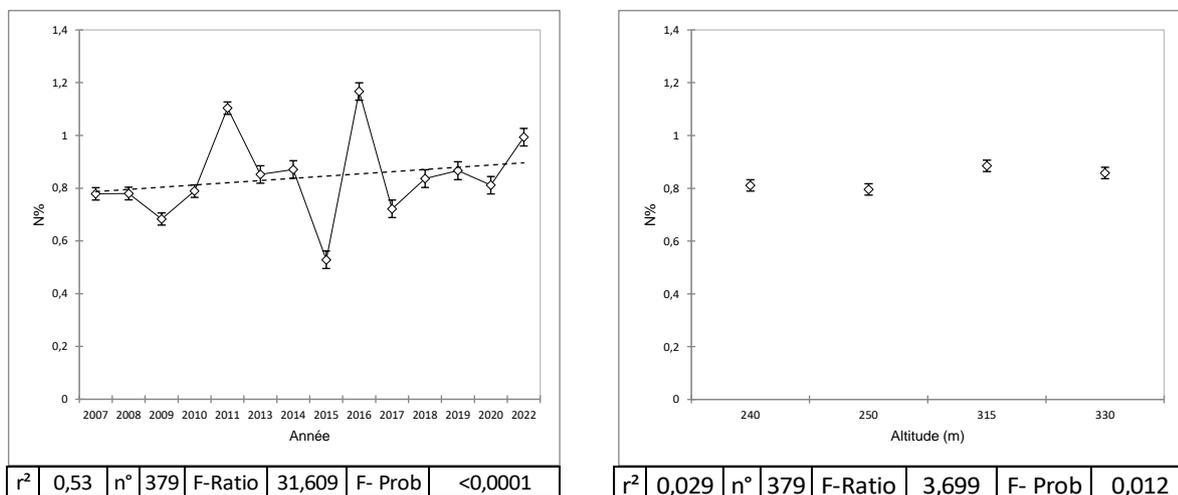


Figure 12 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des litières - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite). La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2007 et 2022.

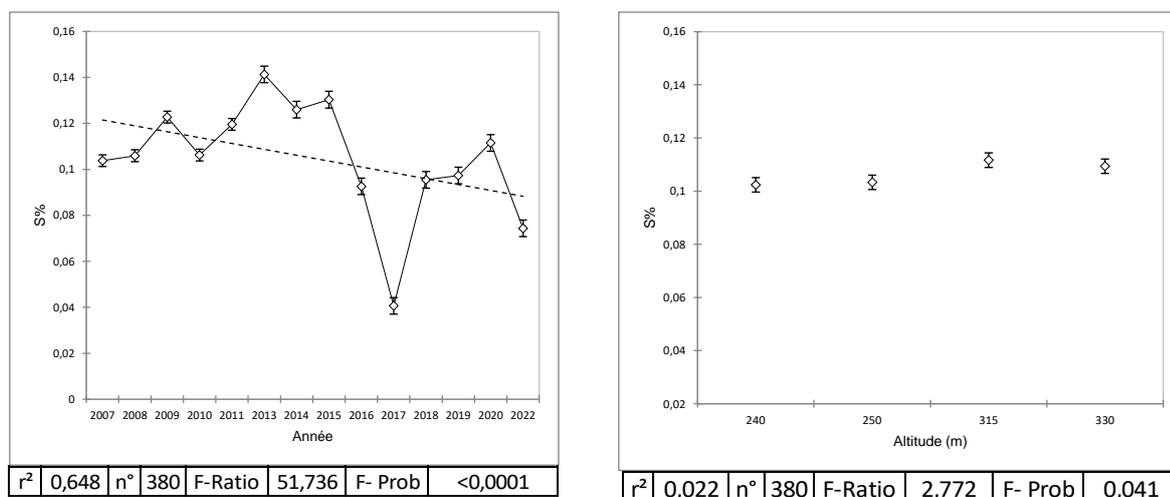


Figure 13 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des litières - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite). La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2007 et 2022.

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des litières du Pic du Grand Kaori prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2022 montre plusieurs tendances :

- Les teneurs en N montrent une augmentation significative de 2007 à 2011 suivie d'une diminution à 2015 suivi d'un pic en 2016 et diminution en 2017 qui remonte progressivement à 2022, suggérant des variations cycliques.
- Les teneurs en S augmentent de manière significative entre 2007 et 2015 et ensuite elles diminuent en 2016 à des valeurs semblables à 2007. Les teneurs en S en 2022 sont inférieures à la tendance linéaire.
- Les teneurs en S sont légèrement significatives selon l'altitude avec la parcelle haute qui contient des teneurs en S légèrement plus élevées que la parcelle basse.

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

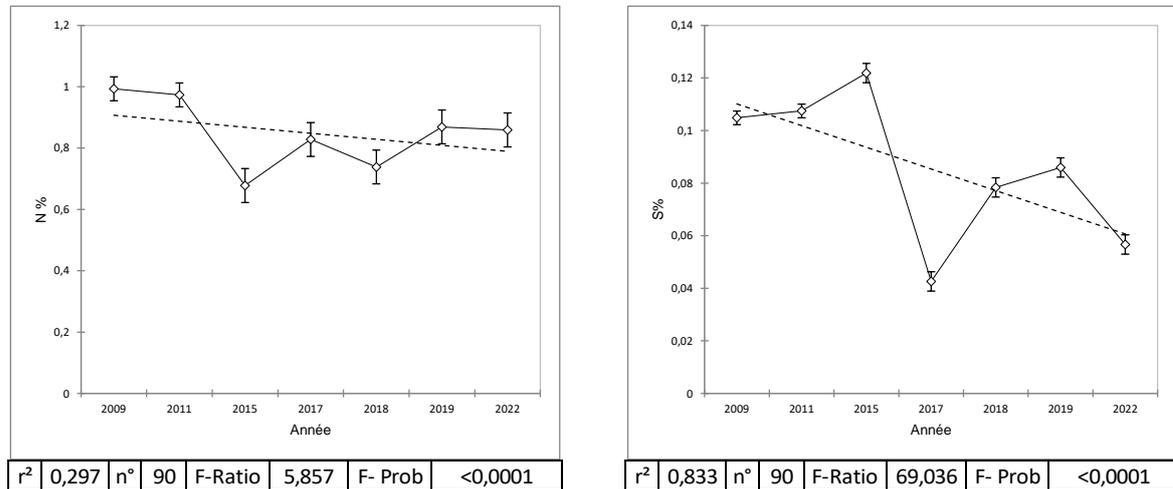


Figure 14 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) et soufre (S-%) des litières - Pic du Pin selon l'année. La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2009 et 2022.

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des litières du Pic du Pin prélevées sur les parcelles permanentes de 2009 à 2022 montre plusieurs tendances :

- Les teneurs en N montrent une diminution significative de 2009 à 2015 suivie d'une augmentation à 2022.
- Les teneurs en S montrent une augmentation du 2009 à 2015 et ensuite une diminution significative en 2017 pour remonter en 2019 et ensuite descendre sous la tendance linéaire en 2022.

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)

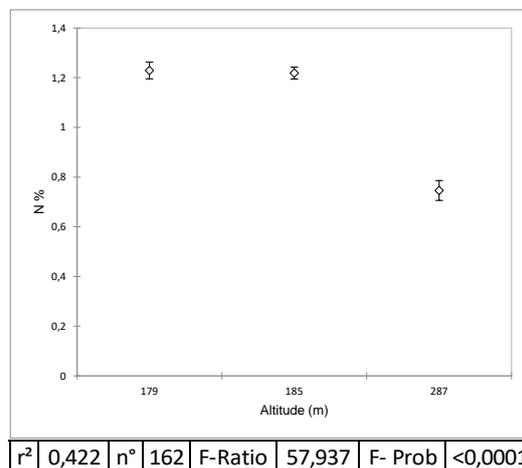
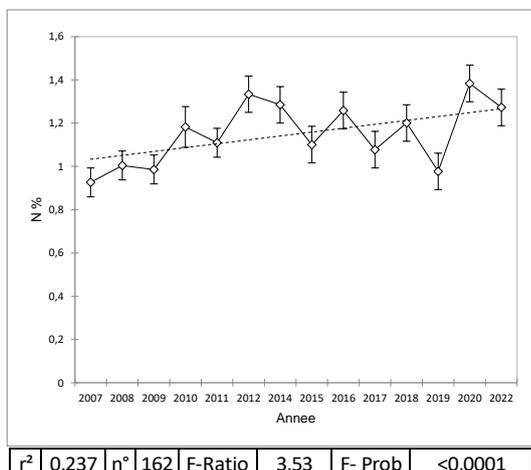


Figure 15: ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Garcinia neglecta (Guttiferae)* - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période 2007 à 2022. La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2007 et 2022.

