



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

Bilan 2014



Figure 1: Sous-bois sur éboulis de péridotite de la parcelle FN3 au Reserve de Forêt Nord pris en début 2014.

Vale Nouvelle-Calédonie
Novembre 2015

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	6
2.1 Mesures chimiques du sol, de la litière et des feuilles des espèces communes	6
2.2 Traitement des données	7
2.3 Fréquence d'échantillonnage et données disponibles	7
3. RÉSULTATS	9
3.1 Caractéristiques chimiques des sols, des litières et des espèces communes des stations	10
3.2 Analyse de variance (ANOVA) de la teneur en Azote (N -%) et Soufre (S -%) dans le sol à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori	17
3.3 Analyse de variance (ANOVA) de la teneur en Azote (N -%) et Soufre (S -%) dans la litière à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori	19
3.4 Analyse de variance (ANOVA) de la teneur en Azote (N -%) et Soufre (S -%) dans les arbres communs à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori	23
3.5 Analyse de variance (ANOVA) de la teneur en Azote (N -%) et Soufre (S -%) entre les arbres communs à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori (<i>Gardenia</i> , <i>Sparattocyce</i>)	31
4. ANALYSE DES RESULTATS	32
4.1 Bilan générale des campagnes de suivies des parcelles permanentes	32
4.2 Evolution de la condition chimique des sols, des litières et des végétaux communs	33
4.2.1 Evolution de la condition chimique des sols	33
4.2.2 Evolution de la condition chimique des litières	34
4.2.3 Evolution de la condition chimique des arbres	36
5. CONCLUSION	39
5.1 Etat de santé des parcelles	39
6. RÉFÉRENCES	41

TABLEAUX

Tableau 1 : Localisation et description des parcelles en Forêt-Nord (FN), et Pic du Grand Kaori (PGK).	5
Tableau 2 : Planning des échantillonnages et analyses effectués en 2014 et 2015.	8
Tableau 3 : Nombre d'échantillons et analyses fait par échantillon pour les échantillons de sol litière et feuilles des espèces sélectionnées sur Forêt Nord et Pic du Grand Kaori en 2014.	8
Tableau 4 : Données disponibles pour le suivi des parcelles en 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 et 2011, 2012-2013 et 2014.	8
Tableau 5 : Caractéristiques chimiques des échantillons de litière et de sol - Forêt-Nord (2007-2014)	10
Tableau 6 : Caractéristiques chimiques des échantillons de litière et de sol - Pic du Grand Kaori (2007-2014).....	11
Tableau 7 : Teneur foliaire des espèces communes - Forêt-Nord (2007-2014).....	13
Tableau 8 : Teneur foliaire des espèces communes - Pic du Grand Kaori (2007-2014).....	14
Tableau 9 : Les nombres de mesures, de prélèvements et d'analyses chimiques fait pour la campagne de suivi concernant la période Février à Avril 2014.	33
Tableau 10 : Caractéristiques chimiques des sols des formations du Grand massif du Sud (Read <i>et al</i> , 2006) et valeurs moyennes des stations Forêt Nord en 2012 et Pic du Grand Kaori en 2013.	34
Tableau 11 : Caractéristiques chimiques des litières des formations du Grand massif du Sud (Read <i>et al</i> , 2006) et les valeurs moyennes des stations Forêt Nord et Pic du Grand Kaori en 2014.	34
Tableau 12: Variation annuelles dans les teneurs en K, Na, Ca, Mg, P et Mn dans la litière de Forêt Nord.	35
Tableau 13 : Variation annuelles dans les teneurs en K, Na, Ca, Mg, P et Mn dans la litière de Pic du Grand Kaori.	35
Tableau 14 : Comparaison de la teneur foliaire en (T5-T6) des espèces communes d'arbres avec les valeurs moyennes des espèces forestières et para forestières décrites par Jaffré <i>et al</i> (1994 b)	37

FIGURES

Figure 1: Sous-bois sur éboulis de péridotite de la parcelle FN3 au Reserve de Forêt Nord pris en début 2015.....	1
Figure 2 : Localisation des parcelles en Forêt-Nord et Pic du Grand Kaori.....	4
Figure 3 : <i>Gardenia aubreyii</i> (haut gauche), <i>Garcinia neglecta</i> (haut droit), <i>Sparattocyce dioica</i> (bas gauche), <i>Xylopi</i> <i>veillardii</i> (bas droit).....	6
Figure 4 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour 2014.....	17
Figure 5 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour 2014.....	17
Figure 6 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Pic du Grand Kaori.....	18
Figure 7 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des litières - Forêt-Nord.....	20
Figure 8 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des litières - Pic du Grand Kaori.....	21
Figure 9 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Garcinia neglecta</i> (<i>Guttiferae</i>) - Forêt-Nord.....	23
Figure 10 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Garcinia neglecta</i> (<i>Guttiferae</i>) - Forêt-Nord.....	24
Figure 11 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> (<i>Rubiaceae</i>) - Forêt-Nord.....	24
Figure 12 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> (<i>Rubiaceae</i>) - Forêt-Nord.....	25
Figure 13 : 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 pour 2014 (droite).....	25
Figure 14 : 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 pour 2014 (droite).....	26
Figure 15 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Xylopi</i> <i>sp</i> (<i>veillardii</i>) - Forêt-Nord selon l'année (à gauche) et altitude (m) pour 2014 (à droite).....	27
Figure 16 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Xylopi</i> <i>sp</i> (<i>veillardii</i>) - Forêt-Nord selon l'année (à gauche) et altitude (m) pour 2014 (à droite).....	27
Figure 17 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> - Pic du Grand Kaori.....	28
Figure 18 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> (<i>Rubiaceae</i>) - Pic du Grand Kaori.....	29
Figure 19 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Sparattocyce dioica</i> Pic du Grand Kaori.....	29
Figure 20 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Sparattocyce dioica</i> - Pic du Grand Kaori.....	30
Figure 21 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) gauche et en Soufre total (S-%) (droite) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> -.....	31
Figure 22 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) gauche et en Soufre total (S-%) (droite) des feuilles de <i>Sparattocyce dioica</i> -.....	32

INTRODUCTION

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

1. LES PARCELLES PERMANENTES

1.1 Protocole de suivi

Vale Nouvelle-Calédonie a fait appel en 2004 au Professeur F. Murray de l'université de Murdoch en Australie occidentale, pour mettre en place une méthode de suivi de la santé des parcelles. Le protocole a pour objectif de fournir les informations nécessaires afin de 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 des sources d'émission atmosphérique de l'usine. Plus éloignée du site industriel, la réserve du Pic du Grand Kaori est située à environ 5 km de la zone d'influence des émissions atmosphériques. La réserve du Pic du Pin est placée hors de la zone d'influence du site industriel et a été choisie comme site témoin pour permettre une comparaison des données issues du suivi des stations de la zone d'influence. Cependant le site a été abandonné en 2011 car les parcelles ont été fortement impactées par des cochons sauvages.

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

1.2 Objectifs et indicateurs

Les objectifs du suivi des réserves en 2014 ont été modifiés suite à l'analyse des résultats de 2011 et des recommandations proposées par le Professeur Francis Murray lors de son évaluation en Décembre 2011 (Murray, 2012). En effet, les mesures effectuées pour établir le bilan sur 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 entre 2006 et 2010. Ces faibles changements peuvent être attribués en grande partie à leur lent métabolisme. Les suivies en 2014 de Forêt Nord et Pic du Grand Kaori ont été modifiés selon les recommandations de Frank Murray comme suit :

- Les relevés de la composition floristique et de la structure des parcelles (hauteur ou DBH des individus) à Forêt Nord et Pic de Grand Kaori se feront tous les 5 ans.
- Les suivies des parcelles du Pic du Pin ont été supprimées à cause des dégâts importants causés par des cochons sauvages en 2011.
- L'échantillonnage de sol et de litière montre très peu de variabilité dans les teneurs des éléments suivies. Leur nombre a ainsi été réduit à 5 au lieu de 10 dès 2012.
- Les analyses chimiques des feuilles des espèces communes entre 2006 et 2011 ne montraient que peu de variation. L'absence de variation dans les *Pandanus* and *Meryta*, 2 espèces de sous-bois, n'apportaient pas d'éléments pour l'analyse des conditions chimiques de la canopée. Ainsi, deux espèces d'arbres communes de la canopée (ex : *Gardenia aubryi* et *Sparattosyce dioica* sur Pic du Grand Kaori) ont été choisies pour l'échantillonnage foliaire: cela

permettra d’avoir un meilleur aperçu de l’état de santé de ce milieu récepteur des émissions atmosphériques.

Enfin, l’activité chlorophyllienne des plantes n’a pu être mesurée au début de la campagne à cause d’un dysfonctionnement majeur du PEA meter.

De ce fait, les objectifs de la campagne de surveillance de début 2014 présentés dans ce rapport ont été simplifiés et sont les suivant :

- Déterminer tout changement dans la santé des végétaux en lien direct ou indirect avec les émissions atmosphériques industrielles
- Evaluer l’apport des polluants atmosphériques et leur absorption à différents niveaux grâce aux mesures de concentration en S, N et métaux dans les feuilles, la litière et le sol.

1.3 Localisation des parcelles permanentes

La localisation et la description des 4 parcelles à Forêt Nord et les 4 parcelles à Pic du Grand Kaori sont présentées à la figure 1 et au tableau 1.

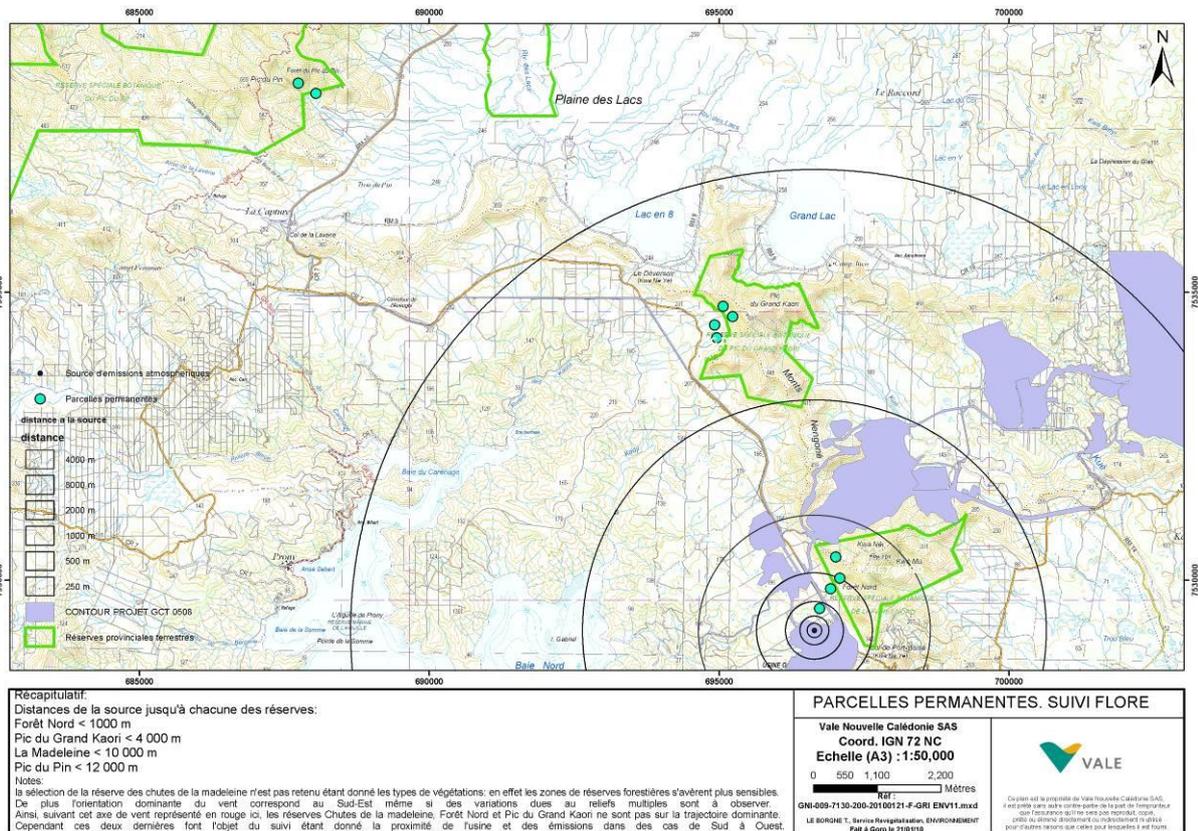


Figure 2 : Localisation des parcelles en Forêt-Nord, Pic du Grand Kaori et Pic du Pin.

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>Anillostrum</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

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

2. MÉTHODE DE SUIVI

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

Critères et techniques de prélèvement

5 échantillons de 100 grammes de sol et de litière 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. 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.

5 échantillons de 40 grammes de feuilles à différents stades de développement ont été récoltés sur les deux espèces d'arbres communs de chaque parcelle. Ces prélèvements ont été réalisés sur des arbres mesurant 6 à 12 m de haut à l'aide d'un échenilloir télescopique afin d'évaluer l'état de santé de la strate canopée, milieu récepteur des émissions atmosphériques. Les espèces retenues pour l'échantillonnage foliaire à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori sont *Gardenia aubryi*, *Garcinia neglecta*, *Sparattocyce dioica* et *Xylopia veillardii* (figure 2).



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

Les échantillons ont été envoyés pour prétraitement et analyses chimiques au Laboratoire des Moyens Analytiques (LAMA) de l'IRD à Nouméa.

- Paramètres chimiques

Les analyses chimiques effectuées par l'IRD ont pour objectif d'identifier d'éventuelles augmentations annuelles de conductivité, azote, soufre ou métaux, qui pourraient suggérer une accumulation de ces éléments dans les sols, litières et feuilles des arbres des milieux forestiers et qui seraient dues à des pollutions gazeuses de SO₂ et de NO_x liées aux émissions industriels de Vale Nouvelle-Calédonie ou de la centrale électrique à charbon de Prony Energies (Enercal).

Les analyses de sol, litière et feuilles ont été effectuées par le Laboratoire des Moyens Analytiques (LAMA) de l'IRD de Nouméa selon les techniques et les normes Européennes (ISO 9001) appliquées par l'IRD.

2.2 Traitement des données

Les résultats des analyses chimiques pour la période début 2014 sont présentés sous forme d'un tableau de synthèse composé de données exprimées en moyennes et en écarts-types selon l'altitude de la parcelle. Les moyennes et écarts-types sont choisis pour mieux décrire la variabilité des mesures entre parcelles et effectuer des comparaisons entre stations. Les tableaux de synthèse sont les suivants :

- Synthèse de la teneur des éléments des sols et litières échantillonnées sur la Forêt-Nord
- Synthèse de la teneur des éléments des sols et litières échantillonnées sur Pic du Grand Kaori.
- Synthèse de la teneur en éléments dans les feuilles des espèces échantillonnées à Forêt-Nord
- Synthèse de la teneur en éléments dans les feuilles des espèces échantillonnées à Pic du Grand Kaori.

Des analyses de variance multifactorielle (MANOVA) ont été appliquées aux bases de données avec le logiciel statistique « JMP3 » sur les teneurs en Azote (N %) et 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 en fonction de la strate, de l'année ou de l'altitude. Les traitements statistiques effectués sont les suivants :

- Analyses de variance des teneurs en N % et S % des sols de Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori entre T0, T1, T2, T3, T4 et T5. MANOVA
- Analyses de variance des teneurs en N % et S % des sols de Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori, selon l'altitude. MANOVA
- Analyses de variance des teneurs en N % et S % des litières de Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori entre T0, T1, T2, T3, T4, et T5. MANOVA
- Analyses de variance des teneurs en N % et S % des litières de Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori selon l'altitude. MANOVA
- Analyses de variance des teneurs en N % et S % dans les feuilles des espèces communes de Forêt-Nord et de Pic du Grand Kaori entre T0, T1, T2, T3, T4 et T5. MANOVA.
- Analyses de variance des teneurs en N % et S % de *Gardenia aubreyii* et *Sparattocyce dioica* entre Forêt Nord et Pic du Grand Kaori.

2.3 Fréquence d'échantillonnage et données disponibles

Le calendrier ci-dessous présente le planning 2014-2015 pour les mesures et analyses des résultats issus du suivi des parcelles permanentes des stations forestières.

Une absence de personnel disponible a LAMA IRD Nouméa pour effectuer les analyses chimiques a engendré un délai de >1 an à l'obtention des résultats des analyses des sols et des végétaux.

Activité de suivi ou analyse	févr-14	Mars 2014	Avril 2014	Mai 2014	Juin 2014	Juillet 2014	Aout 2014	Septembre 2014	Octobre 2014	Novembre 2014	déc-14	Janvier 2015	févr-15	Mars 2015	Avril 2015	Mai 2015	Juin 2015	Juillet 2015	Aout 2015	Septembre 2015
Prélèvement sols litière et feuilles pour analyses chimiques à Forêt Nord																				
Analyses chimiques effectuées par IRD pour échantillons de Forêt Nord																				
Réception des résultats des analyses Chimique de Forêt Nord																				
Prélèvement sols litière et feuilles pour analyses chimiques à Pic du Grand Kaori																				
Analyses chimiques effectuées par IRD pour échantillons Pic du Grand Kaori																				
Réception des résultats des analyses Chimiques de Pic du Grand Kaori																				
Analyses des données et rédaction rapport 2015																				

Tableau 2 : Planning des échantillonnages et analyses effectués en 2014 et 2015.

Le tableau ci-dessous récapitule le nombre d'échantillon prélevé de sols et végétaux ainsi que les nombres d'éléments analysés.

Tableau 3 : Nombre d'échantillons et analyses fait par échantillon pour les échantillons de sol litière et feuilles des espèces sélectionnées sur Forêt Nord et Pic du Grand Kaori en 2014.

Suivi	Forêt-Nord				Pic du Grand Kaori				Pic du Pin			
	Diversité	Structure	Santé	Chimie	Diversité	Structure	Santé	Chimie	Diversité	Structure	Santé	Chimie
Début de l'étude												
2006 : suivi des parcelles disponibles	4	4	4									
2007 : suivi des parcelles disponibles	4	4	4	4	4	4	4	4				
2008 : suivi des parcelles disponibles				4	4	4	4	4				
2009 : suivi des parcelles disponibles				4				4	2	2	2	2
2010 : suivi des parcelles disponibles			4	3				4				2
2011 : suivi des parcelles disponibles			4	4			4	4	NA	NA	NA	NA
2012-2013 : suivi des parcelles disponibles				4				4	NA	NA	NA	NA
2014 : suivi des parcelles				4				4	NA	NA	NA	NA

Tableau 4 : Données disponibles pour le suivi des parcelles en 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 et 2011, 2012-2013 et 2014.

3. RÉSULTATS

Les résultats des analyses chimiques des sols, litières et feuilles des espèces communes depuis 2006 jusqu'à la campagne de 2014 sont présentés dans les tableaux 4, 5, 6 et 7 afin de mettre en évidence les évolutions annuelles à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori.

Les résultats des analyses statistiques permettant d'évaluer les variations des teneurs en soufre et en azote dans le sol, litière et feuilles, en fonction de l'année et de l'altitude, sont présentés dans les figures 4, 5, 8, 9, puis 12 à 19 pour Forêt Nord. Les résultats des analyses statistiques permettant d'évaluer les variations des teneurs en soufre et en azote dans le sol, litière et feuilles, en fonction de l'année et de l'altitude, sont présentés dans les figures 6, 7, 10, 11, puis 20 à 23 pour Pic du Grand Kaori. L'analyse de variance des teneurs en soufre des feuilles de *Gardenia aubreyi* et *Sparattocycne dioica* entre Forêt Nord et Pic du Grand Kaori est présenté en figures 24 et 25.

3.1 Caractéristiques chimiques des sols, des litières et des espèces communes des stations

- Caractéristiques chimiques des parcelles de Forêt-Nord

LITIÈRE	PARCEL		FN4								FN1								FN2								FN3																												
	Altitude (mètres)		179								185								243								287																												
	Année		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2014		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2014		2007		2008		2009		2011		2012		2014														
	Date		24/05/2007	02/04/2008	23/11/2009	28/12/2010	22/11/2011	08/01/2013	19/02/2014	23/05/2007	01/04/2008	30/11/2009	14/12/2010	20/12/2011	09/01/2013	11/02/2014	29/05/2007	09/04/2008	01/12/2009	06/12/2010	06/02/2012	21/12/2012	12/12/2014	30/05/2007	10/04/2008	02/12/2009	23/02/2012	21/12/2012	26/02/2014																										
Analyses	Elément	MOY.	Ecart	MOY.	Ecart	MOY.	Ecart	MOY.	Ecart	MOY.	Ecart	MOY.	Ecart	MOY.	Ecart	MOY.	Ecart	MOY.	Ecart	MOY.	Ecart	MOY.	Ecart	MOY.	Ecart	MOY.	Ecart	MOY.	Ecart	MOY.	Ecart	MOY.	Ecart	MOY.	Ecart	MOY.	Ecart																		
		n=10	n=10	n=10	n=10	n=10	n=5	n=5	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10	n=5	n=5	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10	n=5	n=5	n=10	n=10	n=10	n=10	n=5	n=5	n=10	n=10	n=10	n=10	n=5	n=5	n=5	n=5																			
CHNS Humide	N %	0,92	0,18	1,09	0,14	1,21	0,18	1,54	0,08	1,10	0,14	1,22	0,19	1,10	0,14	0,85	0,14	0,95	0,18	1,00	0,10	1,27	0,15	1,11	0,14	1,10	0,24	1,11	0,14	0,93	0,15	1,01	0,11	0,97	0,13	1,30	0,10	1,08	0,08	1,05	0,12	1,08	0,08	0,58	0,09	0,71	0,12	0,83	0,16	0,85	0,10	0,80	0,05	0,85	0,10
	C %	48,97	1,87	50,35	0,94	46,86	1,37	48,45	0,63	51,29	1,16	48,45	0,63	49,63	1,10	47,76	1,13	47,84	1,62	50,30	3,40	50,41	1,60	50,30	3,40	44,47	4,14	35,53	4,92	44,66	3,09	45,45	1,95	41,50	1,56	45,45	1,95	46,52	3,98	46,99	3,86	48,31	1,53	44,24	2,19	48,31	1,53								
	S %	0,11	0,02	0,05	0,02	0,12	0,01	0,13	0,01	0,13	0,02	0,13	0,01	0,13	0,02	0,14	0,02	0,14	0,01	0,15	0,02	0,08	0,02	0,12	0,02	0,14	0,01	0,13	0,01	0,15	0,01	0,13	0,01	0,15	0,01	0,13	0,01	0,15	0,01	0,13	0,01	0,10	0,01	0,04	0,01	0,12	0,01	0,11	0,01	0,14	0,02	0,11	0,01		
Attaque totale acide/fusion alcaline	Ca %	1,44	0,22	1,44	0,28	1,47	0,38	1,39	0,22	1,51	0,16	1,65	0,15	1,51	0,16	1,82	0,40	1,52	0,47	1,63	0,48	1,97	0,32	1,62	0,34	1,46	0,22	1,62	0,34	1,50	0,15	1,32	0,19	1,55	0,10	1,56	0,17	1,34	0,26	1,50	0,14	1,34	0,26	1,46	0,55	1,69	0,40	1,97	0,45	1,99	0,52	1,81	0,49	1,99	0,52
	Mg %	0,23	0,06	0,23	0,04	0,29	0,10	0,38	0,07	0,22	0,03	0,19	0,02	0,22	0,03	0,29	0,08	0,30	0,09	0,32	0,09	0,32	0,10	0,33	0,06	0,28	0,07	0,33	0,06	0,43	0,07	0,39	0,08	0,39	0,06	0,42	0,10	0,39	0,06	0,36	0,05	0,39	0,06	0,24	0,07	0,22	0,03	0,27	0,04	0,27	0,04	0,24	0,05	0,27	0,04
	Na %	0,08	0,02	0,01	0,00	0,05	0,01	0,05	0,02	0,05	0,02	0,04	0,00	0,05	0,02	0,07	0,03	0,02	0,01	0,03	0,01	0,05	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,03	0,02	0,14	0,06	0,04	0,03	0,10	0,06	0,06	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0,04	0,02	0,05	0,02	0,01	0,01	0,05	0,02	0,03	0,02	0,02	0,00	0,03	0,02
	K %	0,16	0,05	0,05	0,01	0,13	0,03	0,12	0,05	0,13	0,03	0,10	0,03	0,13	0,03	0,06	0,02	0,08	0,02	0,03	0,02	0,07	0,01	0,08	0,02	0,08	0,02	0,12	0,05	0,07	0,01	0,15	0,05	0,11	0,02	0,09	0,03	0,09	0,02	0,09	0,02	0,07	0,02	0,03	0,01	0,07	0,02	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01		
	P ppm	161	43	155	28	159	33	212	39	205	33	199	40	205	33	212	48	198	46	212	38	260	66	197	48	225	45	197	48	259	55	284	43	168	36	314	76	254	67	305	34	254	67	82	21	84	10	99	34	78	10	116	22	78	10
Mn ppm	910	507	1280	378	1178	765	1027	376	1290	479	968	339	1290	479	1606	954	1235	1140	1518	1253	1398	629	860	546	1028	359	860	546	269	117	328	114	104	57	602	613	229	106	401	133	229	106	333	158	429	186	407	189	502	226	483	113	502	226	

SOL	PARCEL		FN4								FN1								FN2								FN3																														
	Année		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2014		2007		2008		2009		2010		2011		2012		2014		2007		2008		2009		2011		2012		2014																
	Date		24/05/2007	20/04/2008	23/11/2009	28/12/2010	22/11/2011	08/01/2013	19/02/2014	23/05/2007	01/04/2008	30/11/2009	14/12/2010	20/12/2011	09/01/2013	11/02/2014	29/05/2007	09/04/2008	01/12/2009	06/12/2010	06/02/2012	21/12/2012	12/12/2014	30/05/2007	10/04/2008	02/12/2009	23/02/2012	21/12/2012	26/02/2014																												
	Analyses	Elément	MOY.	Ecart	MOY.	Ecart	MOY.	Ecart	MOY.	Ecart	MOY.	Ecart	MOY.	Ecart	MOY.	Ecart																																									
n=10			n=10	n=10	n=10	n=10	n=5	n=5	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10	n=5	n=5	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10	n=5	n=5	n=10	n=10	n=10	n=10	n=5	n=5	n=10	n=10	n=10	n=10	n=5	n=5	n=5	n=5																					
CHNS Humide	pH H2O	0,68	0,23	0,68	0,31	0,54	0,21	5,75	0,19	5,40	0,21	5,42	0,29	5,14	0,08	0,30	0,17	0,36	0,16	0,23	0,06	6,06	0,41	5,97	0,44	5,68	0,38	5,60	0,38	0,89	0,26	0,83	0,09	0,63	0,09	0,75	0,11	0,63	0,09	0,58	0,06	0,64	0,19	0,52	0,26	0,54	0,22	0,51	0,20	0,51	0,20	0,28	0,09	0,38	0,08	0,43	0,21
	N %	12,73	4,48	10,39	4,34	6,39	1,54	5,89	0,65	6,26	0,65	6,57	1,35	4,68	1,19	6,03	3,03	7,14	3,34	4,08	0,79	5,72	0,97	4,00	1,42	5,03	1,17	4,92	0,51	14,41	6,59	12,40	1,84	6,15	0,49	6,39	0,57	7,33	0,71	7,94	0,47	8,62	1,52	12,22	6,59	11,39	4,87	6,13	1,52	5,44	1,40	7,82	1,04	9,38	1,91		
	S %	0,19	0,03	0,07	0,02	0,11	0,02	0,09	0,01	0,08	0,01	0,08	0,01	0,06	0,01	0,14	0,03	0,08	0,02	0,08	0,01	0,07	0,03	0,07	0,01	0,08	0,01	0,09	0,01	0,18	0,04	0,12	0,02	0,08	0,01	0,07	0,02	0,08	0,01	0,08	0,01	0,11	0,02	0,12	0,04	0,06	0,03	0,08	0,02	0,06	0,01	0,07	0,01	0,08	0,01		
Cations échangeables	Ca méq%	11,25	6,61	6,11	3,18	7,29	2,67	5,79	2,86	3,43	2,86	6,68	4,73	6,77	4,27	6,25	4,10	2,09	1,17	5,09	2,18	2,26	2,02	4,19	3,65	2,32	0,66	11,77	14,24	8,30	1,29	6,93	1,83	5,84	1,99	6,49	1,33	9,88	3,08	6,37	2,57	20,44	14,24	14,90	5,91	15,56	7,89	6,65	3,55	17,25	11,37	17,46	4,26				
	Mg méq%	5,40	2,03	4,40	2,20	6,19	2,76	6,13	2,54	3,85	2,54	4,33	1,86	3,51	1,30	3,62	1,87	4,78	2,59	4,55	3,16	5,72	3,26	4,65	3,75	4,22	2,68	5,44	4,25	14,96	2,53	11,89	2,23	14,44	6,00	14,46	6,76	16,35	6,52	12,65	2,28	18,02	11,74	5,77	2,53	7,45	3,63	6,60	2,62	3,80	1,17	5,94	1,15	8,74	2,58		
	Na méq%	0,39	0,12	0,39	0,14	0,46	0,19	0,38	0,12	0,27	0,12	0,33	0,14	0,16	0,03	0,29	0,11	0,28	0,09	0,23	0,07	0,27	0,10	0,26	0,11	0,26	0,05	0,29	0,07	0,62	0,14	0,41	0,06	0,30	0,12	0,49	0,12	0,41	0,13	0,44	0,14	0,36	0,09	0,37	0,14	0,21	0,07	0,32	0,11	0,24	0,08	0,31	0,06	0,34	0,07		
Capacité d'échange	K méq%	0,39	0,10	0,43	0,10	0,42	0,16	0,34	0,12	0,26	0,12	0,29	0,12	0,14	0,03	0,30	0,09	0,29	0,06	0,19	0,03	0,35	0,08	0,26	0,07	0,23	0,05	0,24	0,04	0,52	0,13	0,48	0,08	0,36	0,06	0,45	0,09	0,40	0,07	0,43	0,08	0,38	0,09	0,30	0,13	0,30	0,14	0,45	0,31	0,14	0,05	0,32	0,08	0,32	0,11		
	Ca g/kg	3	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	0	5	14	5	1	4	1	4	1	4	1	5	1	3	1	9	14	5	2	29	76	2	1	6	5	5	2		
	Mg mg/kg	7186	1059	8124	642	7244	2																																																		