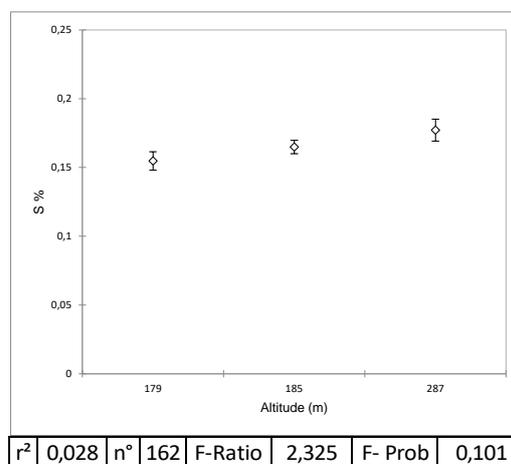
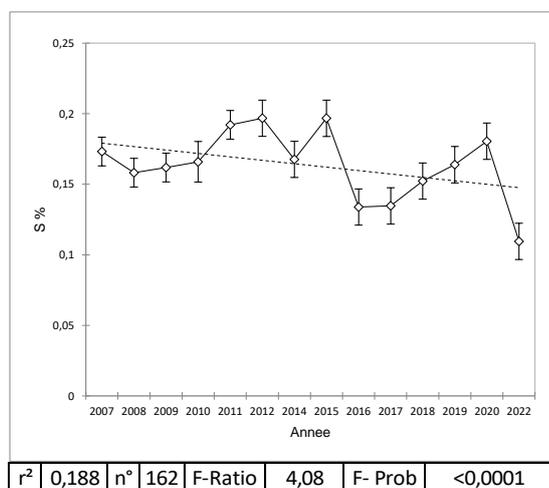


Figure 16: ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de *Garcinia neglecta (Guttiferae)* - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période 2007 à 2022. La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2007 et 2022.

Gardenia aubreyii (Rubiaceae)

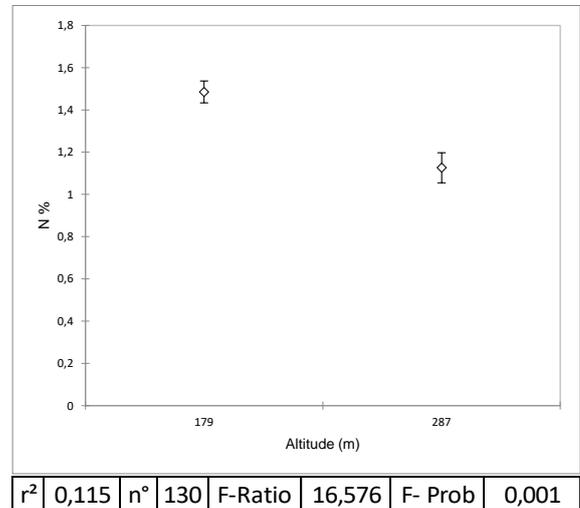
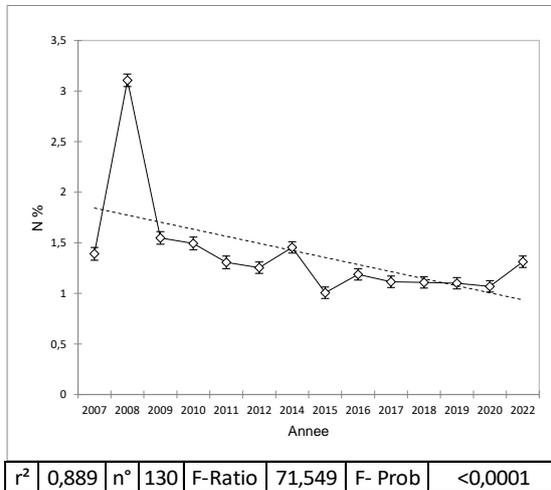


Figure 17 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Gardenia aubreyii* (Rubiaceae) - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période 2007 à 2022. La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2007 et 2022.

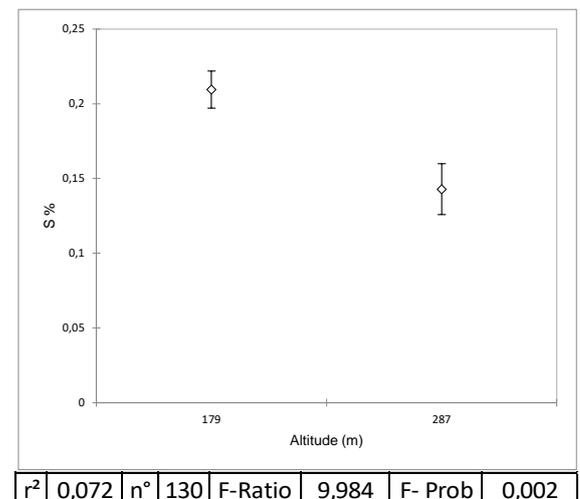
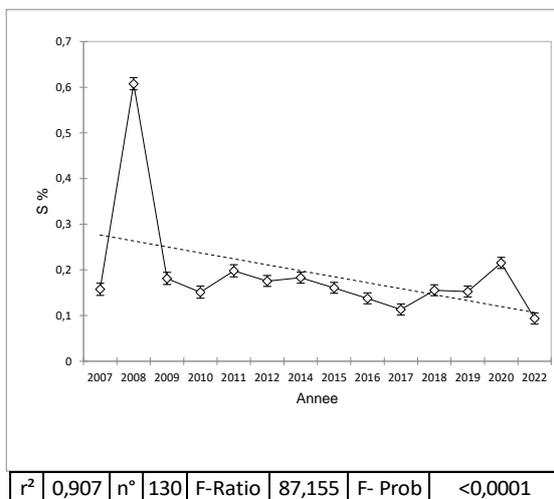


Figure 18: ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de *Gardenia aubreyii* (Rubiaceae)- Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période de 2007 à 2022. La ligne pointillée présent l'évolution de tendance linéaire entre 2007 et 2022.

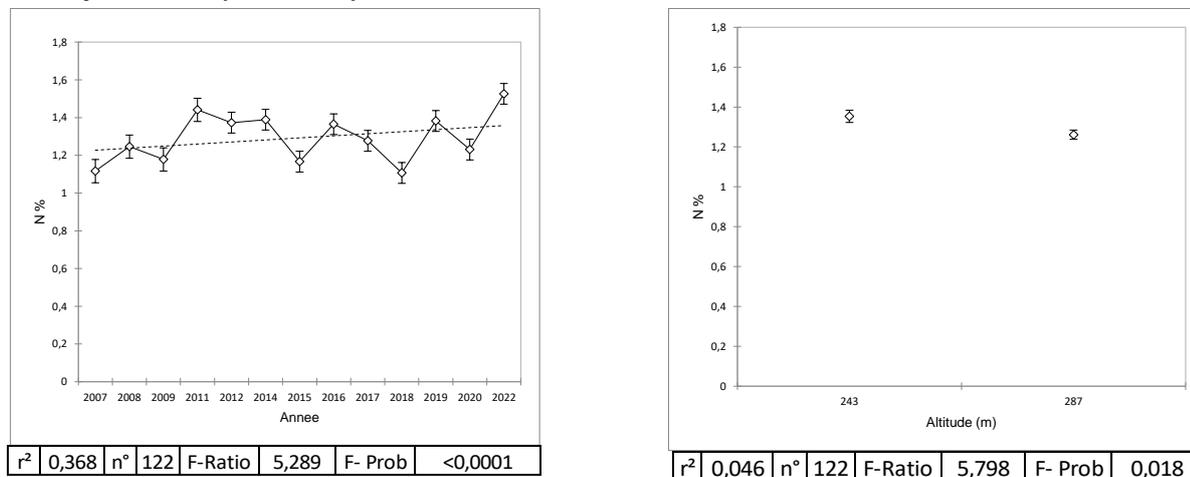
Sparattocyce dioica (Moraceae)


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 2022. La ligne pointillée présent l'évolution de la tendance linéaire entre 2007 et 2022.