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

Espèces par année et altitude (m)	Moyenne de N %		Moyenne de P ppm		Moyenne de K %		Moyenne de Ca %		Moyenne de Mg %		Moyenne de Na %		Moyenne de Mn ppm		Moyenne de S %	
	Écartype de N %		Écartype de P ppm		Écartype de K %		Écartype de Ca %		Écartype de Mg %		Écartype de Na %		Écartype de Mn ppm		Écartype de S %	
Garcinia-neglecta	1,06	0,29	385,63	145,36	0,50	0,13	2,04	0,68	0,33	0,12	0,15	0,13	745,67	706,06	0,17	0,04
2007	0,93	0,22	357,63	134,54	0,54	0,13	2,11	0,76	0,36	0,13	0,18	0,05	962,25	869,78	0,17	0,03
184	1,10	0,07	479,75	49,50	0,47	0,12	2,70	0,23	0,46	0,06	0,17	0,05	1568,63	871,45	0,18	0,02
287	0,75	0,16	235,50	47,43	0,61	0,09	1,52	0,62	0,26	0,10	0,18	0,05	355,88	145,72	0,17	0,04
2008	1,00	0,33	349,88	147,13	0,51	0,20	1,87	0,57	0,33	0,13	0,10	0,07	859,38	975,76	0,16	0,04
184	1,31	0,09	483,13	70,21	0,39	0,16	2,40	0,18	0,43	0,11	0,11	0,10	1436,63	1127,03	0,15	0,03
287	0,70	0,06	216,63	29,52	0,64	0,16	1,35	0,21	0,23	0,03	0,10	0,03	282,13	91,64	0,17	0,05
2009	0,99	0,36	372,31	183,72	0,51	0,10	1,82	0,57	0,28	0,10	0,14	0,07	534,25	532,71	0,16	0,04
184	1,33	0,09	528,00	126,64	0,47	0,10	2,28	0,41	0,36	0,07	0,15	0,08	746,00	705,85	0,15	0,04
287	0,64	0,02	216,63	29,81	0,55	0,09	1,36	0,22	0,20	0,03	0,13	0,06	322,50	85,98	0,18	0,03
2010	1,18	0,05	448,25	70,67	0,38	0,08	2,12	0,68	0,38	0,06	0,39	0,28	1141,75	510,69	0,17	0,03
184	1,18	0,05	448,25	70,67	0,38	0,08	2,12	0,68	0,38	0,06	0,39	0,28	1141,75	510,69	0,17	0,03
287																
2011	1,11	0,24	374,31	158,72	0,48	0,12	2,02	0,69	0,28	0,09	0,09	0,04	424,00	326,93	0,19	0,04
184	1,32	0,06	514,00	59,89	0,46	0,11	2,41	0,59	0,34	0,07	0,09	0,03	549,38	403,72	0,19	0,03
287	0,90	0,13	234,63	76,15	0,50	0,14	1,63	0,57	0,21	0,06	0,10	0,04	298,63	173,55	0,20	0,06
2012	1,33	0,22	477,00	69,48	0,51	0,08	2,50	0,79	0,41	0,15	0,11	0,05	753,30	525,05	0,20	0,07
179	1,26	0,18	443,00	44,63	0,52	0,09	2,38	0,90	0,32	0,13	0,13	0,06	716,20	423,80	0,20	0,09
184	1,41	0,25	511,00	77,33	0,51	0,08	2,63	0,74	0,50	0,10	0,09	0,05	790,40	661,23	0,19	0,04
2014	1,29	0,22	548,60	70,88	0,64	0,12	2,22	0,42	0,47	0,06	0,24	0,11	1083,40	568,52	0,17	0,04
179	1,48	0,13	509,20	63,79	0,69	0,14	1,95	0,27	0,45	0,06	0,30	0,11	1095,40	415,52	0,15	0,04
185	1,09	0,04	588,00	57,91	0,59	0,09	2,50	0,38	0,50	0,07	0,17	0,06	1071,40	744,47	0,18	0,05
Gardenia-aubreyii	1,67	0,65	398,16	120,50	1,49	0,75	1,04	0,19	0,36	0,10	0,41	0,11	125,80	153,18	0,24	0,17
2007	1,39	0,10	356,00	21,69	1,43	0,28	1,18	0,13	0,32	0,03	0,49	0,10	64,88	9,64	0,16	0,01
179	1,39	0,10	356,00	21,69	1,43	0,28	1,18	0,13	0,32	0,03	0,49	0,10	64,88	9,64	0,16	0,01
2008	3,11	0,17	647,63	38,39	3,05	0,29	0,82	0,20	0,53	0,11	0,43	0,12	417,75	202,32	0,61	0,12
179	3,11	0,17	647,63	38,39	3,05	0,29	0,82	0,20	0,53	0,11	0,43	0,12	417,75	202,32	0,61	0,12
2009	1,55	0,08	338,50	21,70	1,20	0,18	1,19	0,17	0,36	0,05	0,46	0,09	71,63	14,65	0,18	0,01
179	1,55	0,08	338,50	21,70	1,20	0,18	1,19	0,17	0,36	0,05	0,46	0,09	71,63	14,65	0,18	0,01
2010	1,49	0,06	315,00	33,38	0,98	0,09	1,03	0,11	0,30	0,05	0,35	0,03	75,13	36,44	0,15	0,01
179	1,49	0,06	315,00	33,38	0,98	0,09	1,03	0,11	0,30	0,05	0,35	0,03	75,13	36,44	0,15	0,01
2011	1,31	0,10	403,63	30,23	1,25	0,17	0,99	0,13	0,34	0,04	0,46	0,11	96,75	57,92	0,20	0,02
179	1,31	0,10	403,63	30,23	1,25	0,17	0,99	0,13	0,34	0,04	0,46	0,11	96,75	57,92	0,20	0,02
2012	1,26	0,15	342,20	76,68	1,11	0,40	1,04	0,13	0,31	0,04	0,29	0,08	48,10	24,97	0,18	0,02
179	1,29	0,08	398,40	58,70	1,33	0,42	1,01	0,14	0,29	0,05	0,24	0,07	61,00	30,81	0,19	0,02
287	1,22	0,21	286,00	43,45	0,90	0,27	1,07	0,12	0,33	0,04	0,34	0,07	35,20	6,14	0,16	0,01
2014	1,46	0,27	409,50	109,46	1,40	0,27	1,03	0,12	0,33	0,04	0,32	0,05	38,90	6,94	0,18	0,03
179	1,66	0,20	490,60	98,06	1,58	0,20	0,97	0,06	0,30	0,02	0,28	0,01	42,40	7,64	0,20	0,04
287	1,25	0,12	328,40	29,97	1,21	0,17	1,09	0,14	0,36	0,04	0,37	0,04	35,40	4,39	0,17	0,02
Xylopi-a-sp.	1,49	0,18	596,54	69,94	0,81	0,14	1,11	0,15	0,37	0,07	0,29	0,10	51,84	55,28	0,17	0,03
2007	1,21	0,09	566,75	36,21	0,82	0,19	1,21	0,15	0,43	0,06	0,39	0,08	36,75	11,84	0,16	0,02
243	1,21	0,09	566,75	36,21	0,82	0,19	1,21	0,15	0,43	0,06	0,39	0,08	36,75	11,84	0,16	0,02
2008	1,39	0,06	507,63	27,22	0,76	0,18	1,27	0,15	0,38	0,04	0,29	0,05	87,00	77,77	0,17	0,05
243	1,39	0,06	507,63	27,22	0,76	0,18	1,27	0,15	0,38	0,04	0,29	0,05	87,00	77,77	0,17	0,05
2009	1,58	0,07	615,75	22,55	0,80	0,08	1,09	0,11	0,40	0,05	0,32	0,04	32,38	6,16	0,16	0,02
243	1,58	0,07	615,75	22,55	0,80	0,08	1,09	0,11	0,40	0,05	0,32	0,04	32,38	6,16	0,16	0,02
2010	1,63	0,07	578,75	32,25	0,75	0,11	1,08	0,12	0,40	0,03	0,38	0,08	32,38	7,69	0,16	0,02
243	1,63	0,07	578,75	32,25	0,75	0,11	1,08	0,12	0,40	0,03	0,38	0,08	32,38	7,69	0,16	0,02
2011	1,57	0,18	649,88	77,79	0,80	0,11	1,00	0,11	0,37	0,06	0,23	0,07	30,00	5,88	0,16	0,01
243	1,57	0,18	649,88	77,79	0,80	0,11	1,00	0,11	0,37	0,06	0,23	0,07	30,00	5,88	0,16	0,01
2012	1,57	0,10	647,70	72,54	0,89	0,16	1,05	0,11	0,28	0,04	0,17	0,06	84,40	90,25	0,19	0,03
184	1,54	0,10	647,00	65,59	0,89	0,17	1,10	0,13	0,27	0,06	0,18	0,07	144,80	95,76	0,20	0,03
243	1,61	0,09	648,40	86,81	0,89	0,16	1,00	0,06	0,29	0,03	0,17	0,05	24,00	6,16	0,18	0,01
2014	1,30	0,08	667,80	33,22	1,12	0,20	1,21	0,20	0,36	0,07	0,23	0,09	131,10	141,24	0,21	0,04
185	1,28	0,10	677,40	23,20	1,17	0,15	1,28	0,27	0,34	0,09	0,18	0,09	232,60	138,28	0,24	0,03
243	1,31	0,06	658,20	41,41	1,06	0,25	1,13	0,05	0,38	0,04	0,28	0,05	29,60	2,70	0,19	0,02

Tableau 7 : Teneur foliaire des espèces communes - Forêt-Nord (2007-2014)

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

- Toutes les espèces possèdent des teneurs en Calcium (Ca) supérieures aux concentrations de Magnésium (Mg).
- Les teneurs en N, P, K et Ca sont en générale plus élevées sur les plantes sur les parcelles du bas que sur les parcelles du haut.
- Les teneurs en Mn sont plus élevées dans les feuilles de Garcinia sur les parcelles basses (> 1000ppm) que sur les parcelles hautes entre 2007 et 2010 et reviennent à des niveaux équivalents aux parcelles hautes de 2012 à 2014 (500ppm).

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

Espèces par année et altitude (m)	Moyenne de N-%		Moyenne de P-ppm		Moyenne de K-%		Moyenne de Ca-%		Moyenne de Mg-%		Moyenne de Na-%		Moyenne de Mn-ppm		Moyenne de S-%	
	Moyenne de N-%	Écartype de N-%2	Moyenne de P-ppm	Écartype de P-ppm	Moyenne de K-%	Écartype de K-%	Moyenne de Ca-%	Écartype de Ca-%	Moyenne de Mg-%	Écartype de Mg-%	Moyenne de Na-%	Écartype de Na-%	Moyenne de Mn-ppm	Écartype de Mn-ppm	Moyenne de S-%	Écartype de S-%
Gardenia-aubryi	1,12	0,21	274,53	36,17	0,93	0,25	1,10	0,35	0,36	0,08	0,40	0,11	44,53	34,28	0,16	0,03
2007	1,03	0,16	265,81	39,90	0,80	0,30	1,40	0,64	0,37	0,07	0,44	0,12	59,91	42,46	0,17	0,05
240	1,15	0,09	280,50	26,10	0,91	0,18	1,07	0,21	0,33	0,06	0,53	0,08	45,75	10,66	0,19	0,03
250	1,12	0,08	288,50	30,68	1,00	0,14	1,06	0,23	0,40	0,08	0,46	0,05	83,38	67,56	0,15	0,02
315	1,04	0,07	274,75	43,15	0,93	0,18	1,04	0,07	0,39	0,03	0,51	0,08	27,50	11,20	0,11	0,03
330	0,81	0,06	219,50	13,70	0,36	0,06	2,45	0,19	0,35	0,07	0,26	0,03	83,00	22,61	0,22	0,03
2008	1,09	0,11	268,00	30,90	0,95	0,21	0,97	0,15	0,35	0,05	0,47	0,08	39,94	25,95	0,15	0,04
240	1,15	0,09	280,75	24,56	0,95	0,22	0,93	0,17	0,34	0,07	0,52	0,05	60,13	29,86	0,18	0,05
250	1,06	0,05	241,50	14,19	0,78	0,14	0,96	0,14	0,36	0,07	0,44	0,05	50,38	22,90	0,12	0,04
315	0,99	0,12	255,50	27,12	0,98	0,17	1,00	0,20	0,37	0,03	0,47	0,09	14,25	3,28	0,14	0,01
330	1,15	0,10	294,25	27,08	1,10	0,20	0,98	0,07	0,34	0,04	0,44	0,10	35,00	13,52	0,16	0,02
2009	1,20	0,37	258,69	25,29	0,92	0,17	1,19	0,21	0,37	0,07	0,46	0,09	35,53	19,92	0,16	0,02
240	1,15	0,16	264,88	22,15	0,88	0,11	1,26	0,22	0,38	0,07	0,43	0,05	27,38	14,27	0,15	0,01
250	1,42	0,13	268,00	32,38	0,85	0,24	1,28	0,22	0,30	0,05	0,42	0,04	56,00	17,13	0,17	0,02
315	0,69	0,03	241,13	15,42	0,91	0,15	0,99	0,11	0,43	0,05	0,55	0,11	29,38	23,63	0,16	0,02
330	1,56	0,20	260,75	23,58	1,05	0,10	1,25	0,10	0,37	0,06	0,45	0,09	29,38	7,74	0,16	0,01
2010	1,30	0,10	273,06	30,33	0,83	0,24	1,02	0,31	0,34	0,08	0,34	0,05	44,16	54,30	0,15	0,03
240	1,35	0,08	284,38	30,59	0,69	0,21	1,16	0,18	0,38	0,08	0,36	0,07	29,50	17,45	0,15	0,02
250	1,28	0,13	266,13	18,83	0,87	0,21	0,89	0,16	0,31	0,07	0,33	0,03	52,13	18,39	0,14	0,02
315	1,25	0,10	257,50	33,66	0,78	0,30	1,09	0,56	0,38	0,09	0,33	0,05	63,25	106,88	0,17	0,04
330	1,31	0,09	284,25	32,07	0,99	0,10	0,97	0,11	0,30	0,04	0,34	0,05	31,75	9,00	0,14	0,02
2012	1,10	0,13	290,97	38,44	1,09	0,29	0,99	0,14	0,36	0,09	0,35	0,10	52,41	29,33	0,16	0,02
240	1,22	0,10	316,75	36,95	1,11	0,18	0,92	0,10	0,36	0,07	0,35	0,10	69,63	30,05	0,17	0,02
250	1,18	0,07	311,88	20,41	1,41	0,22	0,99	0,13	0,26	0,03	0,23	0,06	72,38	23,00	0,17	0,02
315	0,99	0,06	253,38	24,32	0,95	0,23	1,00	0,14	0,42	0,08	0,41	0,08	27,88	18,29	0,14	0,01
330	1,01	0,10	281,88	34,67	0,92	0,23	1,04	0,17	0,40	0,09	0,39	0,05	39,75	19,41	0,16	0,02
2013	1,01	0,13	297,86	40,66	0,96	0,20	0,99	0,17	0,34	0,06	0,33	0,10	37,26	21,09	0,18	0,03
240	1,04	0,10	329,66	13,37	0,89	0,19	0,99	0,28	0,36	0,08	0,32	0,07	24,17	8,91	0,18	0,01
250	1,08	0,21	299,56	53,88	1,03	0,21	1,02	0,20	0,30	0,05	0,29	0,09	52,58	22,01	0,18	0,02
315	0,95	0,05	263,73	19,55	0,86	0,20	0,96	0,08	0,38	0,05	0,45	0,10	31,59	23,34	0,17	0,01
330	0,99	0,09	298,50	40,80	1,05	0,17	0,98	0,11	0,31	0,02	0,26	0,07	40,70	21,01	0,19	0,05
2014	1,02	0,16	277,00	35,77	1,01	0,21	1,05	0,15	0,37	0,10	0,41	0,09	36,95	13,18	0,17	0,02
240	1,04	0,21	308,00	13,44	1,10	0,26	1,05	0,13	0,30	0,03	0,37	0,09	38,20	15,93	0,18	0,02
250	1,06	0,22	248,00	28,84	1,09	0,16	0,96	0,07	0,35	0,11	0,37	0,05	38,80	13,08	0,15	0,02
315	0,94	0,06	281,80	44,99	0,94	0,25	1,02	0,20	0,41	0,07	0,40	0,06	30,80	6,98	0,16	0,01
330	1,05	0,11	270,20	26,47	0,91	0,12	1,20	0,10	0,45	0,11	0,53	0,07	40,00	16,93	0,18	0,02
Sparattocyce dioica	1,30	0,20	370,07	43,17	1,10	0,23	1,61	0,28	0,45	0,15	0,27	0,09	106,13	53,62	0,13	0,01
2013	1,33	0,11	371,53	44,75	1,09	0,22	1,54	0,22	0,40	0,13	0,24	0,08	100,91	64,40	0,13	0,01
240	1,41	0,14	396,02	45,52	1,06	0,24	1,61	0,23	0,35	0,05	0,27	0,07	72,29	33,16	0,13	0,01
250	1,28	0,10	361,46	36,41	1,14	0,22	1,44	0,14	0,50	0,15	0,23	0,08	84,16	21,50	0,13	0,01
315	1,25	0,06	340,05	21,66	0,87	0,08	1,70	0,29	0,44	0,15	0,30	0,07	141,40	117,57	0,14	0,00
330	1,36	0,08	388,60	56,27	1,28	0,12	1,40	0,08	0,31	0,08	0,18	0,07	105,79	29,39	0,14	0,01
2014	1,28	0,26	368,60	42,64	1,11	0,24	1,67	0,33	0,51	0,15	0,30	0,09	111,35	41,18	0,13	0,01
240	1,24	0,43	374,40	57,26	1,11	0,13	1,58	0,33	0,60	0,06	0,25	0,05	89,20	43,49	0,12	0,01
250	1,17	0,21	333,20	36,20	1,19	0,34	1,53	0,35	0,45	0,20	0,23	0,04	134,00	44,57	0,12	0,01
315	1,30	0,12	381,40	27,49	1,21	0,22	1,59	0,12	0,38	0,05	0,31	0,05	109,00	35,64	0,13	0,01
330	1,40	0,17	385,40	33,57	0,93	0,20	1,98	0,32	0,60	0,10	0,42	0,08	113,20	40,51	0,15	0,01

Tableau 8 : Teneur foliaire des espèces communes - Pic du Grand Kaori (2007-2014)

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

- Toutes les espèces possèdent des teneurs en Calcium (Ca) supérieures aux concentrations de Magnésium (Mg).
- Les espèces contiennent des teneurs foliaires en Azote (N) entre 0,8 % et 1,4%.