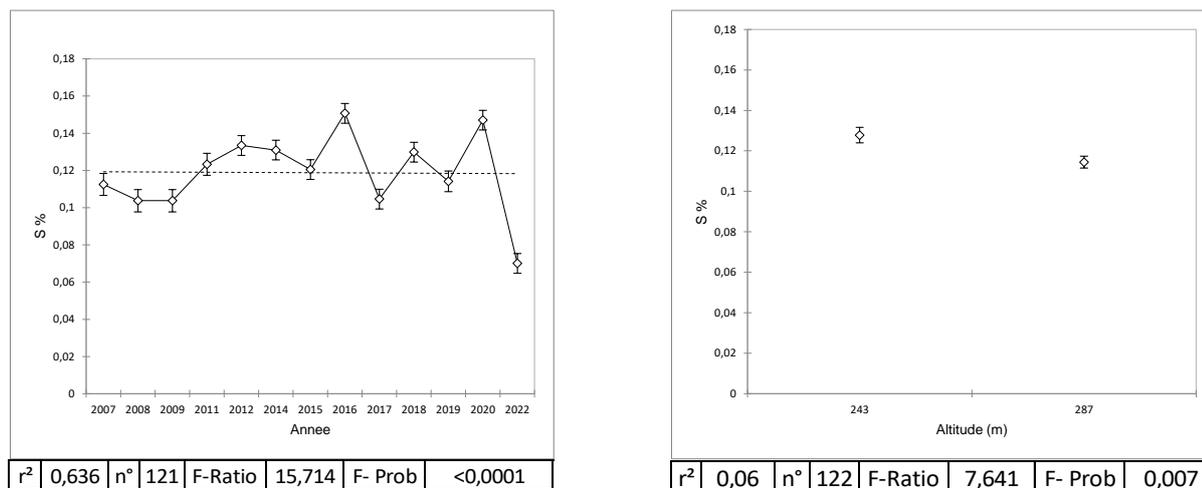
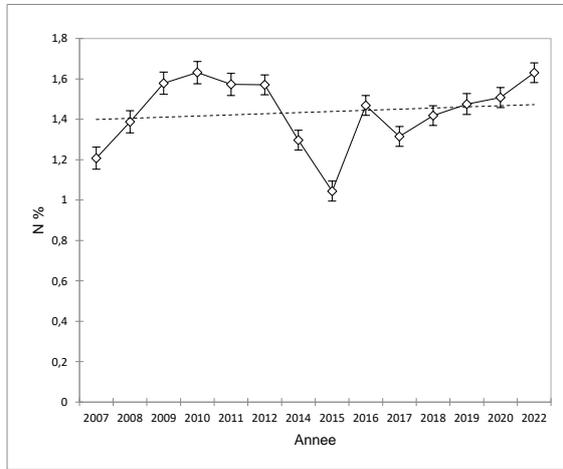
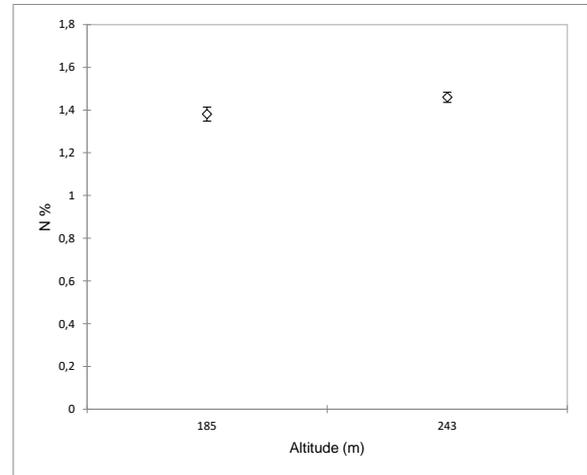


Figure 20: ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de *Sparattocyce dioica* (Moraceae) - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période 2007 à 2022. La ligne pointillée présent l'évolution de la tendance linéaire entre 2007 et 2022.

Xylopi* cf. *veillardii

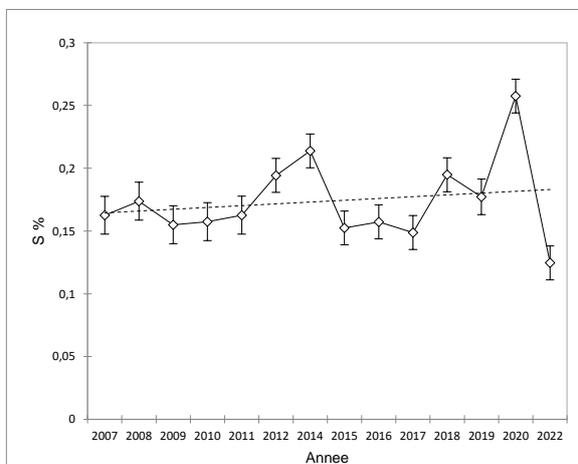


r ²	0,562	n°	129	F-Ratio	11,364	F- Prob	<0,0001
----------------	-------	----	-----	---------	--------	---------	---------

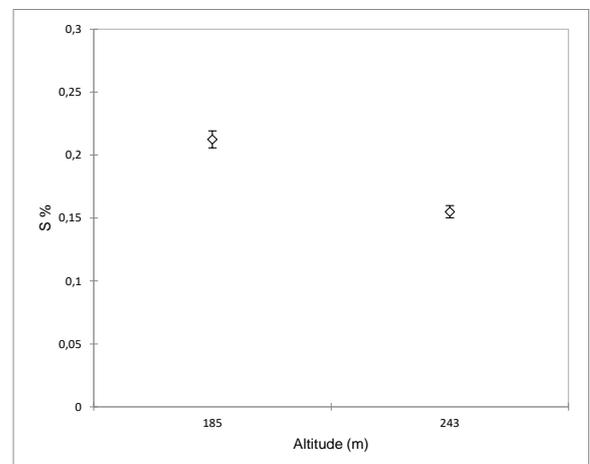


r ²	0,028	n°	129	F-Ratio	3,691	F- Prob	0,057
----------------	-------	----	-----	---------	-------	---------	-------

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 2022. La ligne pointillée présent l'évolution de la tendance linéaire entre 2007 et 2022.



r ²	0,211	n°	129	F-Ratio	5,888	F- Prob	<0,0001
----------------	-------	----	-----	---------	-------	---------	---------



r ²	0,274	n°	129	F-Ratio	48,031	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 2022. La ligne pointillée présent l'évolution de la tendance linéaire entre 2007 et 2022.

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des feuilles des espèces communes prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2022 à Forêt-Nord montrent plusieurs tendances :

- Les teneurs en N chez *Garcinia* et *Sparattocyce* ont montré une augmentation significative de 2007 à 2022.
- Les teneurs en N de *Xylopi*a ont montré une augmentation de 2007 à 2011 et ensuite elles diminuent en 2015 pour ensuite atteindre un pic en 2022 semblable aux valeurs en 2010 suggérant un cycle naturel en azote.
- Les teneurs en S des feuilles de *Sparattocyce* montrent des augmentations significatives entre 2007 et 2016 pour chuter en dessous de la tendance linéaire en 2022. Les valeurs aléatoires en S suivent souvent les mêmes tendances que N suggérant que les variations pourraient être cycliques.
- Des diminutions dans les teneurs en S des feuilles sont légèrement significatives pour *Garcinia* entre 2007 et 2022. Les oscillations 2010-2015 et 2017-2020 suggèrent des cycles naturels de soufre.
- Les teneurs en N et S des feuilles de *Gardenia* montrent une diminution semblable de 2007 à 2022 qui est significative.
- 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 *Xylopi*a montrent des différences significatives qui sont légères entre les parcelles selon l'altitude, avec les parcelles basses contenant un plus fort 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)**

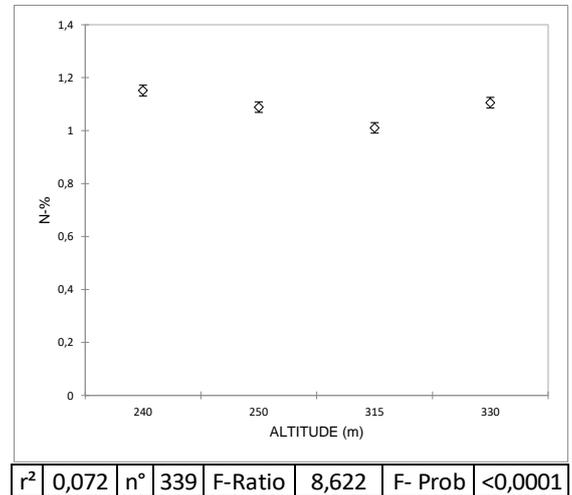
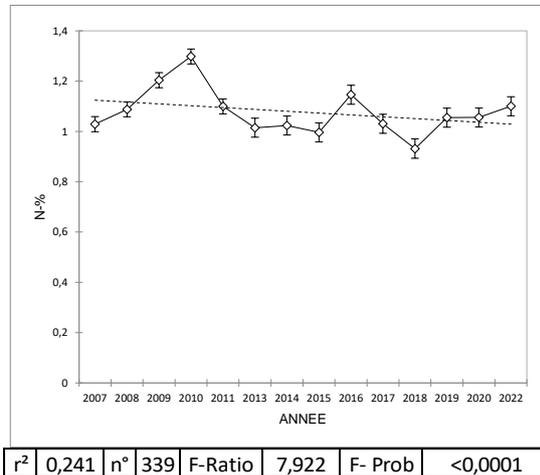


Figure 23: ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Gardenia aubreyii*- Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période 2007 à 2022. La ligne pointillée présent l'évolution de la tendance linéaire entre 2007 et 2022.

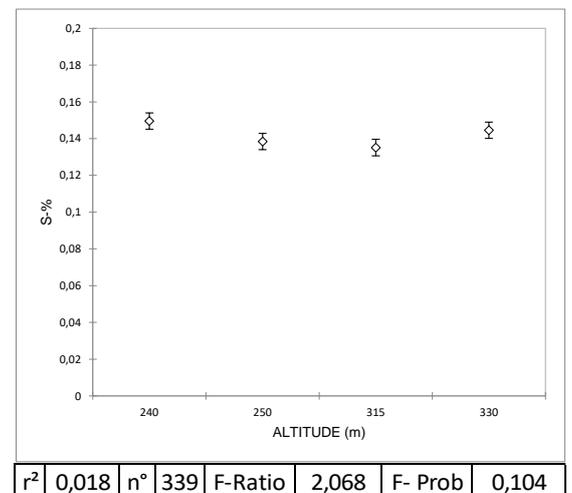
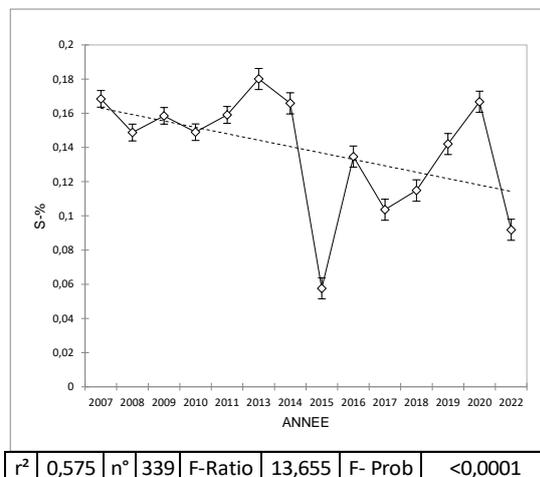


Figure 24: ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de *Gardenia aubreyii* (Rubiaceae) - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour la période 2007 à 2022. La ligne pointillée présent l'évolution de la tendance linéaire entre 2007 et 2022.

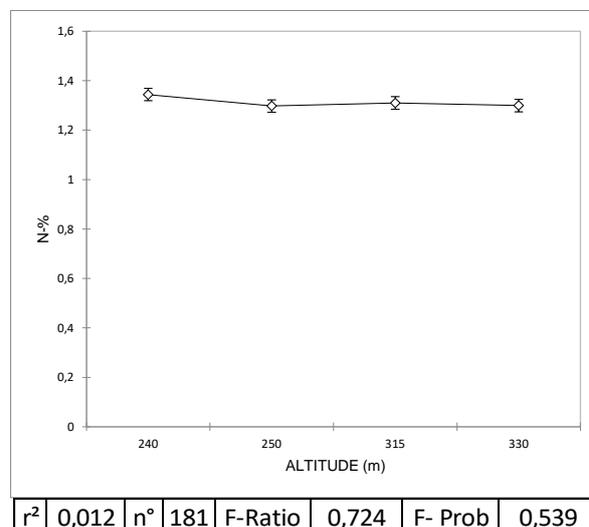
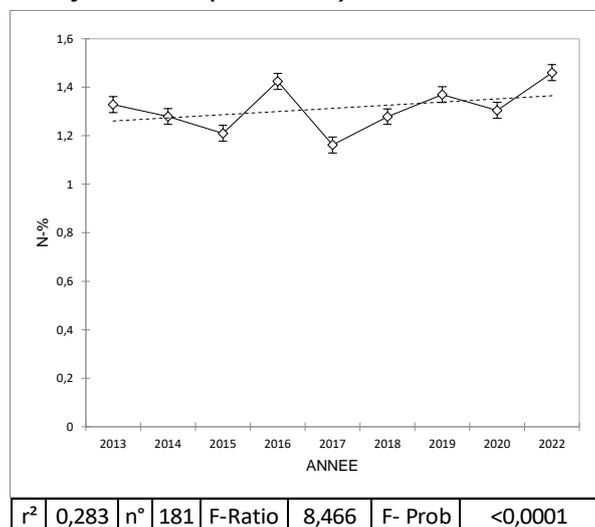
Sparattocyce dioica (Moraceae)


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 2022. La ligne pointillée présent l'évolution de la tendance linéaire entre 2013 et 2022.

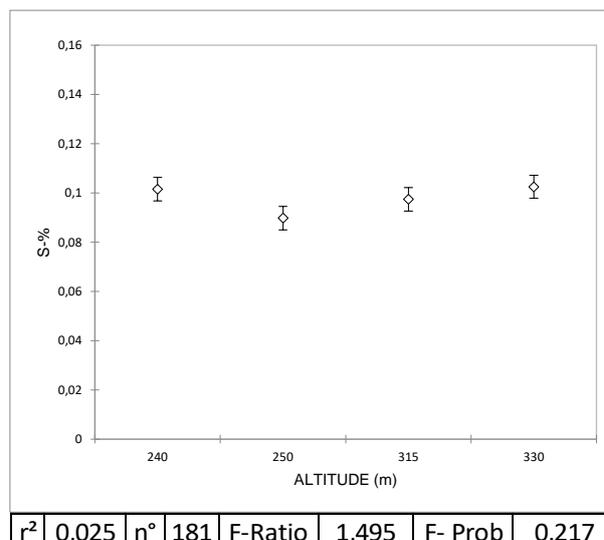
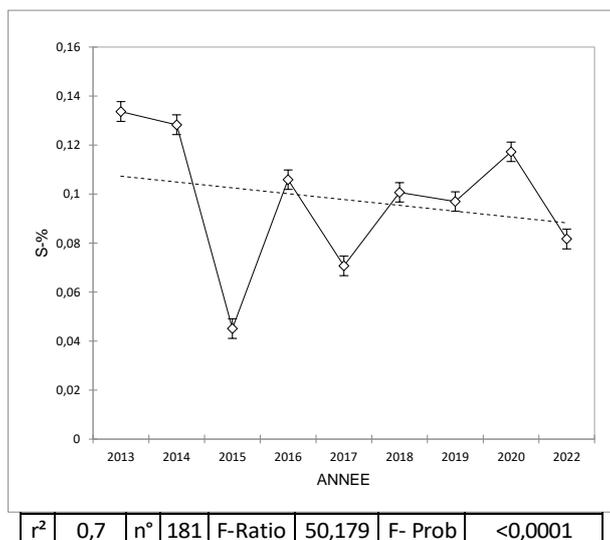


Figure 26: ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de Sparattocyce dioica - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour 2013 à 2022. La ligne pointillée présent l'évolution de la tendance linéaire entre 2013 et 2022.