3.2 Analyse de variance (ANOVA) de la teneur en Azote (N-%) et Soufre (S-%) dans le sol à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori

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

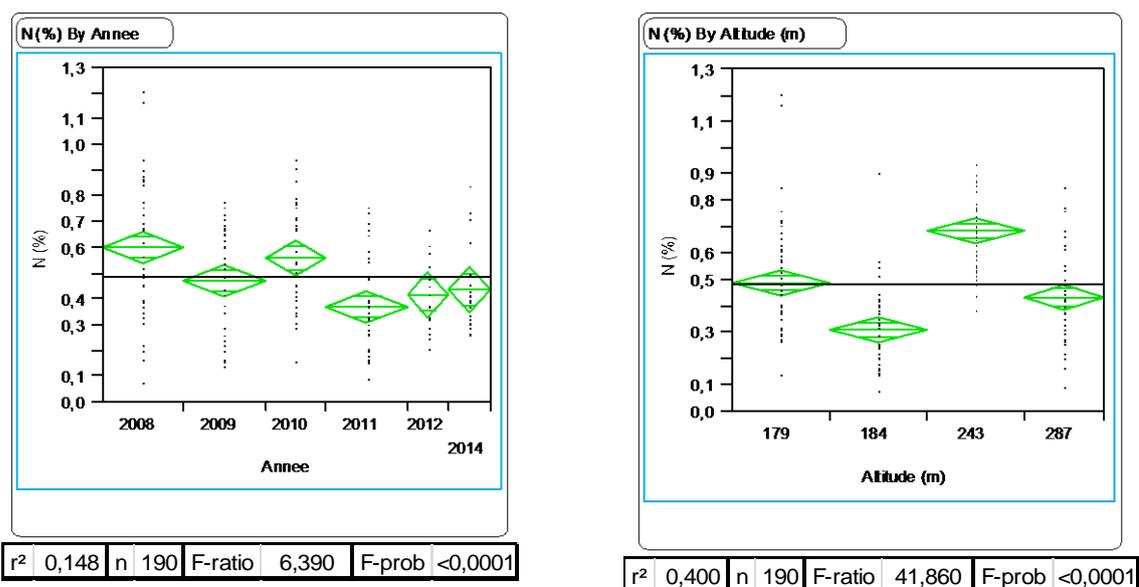


Figure 4 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour 2014.

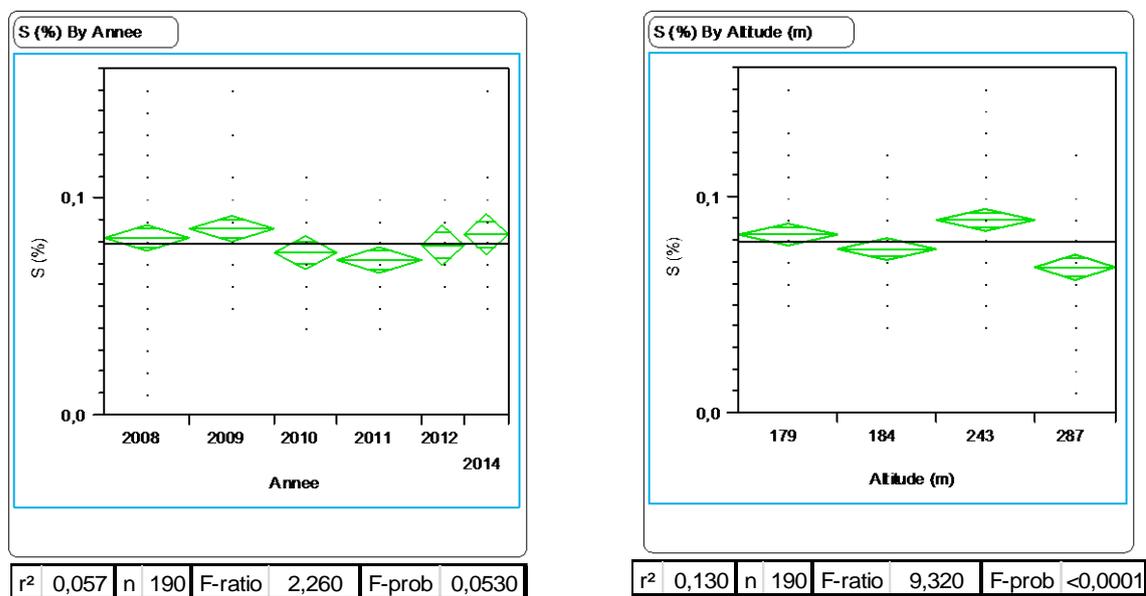


Figure 5 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour 2014.

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des sols de Forêt-Nord prélevés sur les parcelles permanentes de 2007 à 2012 montre plusieurs tendances :

- Les teneurs en N et S montrent une diminution significative de 2007 à 2012.
- 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**

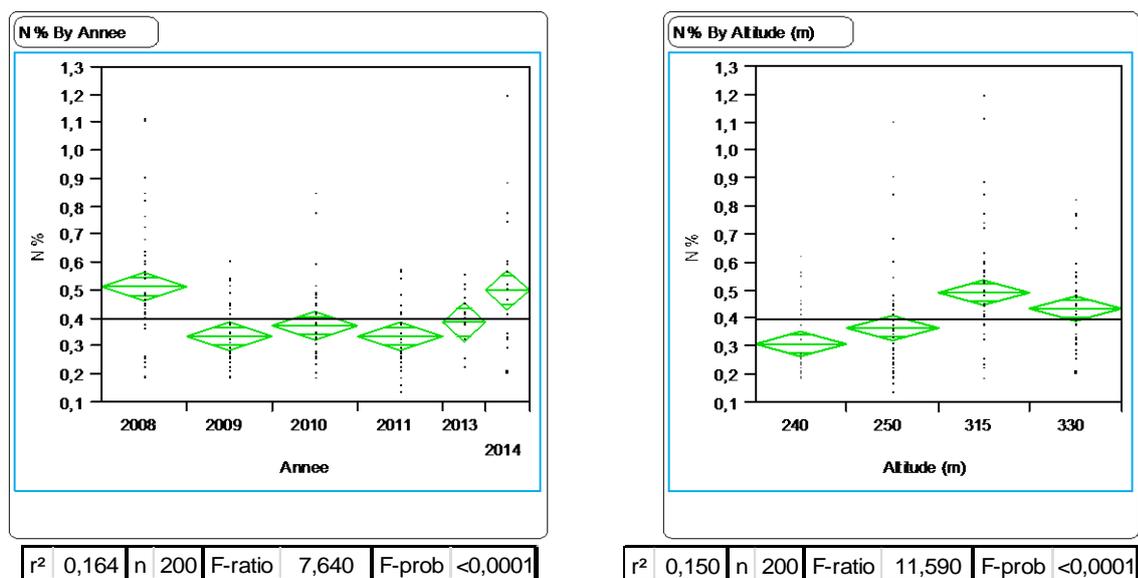


Figure 6 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour 2014.

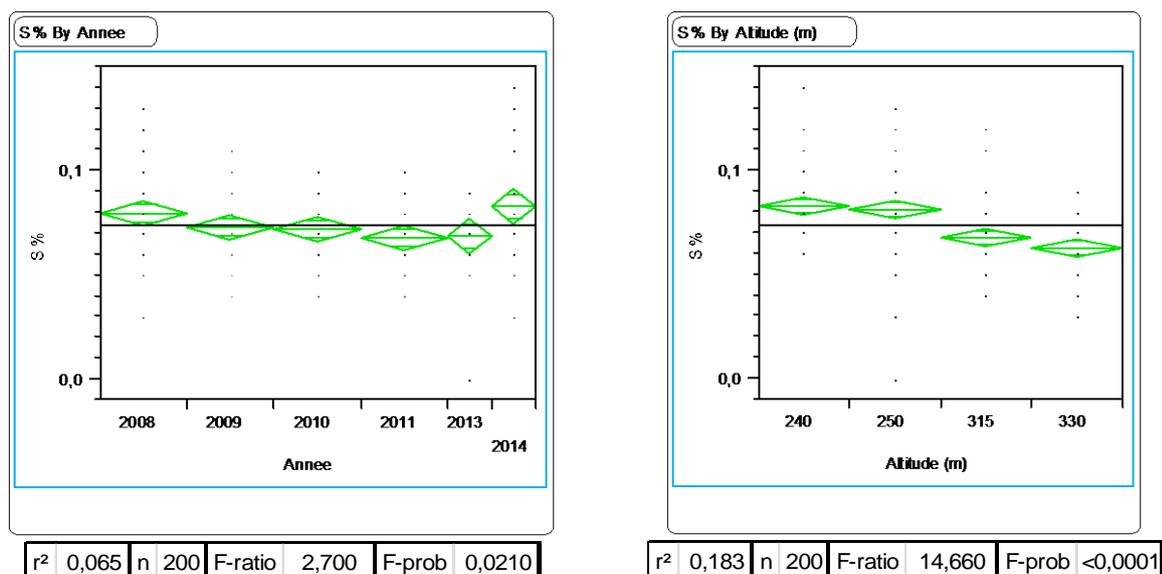


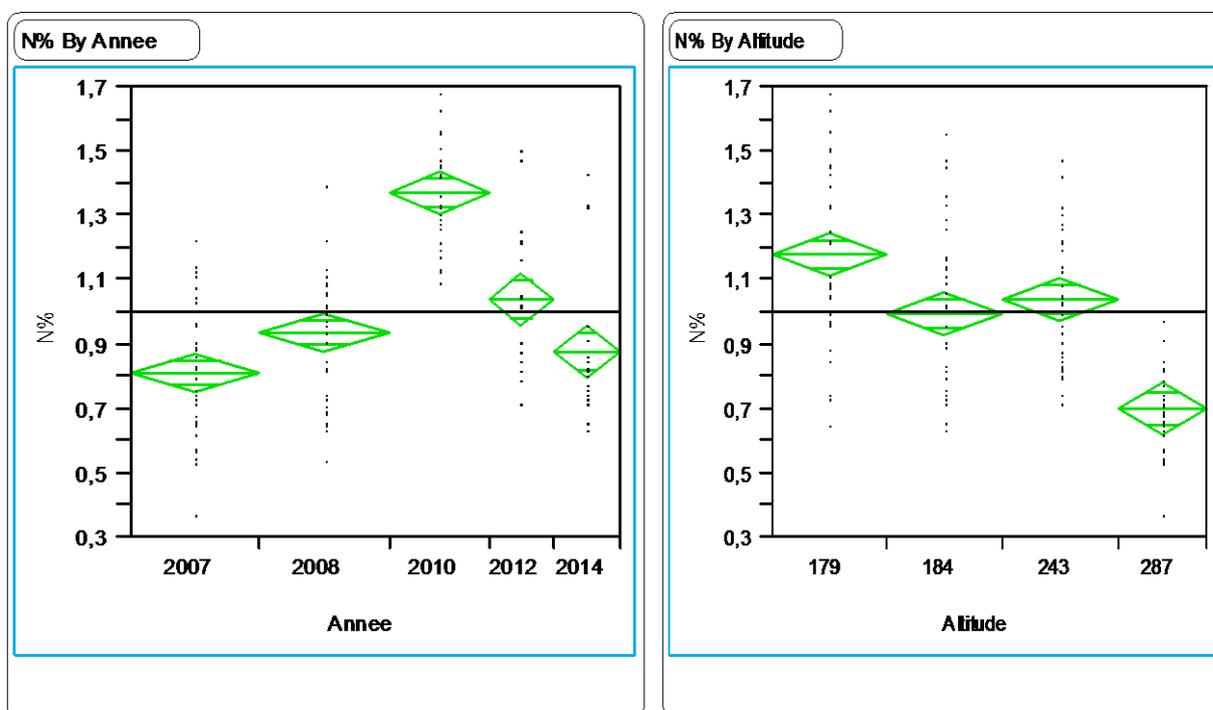
Figure 7 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour 2014.

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des sols du Pic du Grand Kaori prélevés sur les parcelles permanentes de 2007 à 2013 montre plusieurs tendances :

- Les teneurs en N, et S, montrent une légère diminution de 2007 à 2013 et une augmentation en 2014.
- Les teneurs en N varient de manière significative entre les parcelles se trouvant à des altitudes différentes.
- La teneur en S diminue de manière significative avec l'augmentation de l'altitude.

3.3 Analyse de variance (ANOVA) de la teneur en Azote (N -%) et Soufre (S -%) dans la litière à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori

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



r^2	0,514	n	150	F-ratio	38,380	F-prob	<0,0001
-------	-------	---	-----	---------	--------	--------	---------

r^2	0,350	n	170	F-ratio	29,860	F-prob	<0,0001
-------	-------	---	-----	---------	--------	--------	---------

Figure 8 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des litières - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour 2014.

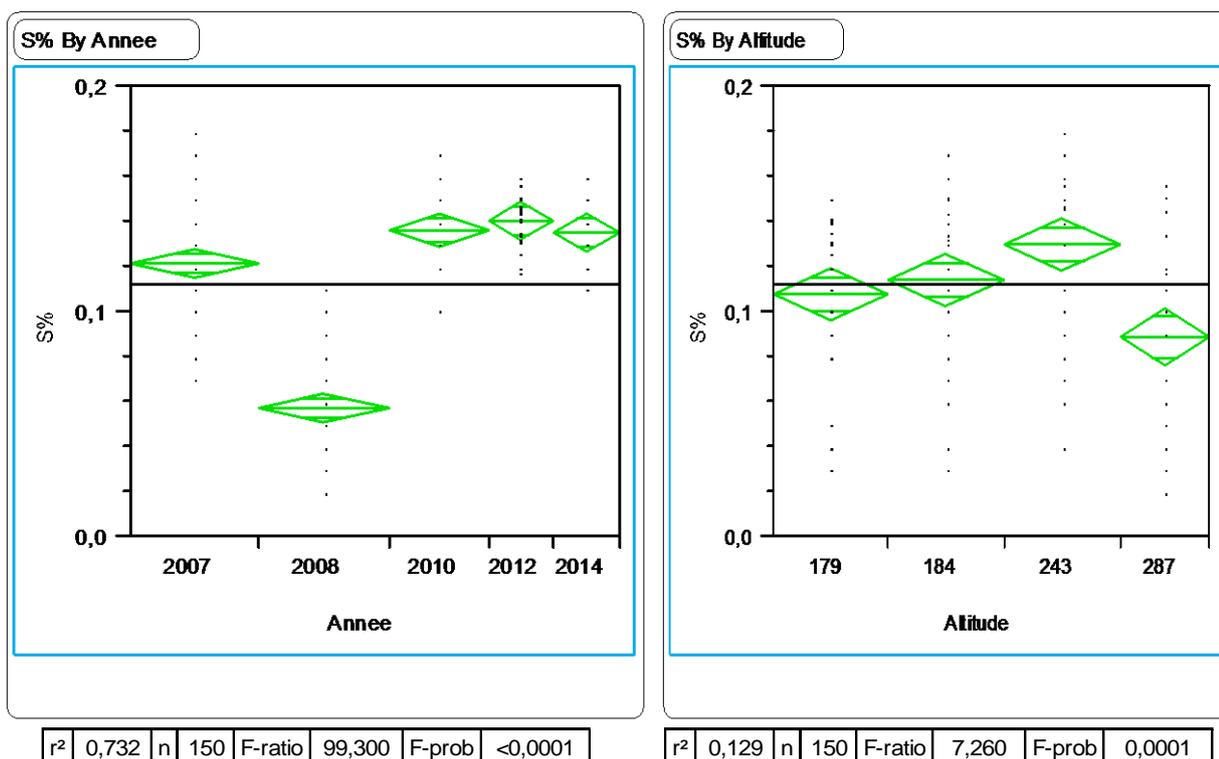


Figure 9 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des litières - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour 2014.

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des litières de Forêt-Nord prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2012 montre plusieurs tendances :

- La teneur en N montre une augmentation significative de 2007 à 2010 et une diminution de 2010 à 2012 qui pourrait suggérer des variations cycliques.
- Les teneurs en S montrent une légère augmentation entre 2007 et 2012
- Les teneurs en N diminuent avec une augmentation de l'altitude

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

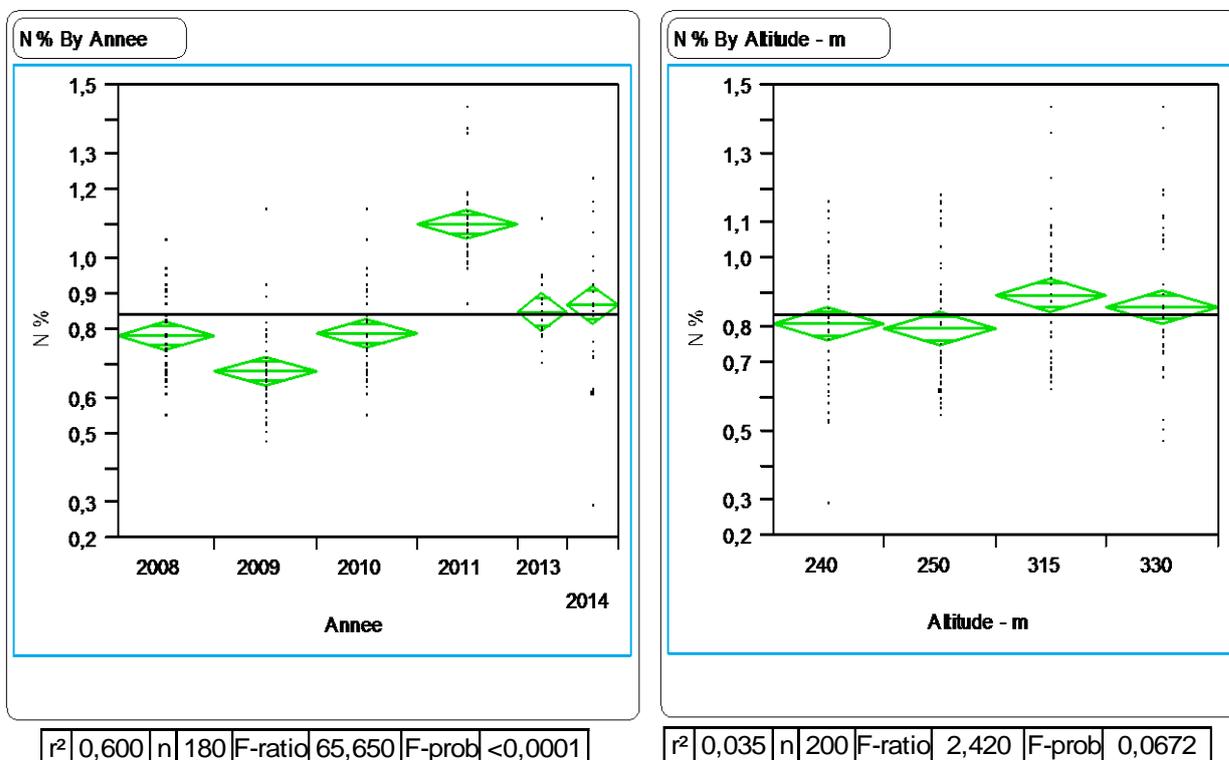


Figure 10 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des litières - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour 2014.

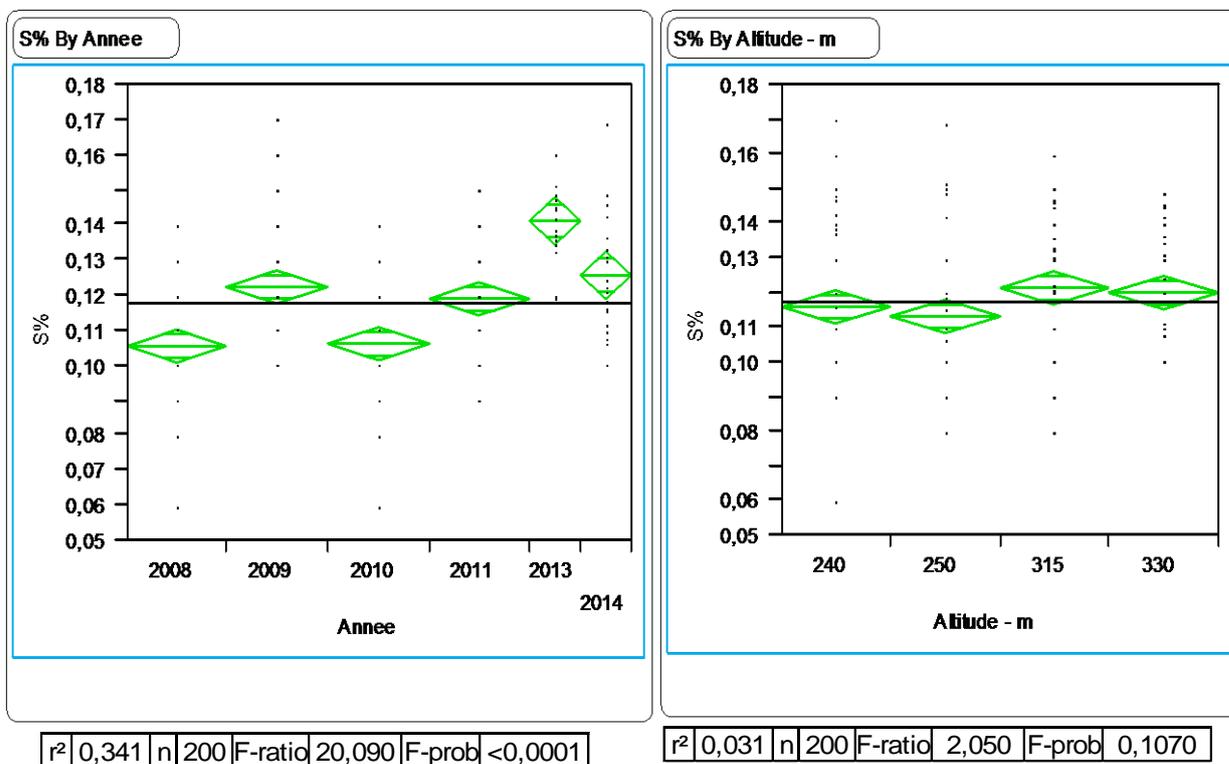


Figure 11 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des litières - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour 2014.

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des litières du Pic du Grand Kaori prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2014 montre plusieurs tendances :

- Les teneurs en N et S montrent une augmentation de 2007 à 2014 mais de manière aléatoire.
- Les teneurs en N et S ne varient pas de manière significative entre les parcelles selon l'altitude.

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

- 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)

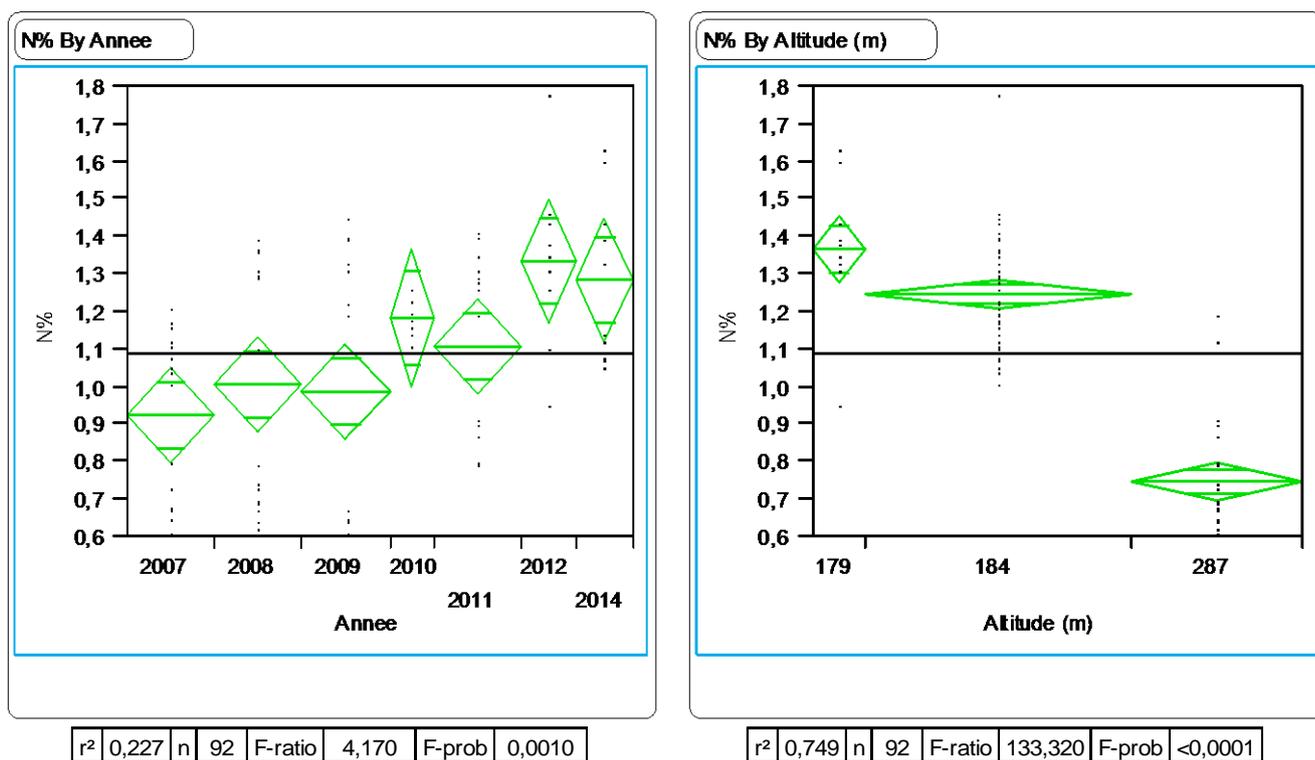


Figure 12 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Garcinia neglecta* (Guttiferae) - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour 2014.

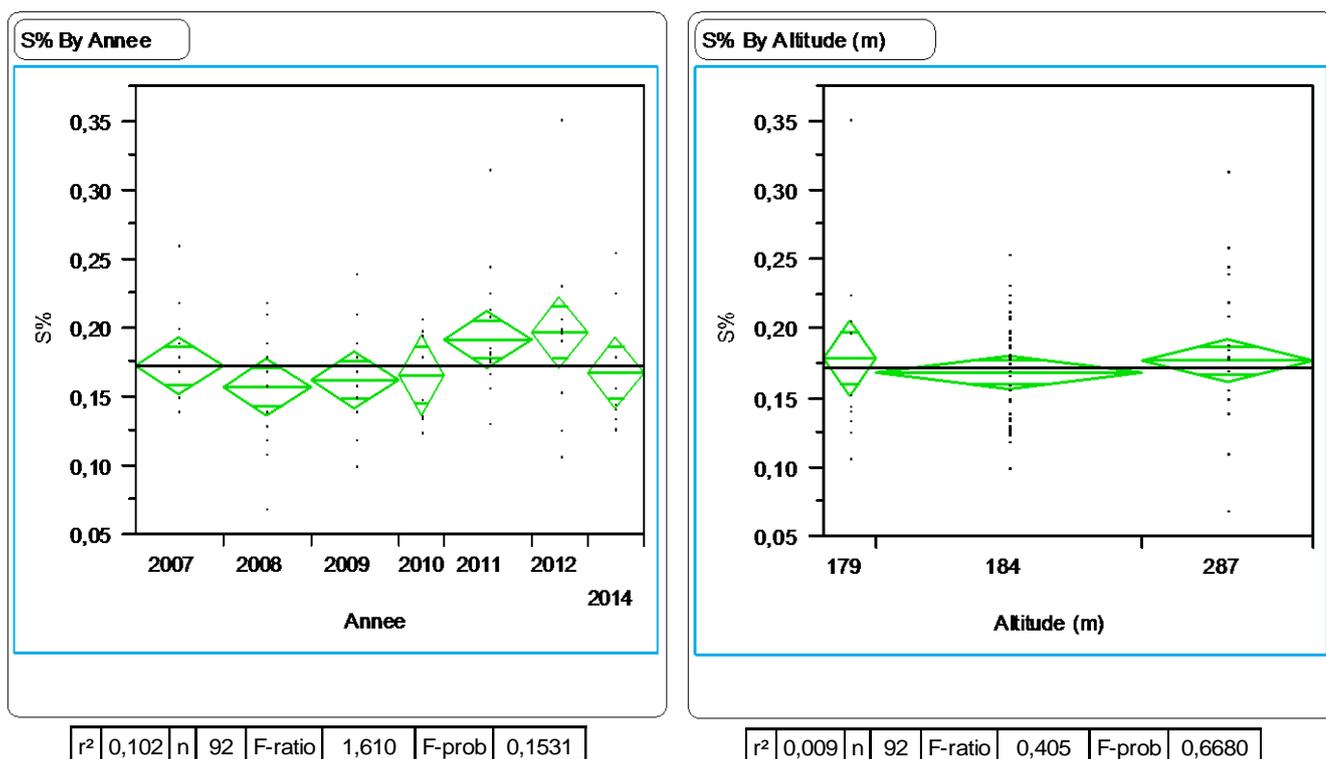


Figure 13 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de *Garcinia neglecta* (*Guttiferae*) - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour 2014.

***Gardenia aubreyi* (*Rubiaceae*)**

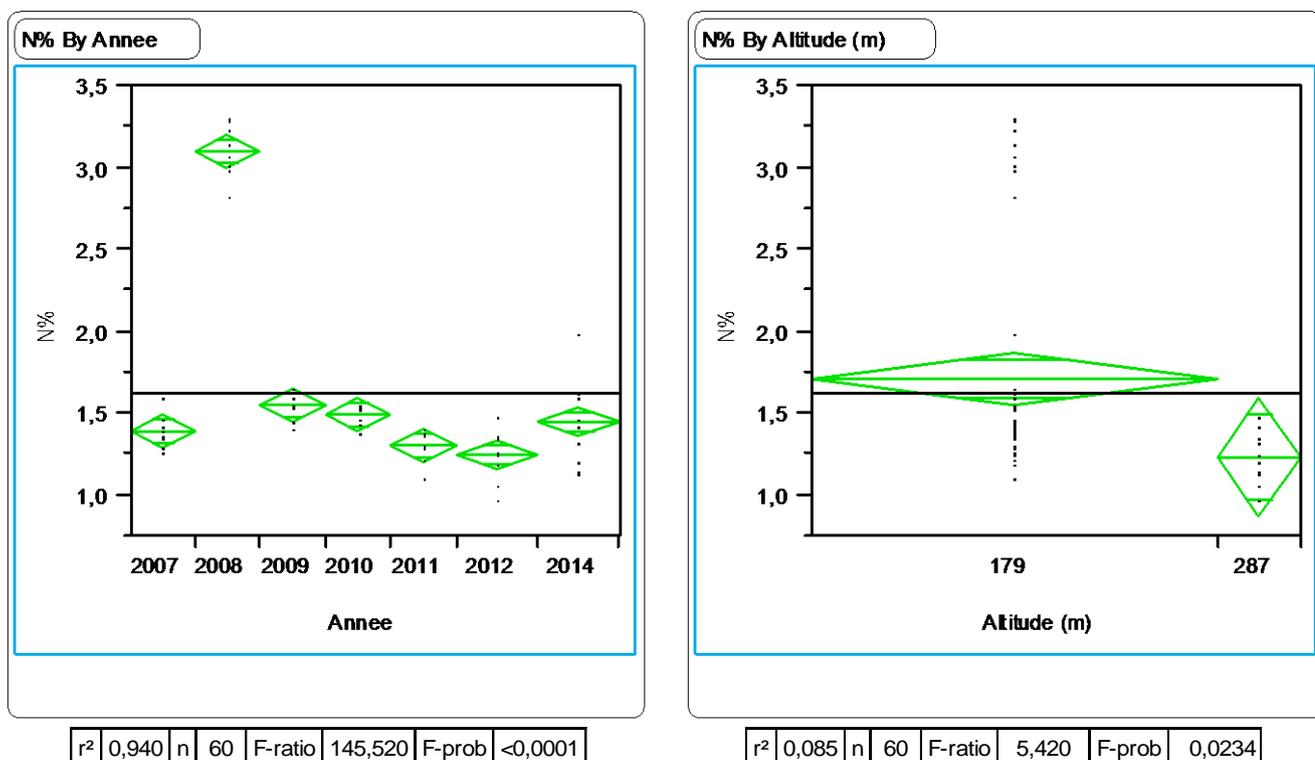


Figure 6 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Gardenia aubreyi* (*Rubiaceae*) - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude pour 2014 (droite)