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des feuilles des espèces communes prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2022 du Grand Kaori montre plusieurs tendances :

- Les feuilles de *Gardenia* montrent une oscillation significative en N qui est sur la tendance linéaire en baisse avec des pics en 2010, 2016 et 2022 suggérant des cycles naturels.
- Les teneurs en N de *Sparattocyce* montrent une légère augmentation de 2007 à 2022 qui est significative.
- Les teneurs en S des feuilles de *Gardenia* et *Sparattocyce* montrent une tendance linéaire en baisse de 2007 à 2022 qui est significative avec des pics minimaux en 2015, 2017 et 2022.

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

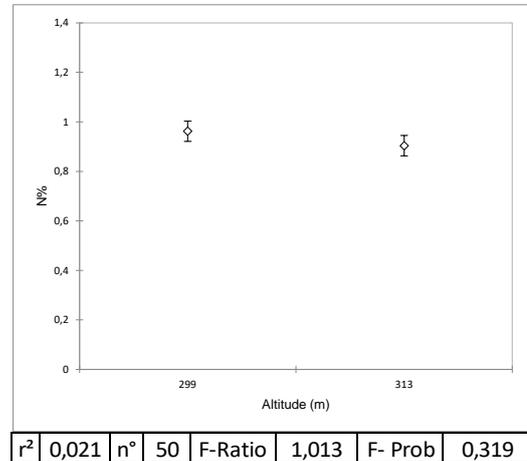
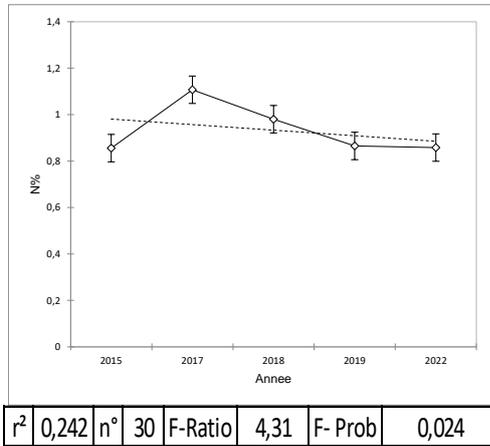


Figure 27 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Garcinia neglecta* - Pic du Pin selon l'année (gauche) et l'altitude (droite). La ligne pointillée présent l'évolution de la tendance linéaire entre 2015 et 2022.

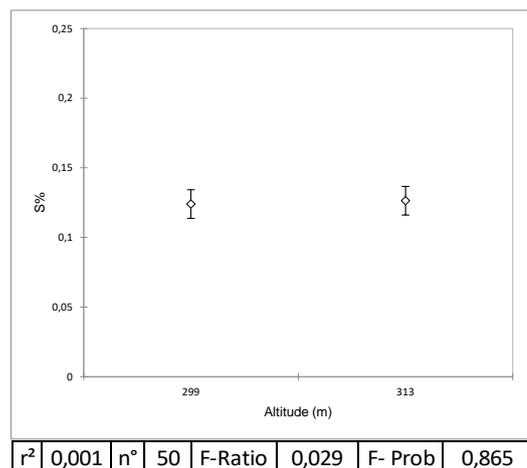
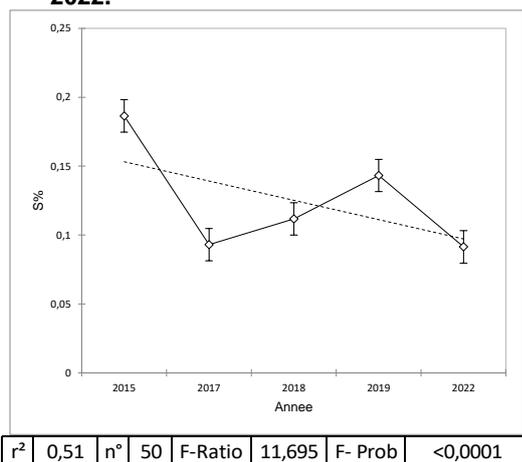


Figure 28 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de *Garcinia neglecta* - Pic du Pin selon l'année (gauche) et l'altitude (droite). La ligne pointillée présent l'évolution de la tendance linéaire entre 2015 et 2022.

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

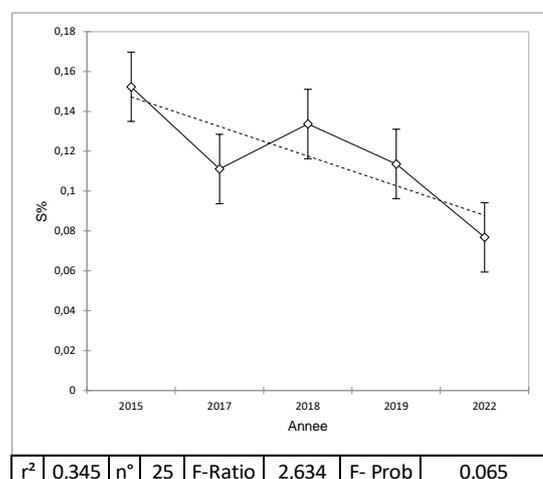
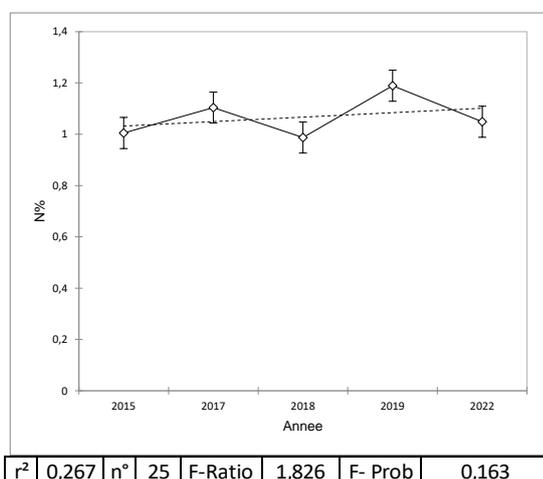


Figure 29 : ANOVA teneur en Azote (N- %) (gauche) et Soufre (S- %) (droit) des feuilles de *Gardenia aubreyii* - Pic du Pin selon l'année. La ligne pointillée présent l'évolution de la tendance linéaire entre 2015 et 2022.

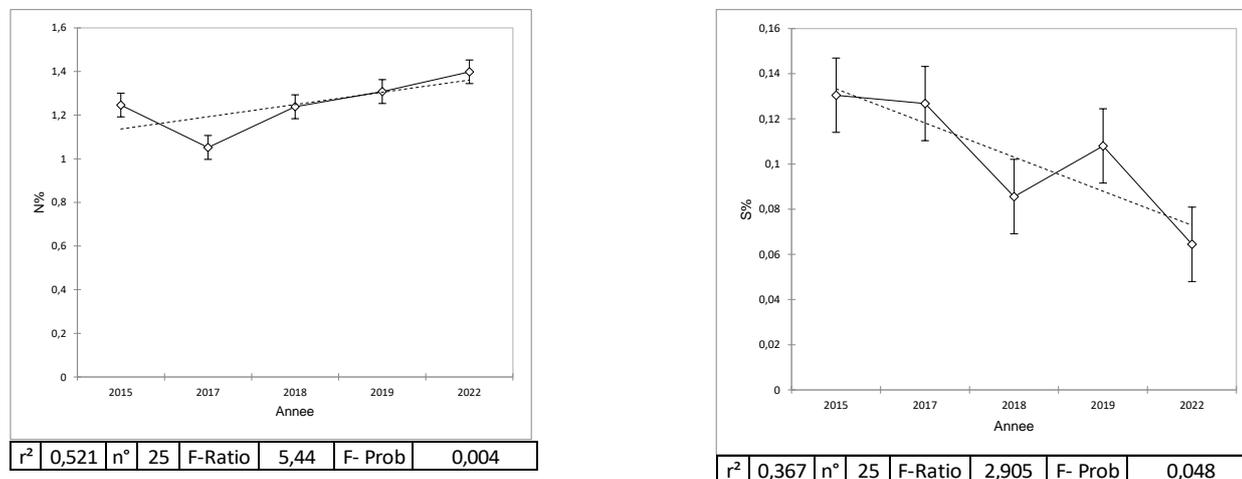


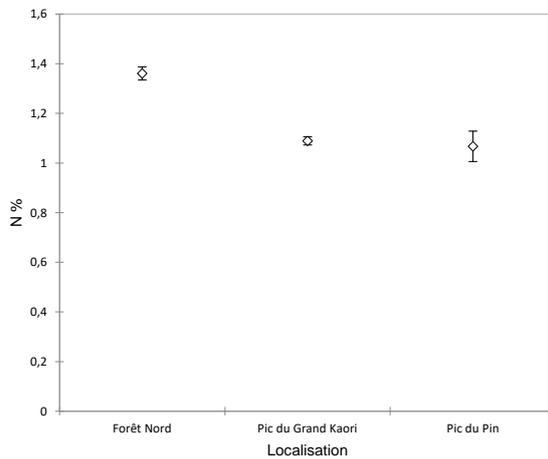
Figure 30 : ANOVA teneur en Azote (N- %)(gauche) et Soufre (S- %) (droit) des feuilles de *Sparattosyce dioica* - Pic du Pin selon l'année. La ligne pointillée présent l'évolution de la tendance linéaire entre 2015 et 2022.

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des feuilles de *Garcinia neglecta*, *Gardenia aubreyii* et *Sparattosyce dioica* prélevées sur les parcelles permanentes de 2015 à 2022 au Pic du Pin montre plusieurs tendances :

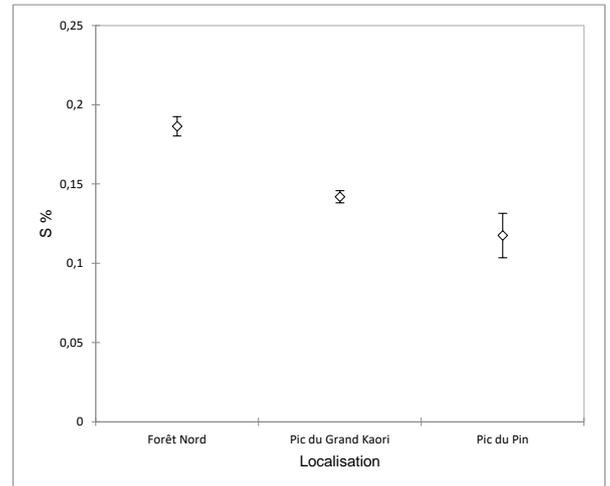
- Les feuilles de *Garcinia* montrent des teneurs en N et S qui diminuent de 2015 à 2022. Cette diminution est significative pour les teneurs en S.
- Les teneurs en S des feuilles de *Gardenia* montrent une tendance générale de diminution entre 2007 à 2022 qui sont significative.
- Les feuilles de *Sparattosyce* ont montré une légère augmentation significative en N de 2015 à 2022
- Les teneurs en S des feuilles de *Sparattosyce* montrent une diminution significative constante de 2007 à 2022.

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*, *Sparattocyce*)

Gardenia aubreyi (Rubiaceae)



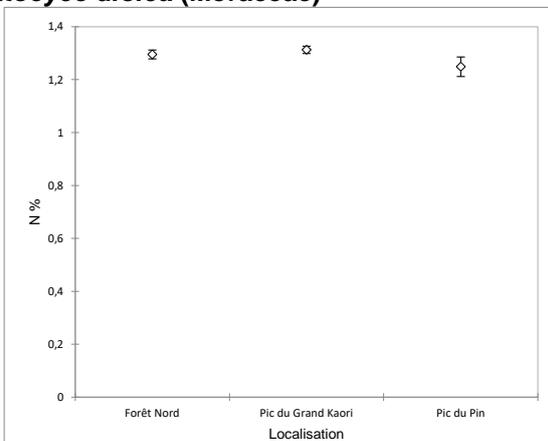
r^2	0,135	n°	494	F-Ratio	38,44	F- Prob	<0,0001
-------	-------	-----------	-----	---------	-------	---------	---------



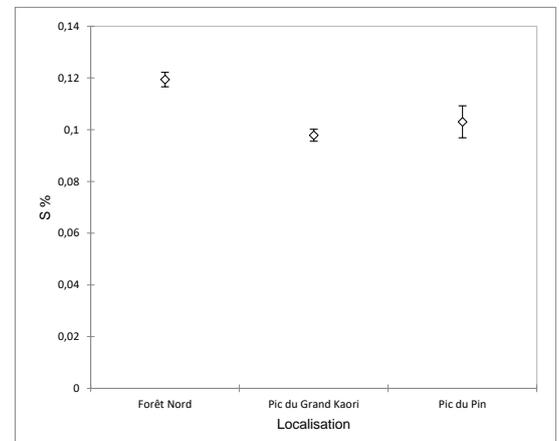
r^2	0,082	n°	494	F-Ratio	22,04	F- Prob	<0,0001
-------	-------	-----------	-----	---------	-------	---------	---------

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

Sparattocyce dioica (Moraceae)



r^2	0,009	n°	328	F-Ratio	1,419	F- Prob	0,243
-------	-------	-----------	-----	---------	-------	---------	-------



r^2	0,099	n°	327	F-Ratio	17,769	F- Prob	<0,0001
-------	-------	-----------	-----	---------	--------	---------	---------

Figure 32: ANOVA teneur en Azote total (N-%) (gauche) et Soufre (S%) (droite) des feuilles de *Sparattocyce 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 *Sparattocyce* prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2022 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 *Sparattocyce* ne montrent pas de différences significatives entre les forêts.
- Cependant les teneurs en S des feuilles de *Sparattocyce* sont significativement plus élevées sur les parcelles de la Forêt Nord suivi de Pic du Pin et du Pic du Grand Kaori.

4. ANALYSE DES RESULTATS

4.1 Bilan général des campagnes de suivis des parcelles permanentes

Aucune mesure ou prélèvement de sol ou végétation n'a été effectuée en début 2021 sur les Réserves de Forêt Nord, "Pic du Grand Kaori ou Pic du Pin à cause de la fermeture du complexe de Prony Resources pour raison du conflit politique avec l'achat de Prony Resources qui a générées des conditions d'insécurité pour le personnel et sous-traitantes du décembre 2020 à avril 2021.

La campagne de suivi des parcelles permanentes pour la période 2022 a commencé à mi-mars à Pic du Grand Kaori pour se continuer sur le Pic du Pin et se terminer par un prélèvement tardif du sol, de la litière et des feuilles au niveau à Forêt Nord, mi-avril 2022, après le passage de plusieurs intempéries en janvier et février qui ont empêchée des échantillonnages pendant cette période.

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 2022.

Mesures ou analyses	FN Total	PGK Total	PP Total
Nombre d'échantillons de sols prélevées	20	20	10
Nombre d'éléments analysée (sol) (N, P,K, S, Ca, Mg, Mn, C, CEC, pH	200	200	100
Nombre d'échantillons de litières prélevées	20	20	10
Nombre d'éléments analysée (litières)(N, P, K, S, Ca, Mg, Mn, C)	160	160	80
Nombre d'espèces prélevées pour analyses foliaires	4	2	4
Nombre d'échantillons de feuilles prélevées dans la canope des arbres	20	20	10
Nombre d'éléments analysée (feuilles) (N, P, K, S, Ca, Mg, Mn,C)	160	160	80
Total mesures ou analyses par Forêt	520	520	260

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 2022.

Les campagnes de prélèvements des échantillons du sol, de la litière et pour les feuilles ont été effectuées par une équipe de 4 personnes sur une durée de 10 jours.

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	2007-2020	2022	2007-2020	2022	2009-2020	2022
				Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
pH	3.5 - 5.9	4.1 – 6.0	4.4 – 6.1	6,85	6,02	6,45	5,44	5,80	5,71
N (mg g ⁻¹)	0.9 – 3.6	0.7 – 3.8	0.8 – 1.6	0,48	0,57	0,49	0,57	0,61	0,27
P (mg g ⁻¹)	0.07 – 0.24	0.10 – 0.18	0.06 – 0.32	0,03	0,02	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	0,02	0,01	0,02	0,01
Ca (mg g ⁻¹)	0.07 – 1.20	0.40 – 1.15	0.05 – 1.5	2,42	2,73	3,05	2,04	0,72	0,78
Mg (mg g ⁻¹)	0.01 – 60	3.1 – 17	0.4 – 12.0	12,5	3,4	10,9	3,9	3,4	0,8
S (mg g ⁻¹)				0,09	0,06	0,08	0,07	0,07	0,02

Tableau 11 : Caractéristiques chimiques des sols des formations du Grand massif du Sud (Read *et al*, 2006) et valeurs moyennes des stations (2007-2020) et 2022.