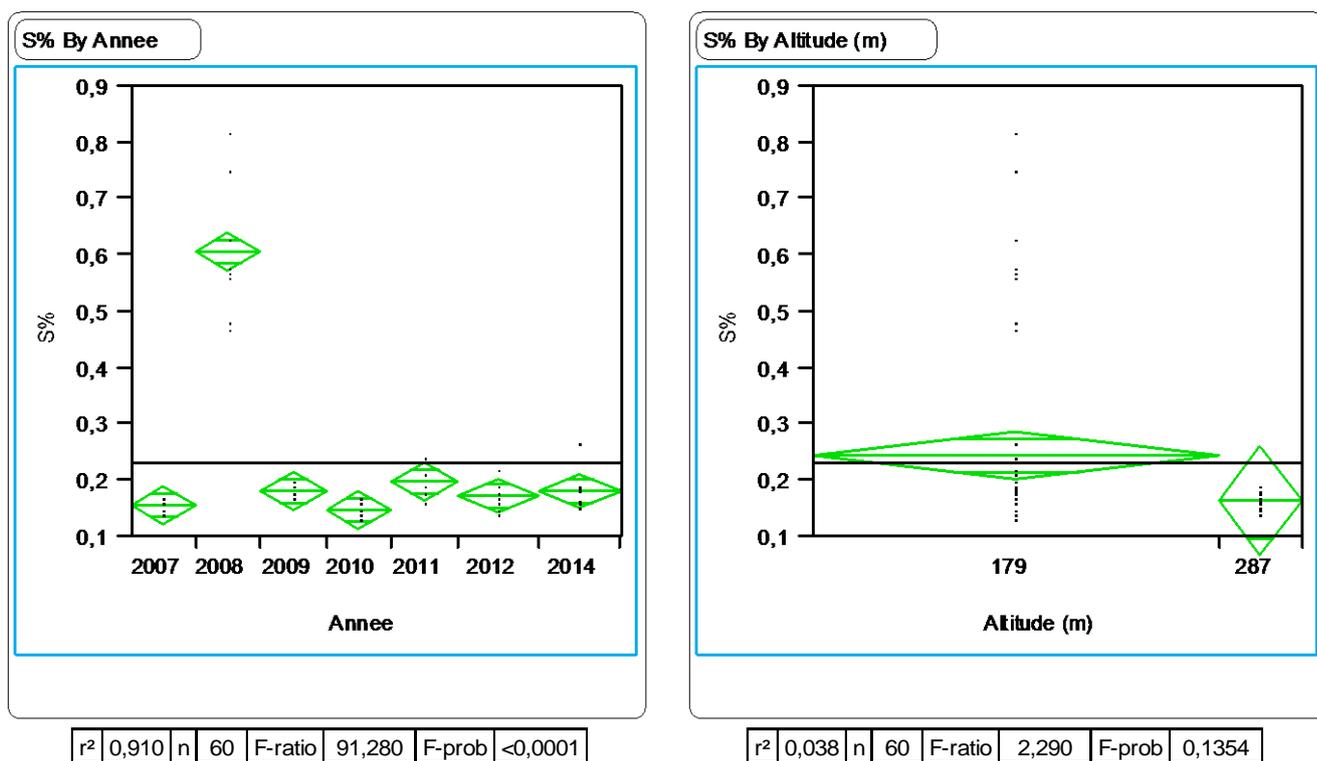


Figure 15 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de *Gardenia aubreyii* (Rubiaceae)- Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude pour 2014 (droite).

***Sparattocyce dioica* (Moraceae)**

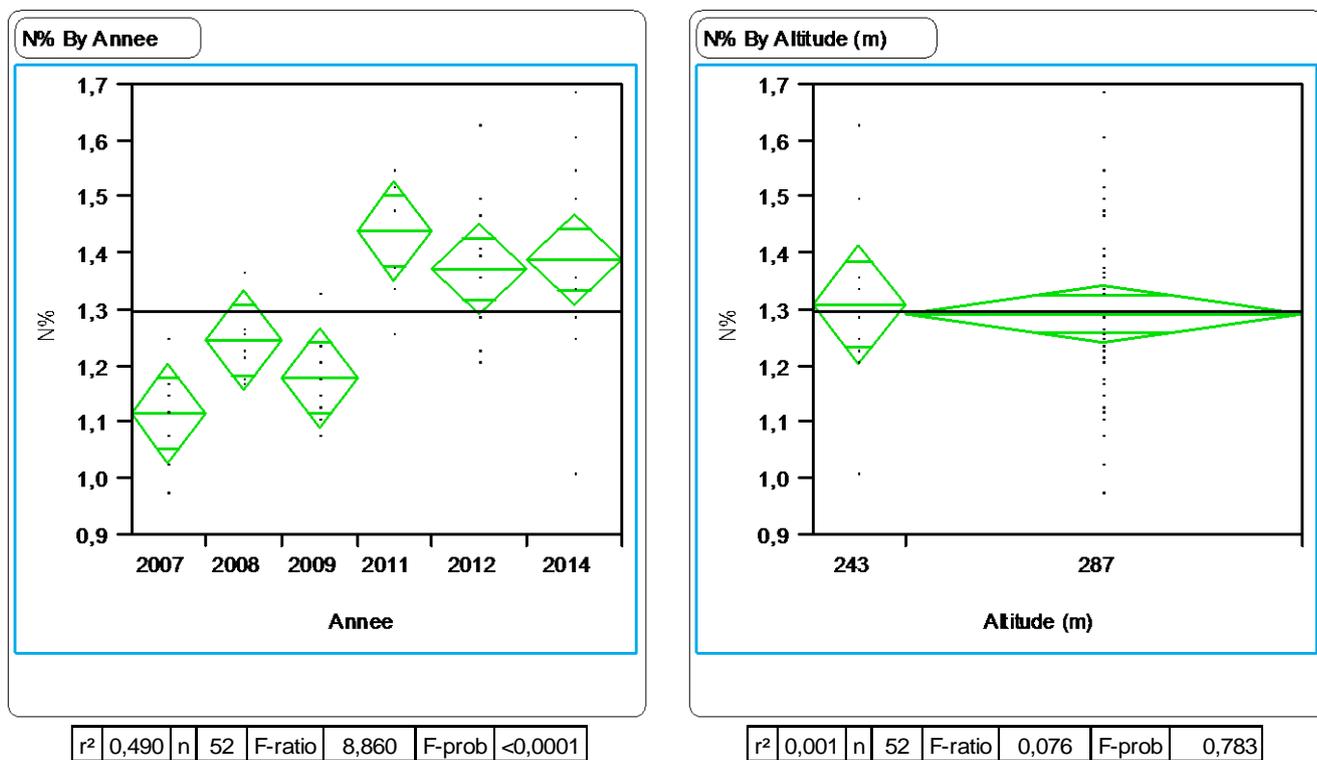
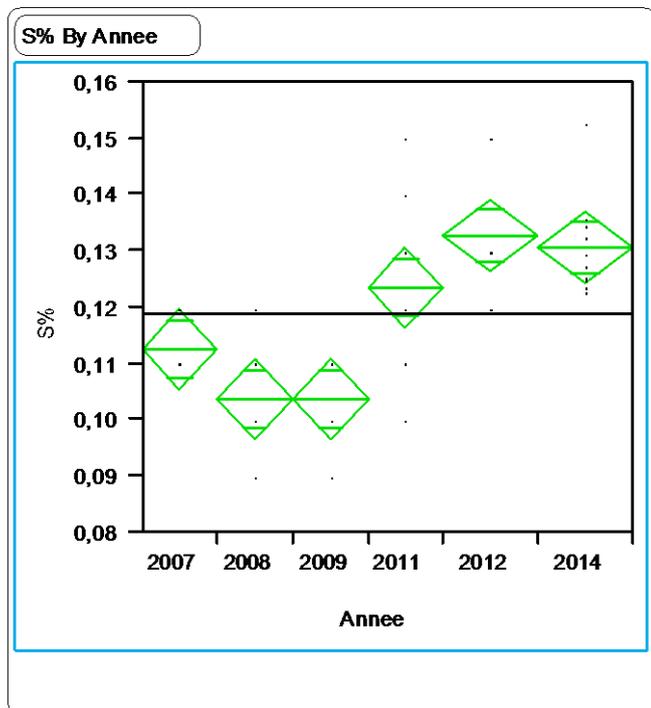
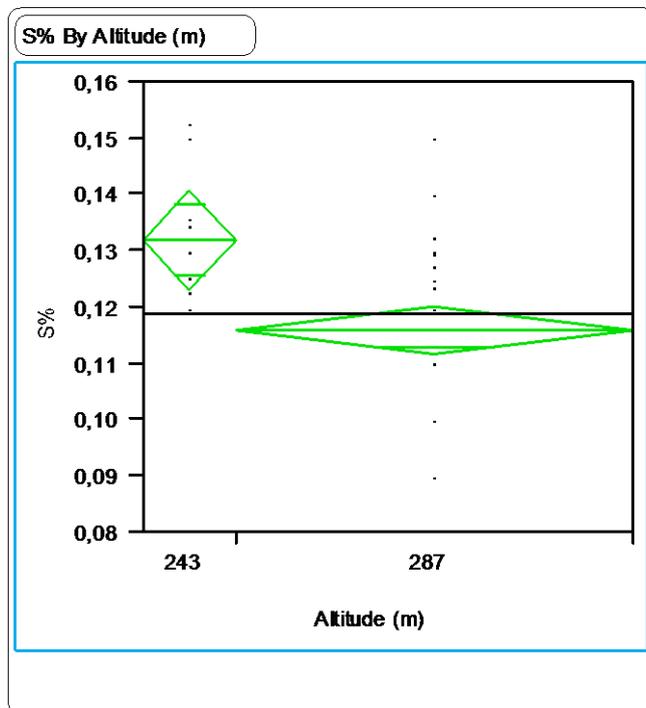


Figure 7 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Sparattocyce dioica* (Moraceae) - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude pour 2014 (droite)



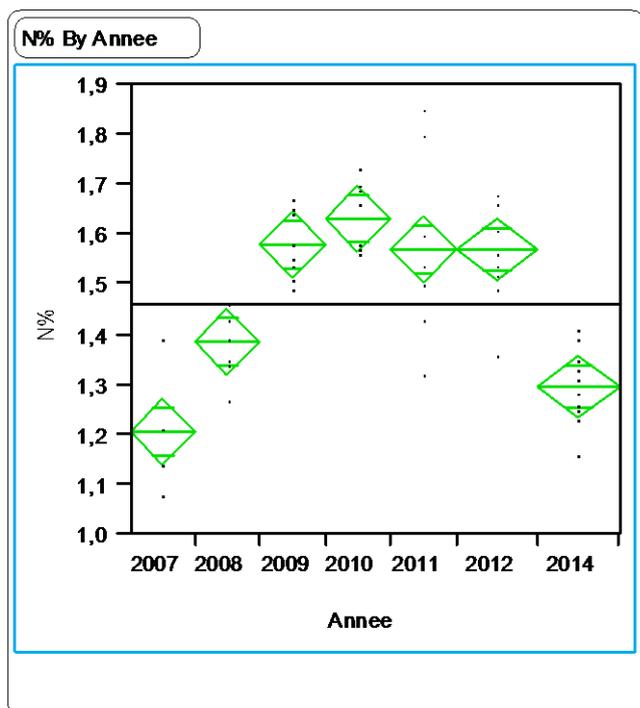
r^2	0,601	n	52	F-ratio	13,910	F-prob	<0,0001
-------	-------	---	----	---------	--------	--------	---------



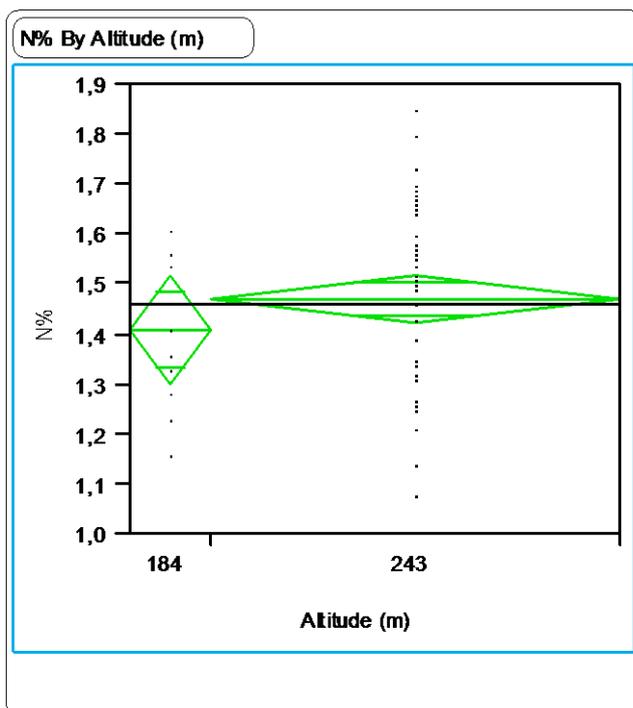
r^2	0,167	n	52	F-ratio	10,070	F-prob	0,0026
-------	-------	---	----	---------	--------	--------	--------

Figure 17 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de *Sparattocyce dioica* (*Moraceae*) - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude pour 2014 (droite).

Xylopiya sp. (veillardii)



r^2	0,730	n	60	F-ratio	20,350	F-prob	<0,0001
-------	-------	---	----	---------	--------	--------	---------



r^2	0,017	n	60	F-ratio	1,030	F-prob	0,3137
-------	-------	---	----	---------	-------	--------	--------

Figure 18 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Xylopi* sp (*veillardii*) - Forêt-Nord selon l'année (à gauche) et altitude (m) pour 2014 (à droite).