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 2022, 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 2022, 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 2007-2020 et 2022.

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 à Forêt-Nord et Pic du Grand Kaori sont semblables à celles des analyses effectuées sur des forêts à Mouirange (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 écartypes des valeurs moyennes enregistrées sur les parcelles permanentes suggèrent que les différences restent faibles comparées aux forêts décrites par de Read *et al*, 2006.

Formations végétales du Sud (Read et al, 2006)			Forêt Nord		Pic du Grand Kaori		Pic du Pin	
			2022		2022		2022	
Forêt à <i>Nothofagus</i>	Forêt Humide	Maquis	Moyenne	Ecartype	Moyenne	Ecartype	Moyenne	Ecartype
(n = 4)	(n = 3)	(n = 4)						
4.7 ± 0.1	5.3 ± 0.2	4.8 ± 0.2						
1.77 ± 0.03	2.39 ± 0.10	1.13 ± 0.17	1,17	0,186	0,99	0,15	0,86	0,11
0.125 ± 0.040	0.123 ± 0.050	0.084 ± 0.033	0,17	0,072	0,08	0,02	0,05	0,01
0.142 ± 0.044	0.147 ± 0.065	0.072 ± 0.023	0,45	0,253	0,30	0,10	0,02	0,01
0.281 ± 0.098	0.700 ± 0.225	0.092 ± 0.015	0,904	0,631	0,639	0,141	0,58	0,15
7.27 ± 2.60	11.47 ± 4.84	5.36 ± 1.48	1,47	0,582	12,50	0,58	9,05	2,61
7.60 ± 2.09	7.32 ± 2.24	3.91 ± 0.961	5,09	5,03	5,00	0,30	1,69	2,00

Tableau 12 : Caractéristiques chimiques des litières des formations du Grand massif du Sud (Read et al, 2006) et valeurs moyennes des stations en 2022

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 aléatoire de 2007 à 2010 qui est significative. De 2010 à 2015 les teneurs en N diminuent, pour ensuite augmenter à 2016 et 2022 ce qui suggère que les variations en N sont possiblement liées 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 2014 pour chuter en dessous de la tendance linéaire en 2015 et 2017 pour ensuite atteindre un pic maximal en 2020 pour ensuite descendre aux valeurs de 2022. L'augmentation en S dans la litière en Forêt Nord en 2019 peut être liée à des apports atmosphériques liée aux redémarrages de l'usine à acide et départ de feux sur le stock de soufre. Cependant la baisse en S en 2015 et 2017 interrompu par un pic en 2016 suggère plutôt une variation cyclique et naturelle en S existes aussi, 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.

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	Mn	S	
			%	ppm	%	%	%	ppm	%	
<i>Garcinia neglecta</i>	Forêt Nord	2022	1,27	261	0,25	1,34	0,18	517	0,013	
<i>Gardenia aubreyi</i>			1,31	185	0,55	0,60	0,17	20	0,014	
<i>Sparattosyce dioica</i>			1,53	237	0,48	0,97	0,24	40	0,013	
<i>Xylopia veillardii</i>	Pic du Grand Kaori	2022	1,63	345	0,50	0,60	0,18	92	0,012	
<i>Gardenia aubreyi</i>			1,10	95	0,39	0,77	0,19	229	0,092	
<i>Sparattosyce dioica</i>			1,46	115	0,39	1,46	0,26	472	0,082	
<i>Garcinia neglecta</i>	Pic du Pin	2022	0,86	113	0,20	0,70	0,14	520	0,091	
<i>Gardenia aubryi</i>			1,05	120	0,46	0,43	0,14	26	0,077	
<i>Sparattosyce dioica</i>			1,40	168	0,45	0,70	0,29	94	0,064	
Moyenne des espèces communes parcelles permanentes Forêt Nord			2022	1,44	257	0,45	0,88	0,19	167	0,013
Moyenne des espèces communes parcelles permanentes Pic du Grand Kaori			2022	1,28	105	0,39	1,12	0,23	351	0,087
Moyenne des espèces communes parcelles permanentes Pic du Pin			2022	1,10	134	0,37	0,61	0,19	213	0,078
Moyenne des espèces communes des parcelles permanentes sur Forêt Nord, Pic du Grand Kaori, Pic du Pin				1,27	165	0,40	0,87	0,20	244	0,059
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	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	950	

Tableau 13 : Comparaison de la teneur foliaire en 2022 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 2022 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.

En revanche, 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 *Xylopi* cf *veillardii* en Forêt Nord. La variation de la teneur en soufre pour ces espèces entre 2007 à 2022 (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.

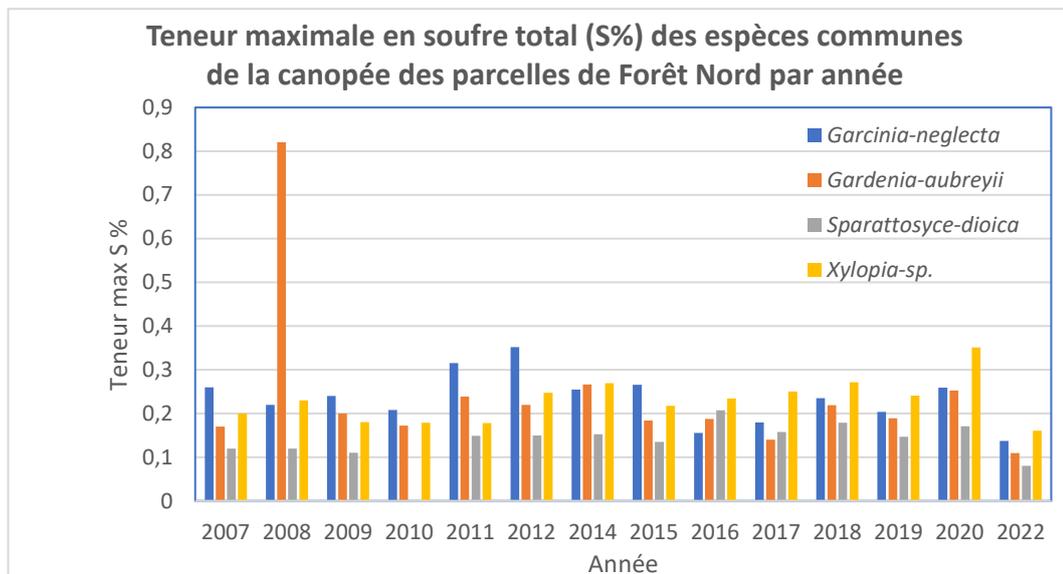


Figure 33 : Teneur maximale en soufre (S%) des arbres des espèces communes de 2007 à 2022 sur les stations à Forêt-Nord le plus proche des sources des émissions industrielles de l'usine de Prony Resources New Caledonia.

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 2022 en Forêt Nord.

Les teneurs en S de *Garcinia* montrent des augmentations légèrement significatives de 2007 à 2015 suivies d'une diminution à 2017 et augmentation à 2020. Cette courbe de variation en S avec un pic en 2015 suivi d'une diminution en 2016 et augmentation à 202, est aussi enregistrée pour *Gardenia*, et *Xylopi*.

5. CONCLUSION

5.1 Etat de santé des parcelles

L'année 2022 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 2022 a donc été primordiale pour évaluer les impacts cumulés des retombées atmosphériques des opérations des installations de Vale NC et de Prony Energie en 2021. La période d'évaluation de février à Mai en 2022 a été souvent interrompue par des conditions soutenues d'intempéries liées au phénomène La Nina. Cependant, le nouveau protocole réduit et simplifié d'échantillonnage appliqué depuis 2012 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 2022 ont permis de constater des fouilles récentes de cochons sur la parcelle PGK 1 en piedmont et PGK 2, et PGK4 sur les éboulis à 313m d'altitude du Pic du Grand Kaori. Ces traces de fouilles étaient quasi absentes sur les parcelles sur les éboulis plus hauts (PGK 3) en 2020. En 2022, les fouilles de cochons sauvages sur la parcelle PGK3 se sont étendues sur la moitié de la parcelle (200m²) 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 de cochons constatés en 2011 se sont étendus aux pentes avoisinantes avec des évidences comme des traces d'érosion et des racines exposées des fouilles. Toutefois la présence de couche de litière non remuée de piedmont sur nombreux endroits auparavant remuées des années précédentes laisse suggérer que moins de permanence de cochons à Pic du Pin. Des fouilles de cochons ont été constaté sur le début du sentier en maquis paraforestier de Forêt Nord mais aucun dégât sur les parcelles permanentes qui se situent en forêt de noyaux. Les fouilles de cochons restent uniquement sur le sentier en lisière du forêt le plus proche du col Paillard.



Figure 34: 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).

Nombreux pieds d'arbre de *Cerberiopsis candelabra* étaient en fruit en fin 2021 (Octobre à novembre) à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori. Cette fructification massive a généré des trouées visibles dans la canopée dans la forêt sur éboulis et aussi en lisière de la route de Forêt Nord à la suite du mort naturel de ses arbres monocarpes qui fructifie une seule fois dans leur vie avant de mourir.

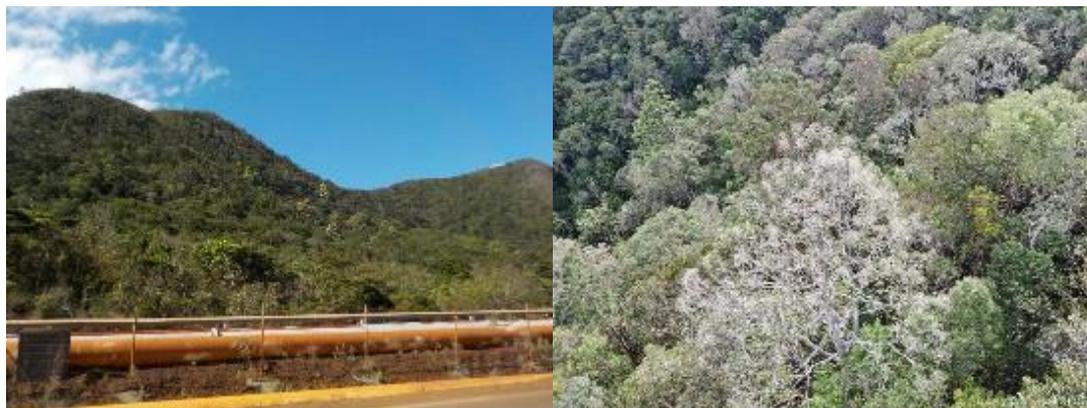
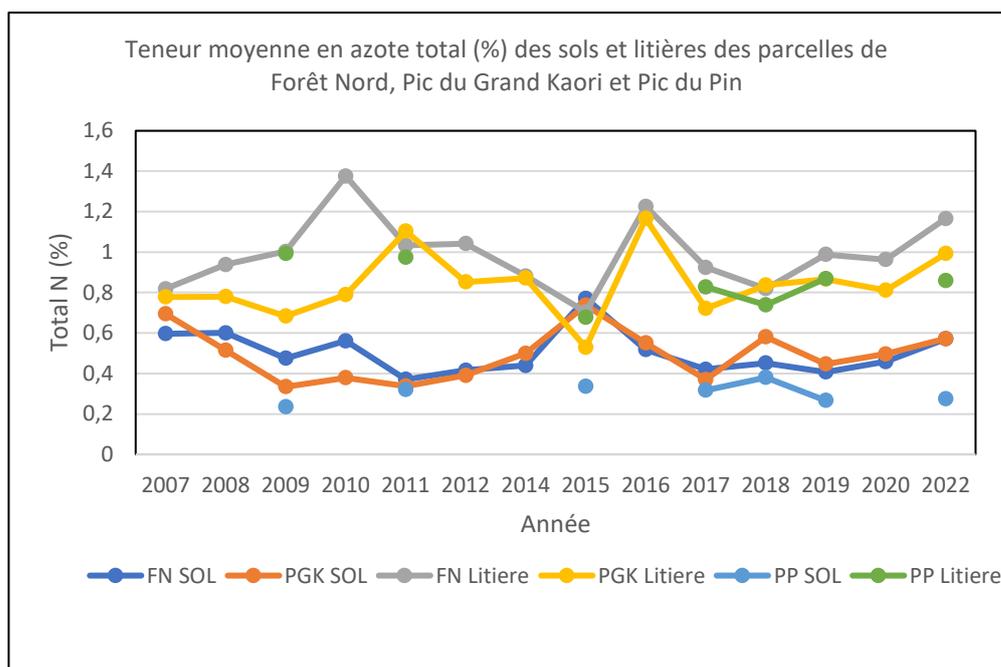


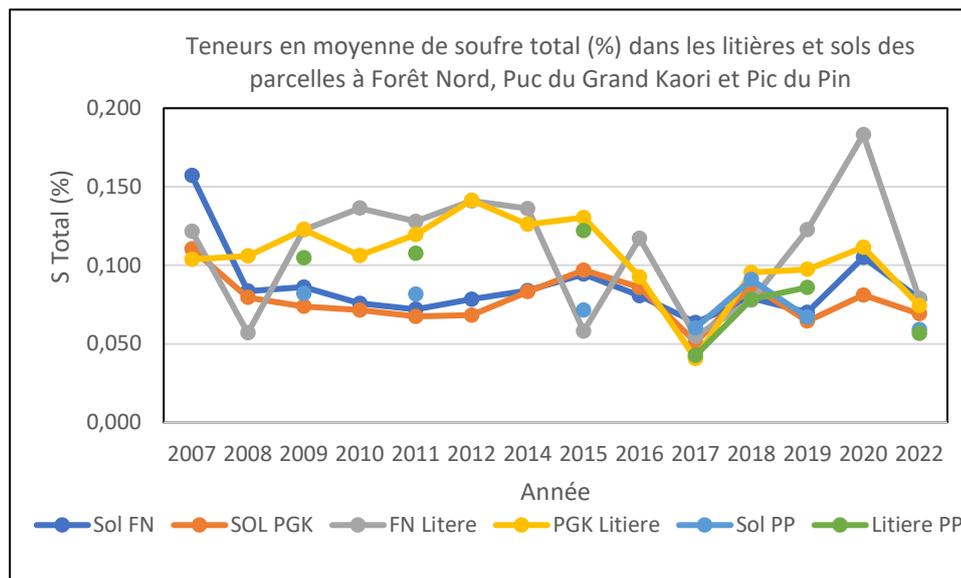
Figure 35 : Floraison des arbres émergeant de Candebra à Forêt Nord en Juillet 2021 Prise de vue de par drone de dépérissement localisé de *Cerberioopsis candelabra* sur Forêt Nord associée au fin de fructification et vie de l'arbre en Octobre 2021.

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



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 et légère montée à 2022 ; 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 pour ensuite remonter à 2022. Les résultats des analyses de sol et litières à Pic du Pin montrent des augmentations en N sont plus bas que les deux autres forêts et plutôt stable de 2009 à 2022.



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 2017. Les teneurs en soufre des sols et litières remontent de nouveau de 2017 à 2020 pour ensuite rebaisser en 2022. Le pic de S de 0.17% enregistrée dans la litière de 2020 de Forêt Nord semble correspondre à une accumulation des émissions de 2019 industriel et naturel. Leur diminution en 2022 à des niveaux <0,1% indique que les conditions sont revenues à la normale.

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 de 2008 à 2014 dans la litière et les espèces communes en Forêt Nord suivies de pics minimaux en 2017 laissent 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. L'augmentation des teneurs en S en 2020 dans la litière et feuilles de *Garcinia*, *Gardenia*, *Spartococcyx* et *Xylopiya* laisse suggérer une accumulation de S à Forêt Nord liée aux activités et incidents industriels. En 2022, cette activité a été mieux maîtrisée comme témoigne la diminution des teneurs en S de la litière et des feuilles des arbres communs de Forêt Nord.

6. RÉFÉRENCES

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-Calédonie*. *Bulletin du Museum National d'Histoire Naturelle, Paris, 4e série., 12, section B., Adansonia*, 3–4, 243–273.

Jaffré, T., Gauthier, D., Rigault, F., & McCoy, S. (1994 b). *Les Casuarinacées endémiques*. *Bois et Forêts des Tropiques* 242, 31-44.

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

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

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

Jaffré T, (2022) *Plant communities of the maquis on ultramafic rocks of New Caledonia*, *Botany Letters*, DOI: 10.1080/23818107.2022.2077436

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. 435-571.

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.

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 Prony Resources : 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.