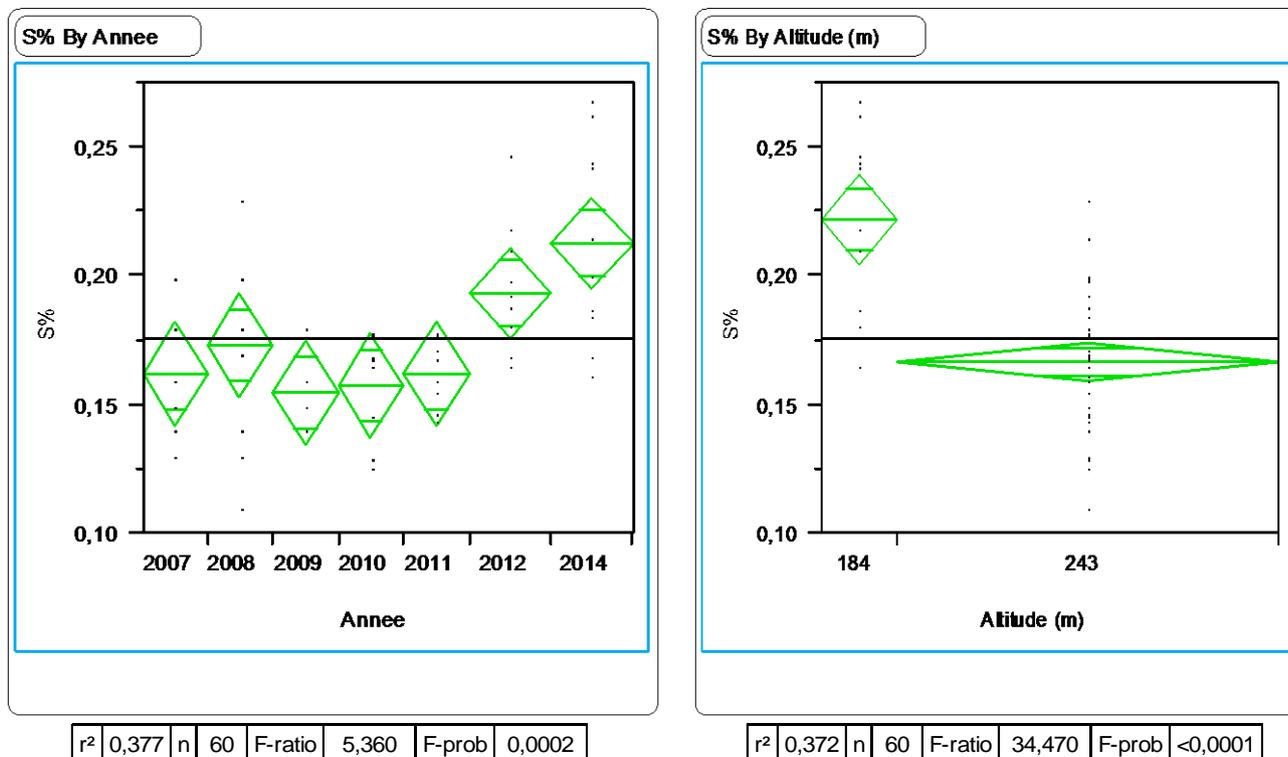


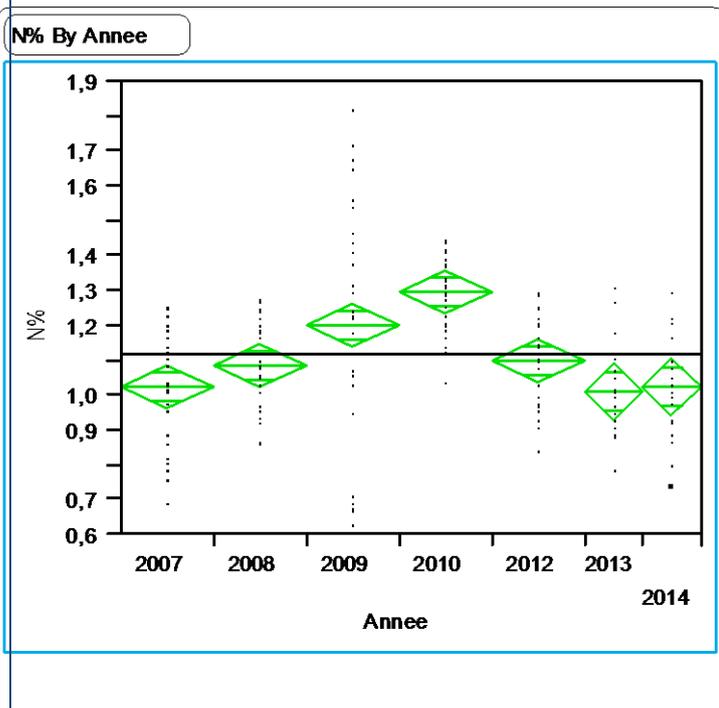
Figure 19 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de *Xylopi* sp (*veillardii*) - Forêt-Nord selon l'année (à gauche) et altitude (m) pour 2014 (à droite).

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des feuilles des espèces communes prélevées sur les parcelles permanentes en 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 et 2014 en Forêt-Nord montrent plusieurs tendances :

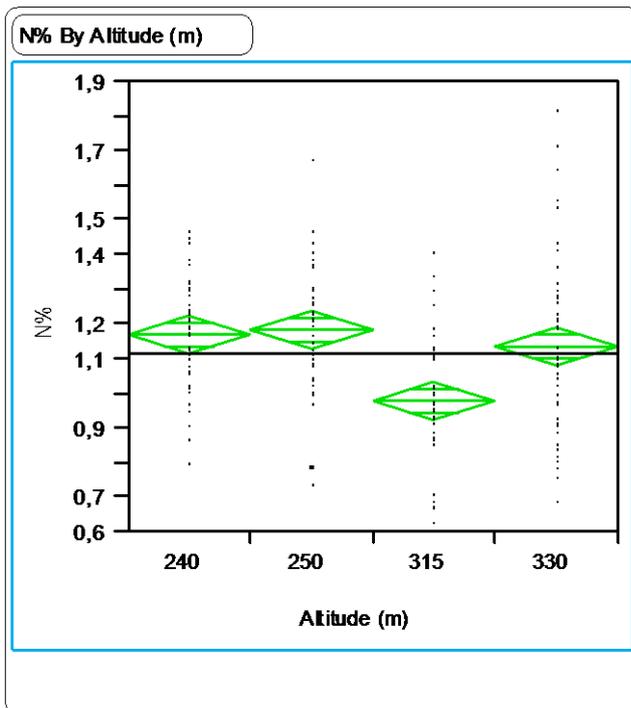
- Les teneurs en N chez *Garcinia*, *Gardenia*, et *Sparattosyce* ont montrées une augmentation significative de 2007 à 2014
- Les teneurs en N se sont stabilisées de 2010 à 2012 et ensuite diminuent en 2014 pour *Xylopi*a, mais ont continué à augmenter pour les autres espèces suggérant des différences de cycles en azote entre espèces...
- Les teneurs en S des feuilles de *Gardenia*, *Sparattosyce* et *Xylopi*a montrent des augmentations significatives entre 2007 et 2014. Les valeurs aléatoires en S entre les années de référence et suivent souvent les mêmes tendances que N suggérant que les variations pourraient être cycliques.
- Pas de variation dans les teneurs en S des feuilles de *Garcinia* entre 2007 et 2014.
- Les teneurs en N des feuilles de *Garcinia*, *Gardenia*, *Sparattosyce* montrent des différences significatives 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* et *Sparattosyce* montrent des différences significatives qui sont légères entre les parcelles selon l'altitude avec les parcelles basses contenant une 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)



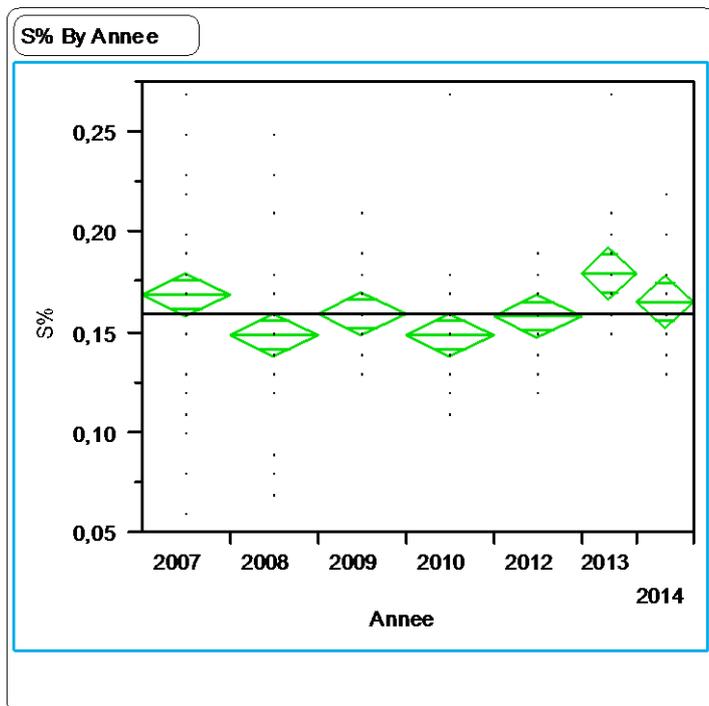
r ²	0,220	n	200	F-ratio	9,090	F-prob	<0,0001
----------------	-------	---	-----	---------	-------	--------	---------



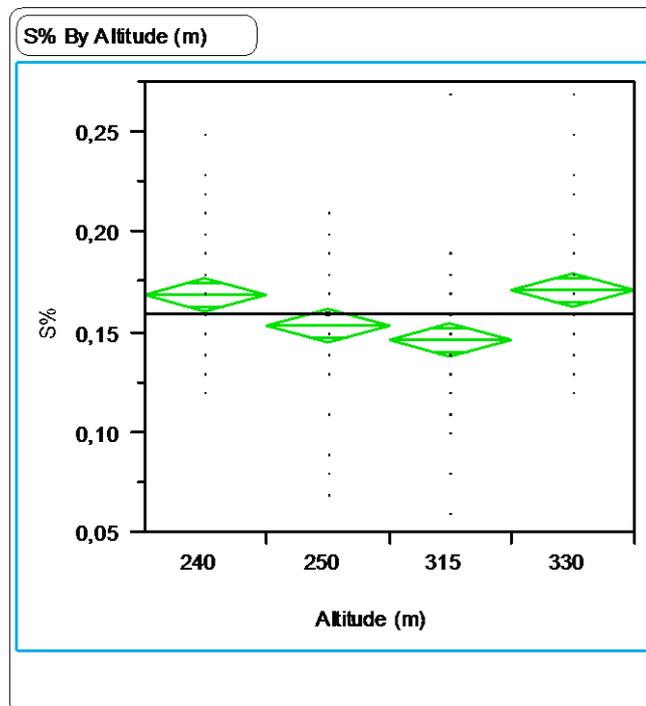
r ²	0,145	n	200	F-ratio	11,080	F-prob	<0,0001
----------------	-------	---	-----	---------	--------	--------	---------

Figure 20 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Gardenia aubreyii*- Pic du Grand Kaori

selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour 2014.



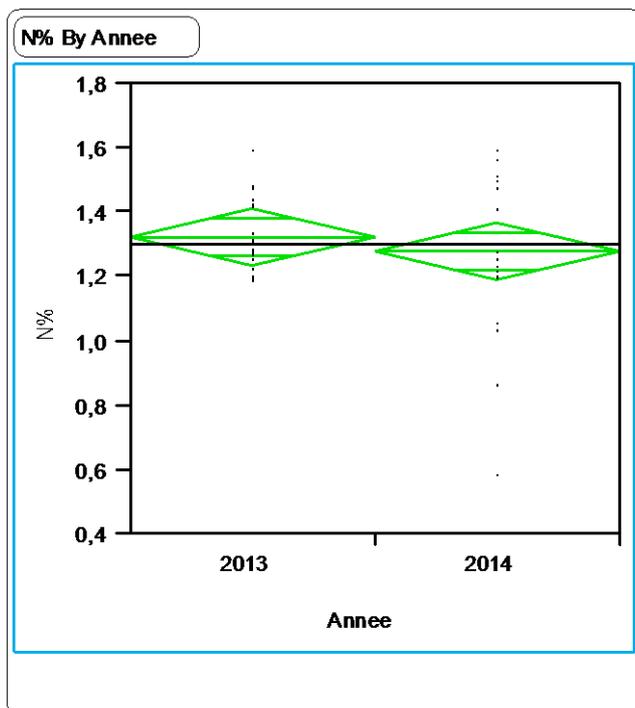
r^2 0,089 | n 200 | F-ratio 3,162 | F-prob 0,0056



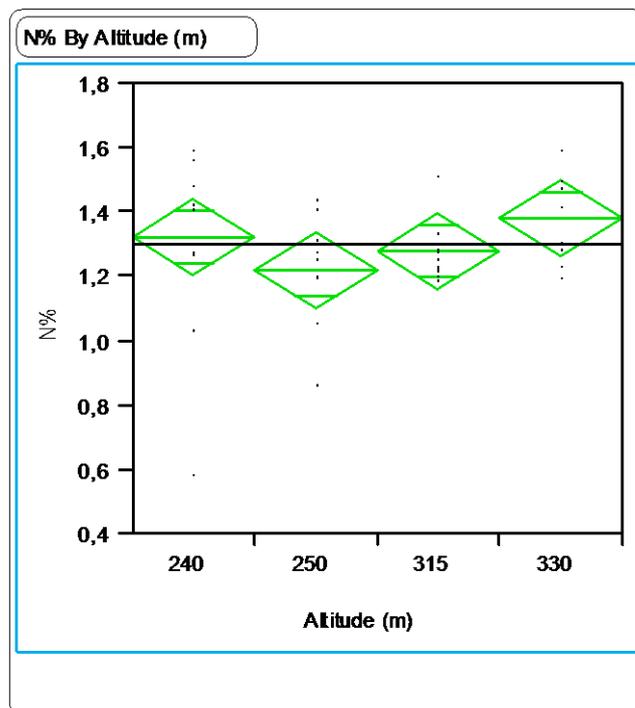
r^2 0,104 | n 200 | F-ratio 7,570 | F-prob <0,0001

Figure 21 : 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 2014.

***Sparattocyce dioica* (*Rubiaceae*)**



r^2 0,091 | n 40 | F-ratio 1,207 | F-prob 0,3220



r^2 0,015 | n 40 | F-ratio 0,616 | F-prob 0,438

Figure 22 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Sparattocyce dioica* Pic du Grand Kaori

selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

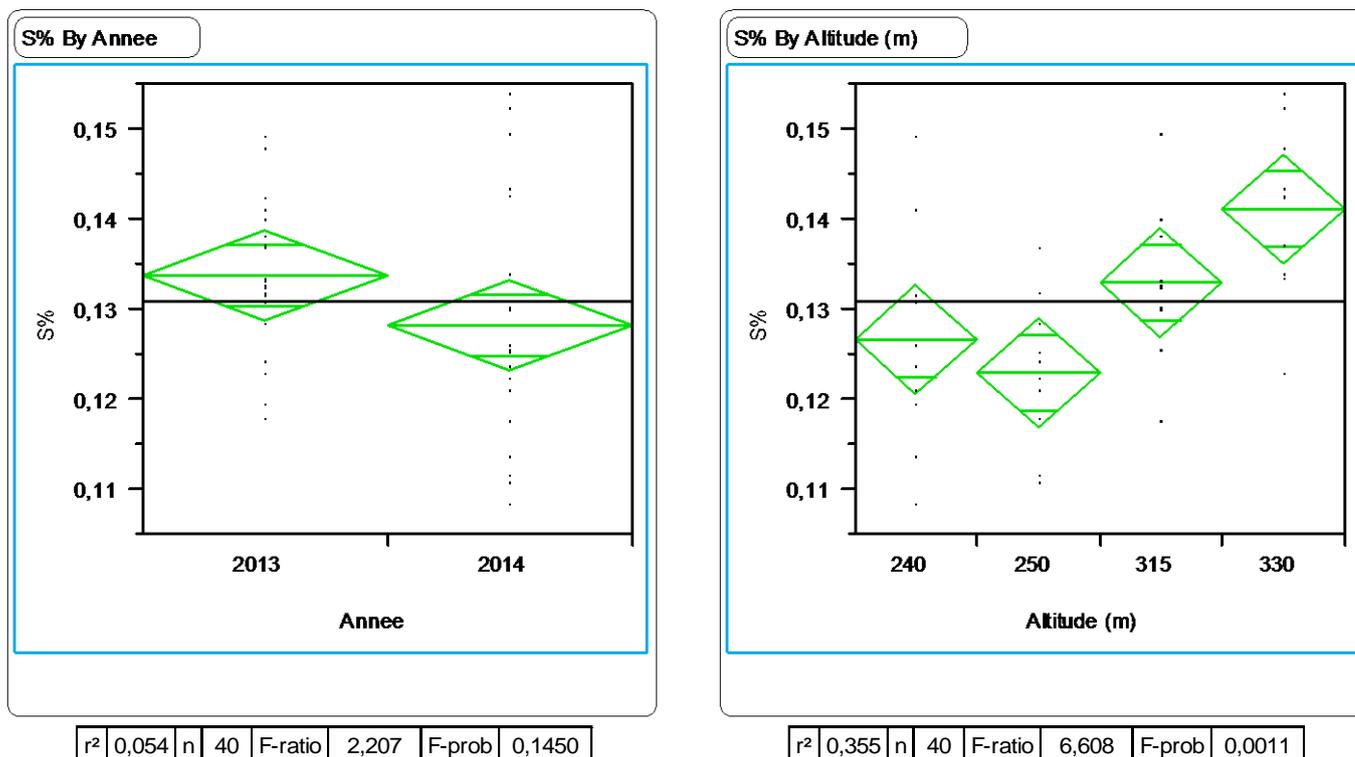


Figure 23 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de *Sparattocyce dioica* - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite) pour 2014.

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des feuilles des espèces communes prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2014 du Grand Kaori montre plusieurs tendances :

- Les feuilles de *Gardenia* montrent une augmentation significative de leurs teneurs en N de 2007 à 2010 suivie par une diminution significative entre 2010 et 2014.
- Les teneurs en S des feuilles de *Gardenia* varient entre les années de manière significative mais d'une façon aléatoire. Ex valeurs de 2008, 2010 et 2014 sont semblable.
- La teneur en S des feuilles de *Gardenia* montrent des différences significatives entre les parcelles selon l'altitude et de manière aléatoire.
- Les feuilles de *Sparattocyce* contiennent significativement plus de S sur les parcelles du haut que sur les parcelles de bas. Cette même tendance entre les parcelles est observée pour N, mais il n'est significatif.

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

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

Gardenia aubreyii (Rubiaceae)

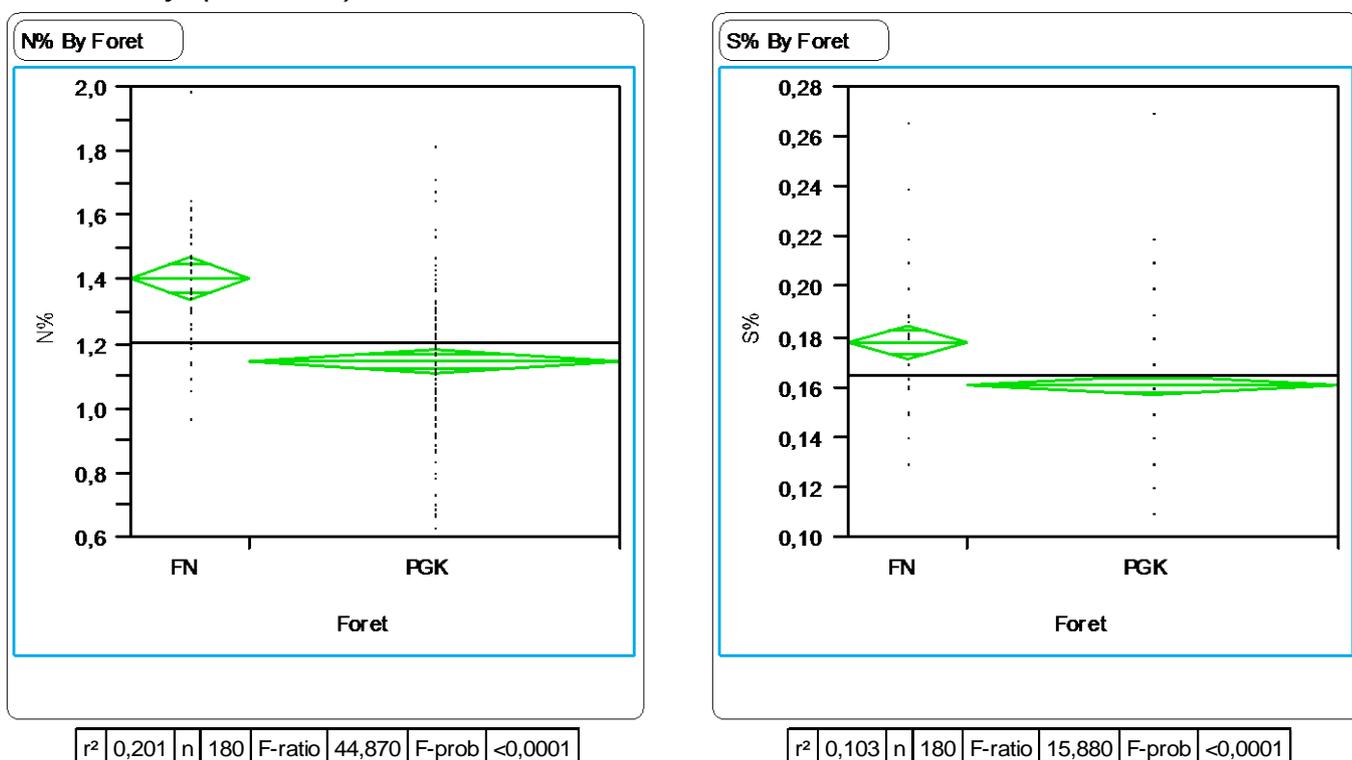


Figure 24 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) gauche et en Soufre total (S-%) (droite) des feuilles de *Gardenia aubreyii*- Pic du Grand Kaori et Forêt Nord pour 2014

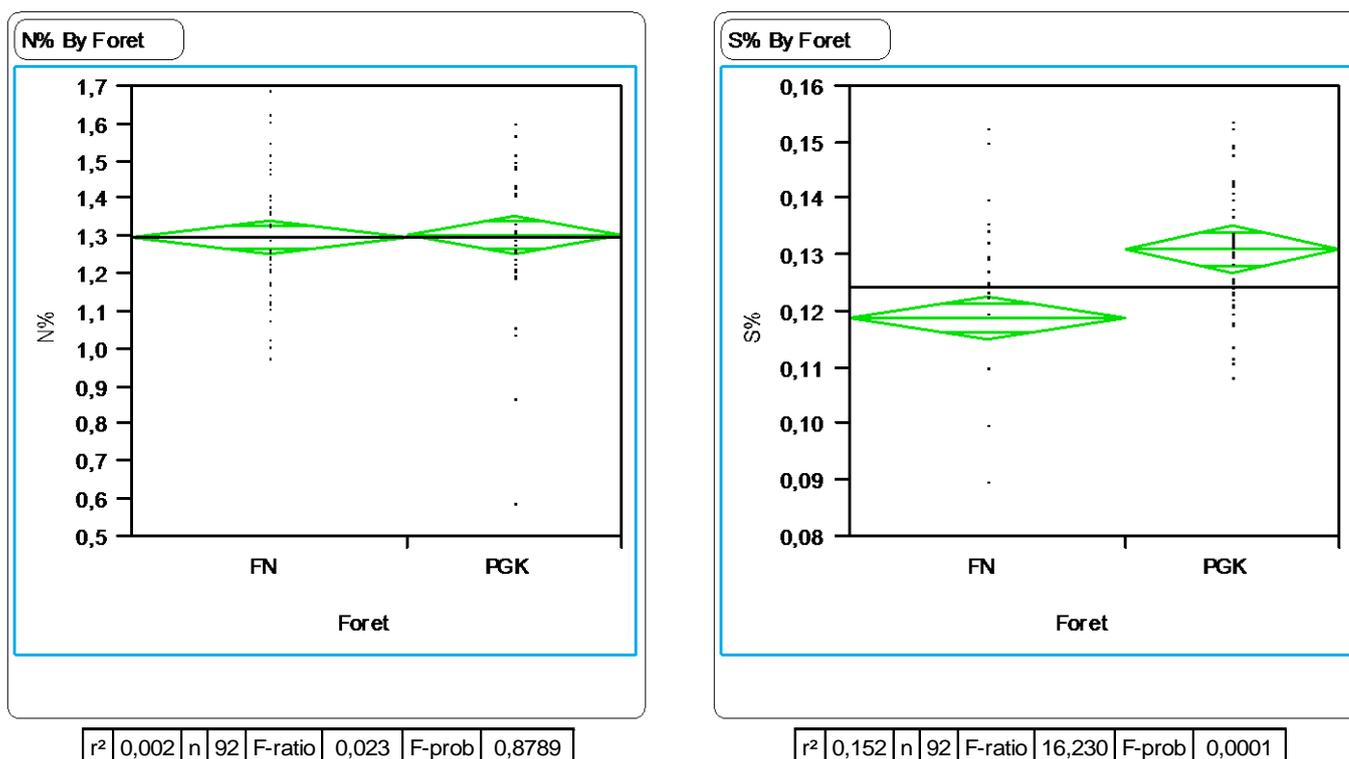


Figure 25 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) gauche et en Soufre total (S-%) (droite) des feuilles de *Sparattocyce dioica*- Pic du Grand Kaori et Forêt Nord pour 2014

L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des feuilles des arbres de *Gardenia* et *Sparattocyce* entre Forêt Nord et Pic du Grand Kaori montre plusieurs tendances :

- Les feuilles de *Gardenia aubreyii* ont des teneurs en N et S qui sont plus significativement élevée à Forêt Nord qu'à Pic du Grand Kaori..
- Pas de variation significative des teneurs en N des feuilles de *Sparattocyce* entre Forêt Nord et Pic du Grand Kaori.
- Les teneurs en S des feuilles de *Sparattocyce* sont significativement plus élevés à Pic du Grand Kaori qu'à Forêt Nord.

4. ANALYSE DES RESULTATS

4.1 Bilan générale des campagnes de suivies des parcelles permanentes

La campagne de mesures des parcelles permanentes de 2014 a débuté en Février 2014 à Forêt Nord et ensuite a continué sur Pic du Grand Kaori en Mars et Avril 2014.

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

Mesures ou analyses	FN1	FN2	FN3	FN4	FN Total	PGK 1	PGK2	PGK3	PGK4	PGK Total
Nombre d'échantillons de sols prélevés	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20
Nombre d'éléments analysée (sol)	24	24	24	24	480	24	24	24	24	480
Nombre d'échantillons de litières prélevés	5	5	5	5	20	5	5	5	5	20
Nombre d'éléments analysée (litières)	9	9	9	9	180	9	9	9	9	180
Nombre d'espèces prélevées pour analyses foliaires	2	2	2	2	4	2	2	2	2	2
<i>Garcinia neglecta</i>	x			x						
<i>Gardenia aubreyii</i>			x	x		x	x	x	x	
<i>Sparattocyce dioica</i>		x	x			x	x	x	x	
<i>Xylopia cf. veillardii</i>	x	x								
Nombre d'échantillons de feuilles prélevés	10	10	10	10	40	10	10	10	10	40
Nombre d'éléments analysée (feuilles)	8	8	8	8	320	8	8	8	8	320
Total mesures ou analyses par Forêt					980					980

Tableau 9 : Les nombres de mesures, de prélèvements et d'analyses chimiques fait pour la campagne de suivi concernant la période Février à Avril 2014.

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 Forêt Nord et Pic du Grand Kaori présentées au tableau 10, sont comparables aux résultats déjà obtenus pour d'autres forêts humides dans le Grand Massif du Sud (Read *et al*, 2006). Le pH et les teneurs en P, K, Mg, Ni, Fe et Cr des sols à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori se rapprochent plus des sols des forêts humides. La capacité d'échange de Calcium et Magnésium de Forêt Nord et Pic du Grand Kaori est semblable pour les stations que pour les forêts humides évaluées par Read *et al* (2006).

Cependant, il y a des variations entre les stations forestières et les données existantes de Read *et al* (2006). Forêt Nord et Pic du Grand Kaori ont des teneurs en N et Ca plus faible et s'approchant plutôt des teneurs présentes dans les forêts à *Nothofagus aequilateralis* (dont le Pic du Grand Kaori qui possèdent des populations de cette espèce).

Analyses sol	Formations végétales du Sud (Read <i>et al.</i> , 2006)			Forêt Nord				Pic du Grand Kaori			
	Forêt à <i>Nothofagus</i>	Forêt Humide	Maquis	FN4	FN1	FN2	FN3	PGK 1	PGK2	PGK4	PGK3
pH	3.5 - 5.9	4.1 – 6.0	4.4 – 6.1	5,14	5,60	6,28	6,25	5,71	5,84	6,55	6,39
N (mg g ⁻¹)	0.9 – 3.6	0.7 – 3.8	0.8 – 1.6	0,35	0,34	0,64	0,43	0,33	0,38	0,49	0,79
P (mg g ⁻¹)	0.07 – 0.24	0.10 – 0.18	0.06 – 0.32	0,31	0,48	0,63	0,11	0,14	0,14	0,17	0,15
K (mg g ⁻¹)	0.01 – 0.12	0.03 – 0.28	0.04 – 2.10	0,07	0,17	0,17	0,16	0,05	0,07	0,18	0,20
Ca (mg g ⁻¹)	0.07 – 1.20	0.40 – 1.15	0.05 – 1.5	3,48	3,48	1,52	2,68	1,20	1,12	3,57	6,54
Mg (mg g ⁻¹)	0.01 – 60	3.1 – 17	0.4 – 12.0	10,0	18,9	34,9	9,6	11,9	11,4	23,6	19,7
S (mg g ⁻¹)				0,06	0,09	0,11	0,08	0,09	0,09	0,07	0,08
Ni (mg g ⁻¹)	0.5 – 6.7	2.3 – 8.5	1.3 – 10.4	9,7	6,8	8,2	7,5	7,0	5,6	7,9	6,9
Fe (mg g ⁻¹)	50 – 490	270 – 460	290 - 510	423	383	313	392	421	396	361	278
Cr (mg g ⁻¹)	2 – 134	25 – 184	14 - 110	31	34	26	22	23	33	25	21
eK (meq 100 g ⁻¹)	0.18 – 0.39	0.08 – 0.47	0.02 – 0.38	0,14	0,24	0,38	0,32	0,13	0,22	0,36	0,44
eCa (meq 100 g ⁻¹)	0.12 – 3.1	0.26 – 2.6	0.01 – 1.8	0,70	0,70	3,03	5,35	2,81	3,44	8,53	17,37
eMg (meq 100 g ⁻¹)	0.30 – 1.70	0.86 – 9.96	0.12 – 8.3	3,51	5,44	18,02	8,74	5,33	5,94	9,01	14,62

Tableau 10 : Caractéristiques chimiques des sols des formations du Grand massif du Sud (Read *et al.*, 2006) et valeurs moyennes des stations Forêt Nord en 2012 et Pic du Grand Kaori en 2013.

L'analyse de variance des teneurs en Azote (N) et Soufre (S) des sols des deux stations forestières montre plusieurs tendances significatives spatiales et temporelles. A Forêt Nord, les teneurs en N ont montré une diminution de 2008 à 2011 suivis d'une légère augmentation en 2014. Les variations annuelles dans les teneurs en S ne montrent pas de différences significatives et les changements annuels suivent les mêmes tendances que N. Les variations des teneurs en N et S des sols des parcelles permanentes selon l'altitude sont significatives. Cependant, ces variations n'obéissent pas à un gradient d'altitude (ex pour N : FN2 > FN4 > FN3 > FN1).

A Pic du Grand Kaori, il y a aussi une diminution significative dans les teneurs en Azote entre 2008 et 2011 suivi d'une augmentation à 2014. La baisse des teneurs en soufre dans les sols de Pic du Grand Kaori entre 2008 et 2011 suivi de l'augmentation est très légèrement significative. Les teneurs en N et S montrent aussi des variations significatives selon l'altitude avec les sols des parcelles les plus hautes contenant les plus fortes teneurs en N et les plus faibles teneurs en S.

4.2.2 Evolution de la condition chimique des litières

La composition chimique des litières des forêts sur latérites en Nouvelle-Calédonie est méconnue (Becquer *et al.*, 1995). Le peu d'informations disponibles indiquent que les teneurs en P, K et Ca en Forêt-Nord et Pic du Grand Kaori (Tableau 10) 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.

Analyse litière	Formations végétales du Sud (Read <i>et al.</i> , 2006)			Forêt Nord				Pic du Grand Kaori			
	Forêt à <i>Nothofagus</i>	Forêt Humide	Maquis	FN4	FN1	FN2	FN3	PGK1	PGK2	PGK4	PGK3
	(n = 4)	(n = 3)	(n = 4)								
pH	4.7 ± 0.1	5.3 ± 0.2	4.8 ± 0.2								
N (mg g ⁻¹)	1.77 ± 0.03	2.39 ± 0.10	1.13 ± 0.17	1,10	1,11	1,08	0,85	0,83	0,81	1,02	0,83
P (mg g ⁻¹)	0.125 ± 0.040	0.123 ± 0.050	0.084 ± 0.033	0,20	0,20	0,25	0,08	0,12	0,09	0,11	0,09
K (mg g ⁻¹)	0.142 ± 0.044	0.147 ± 0.065	0.072 ± 0.023	0,13	0,08	0,09	0,05	0,09	0,05	0,07	0,05
Ca (mg g ⁻¹)	0.281 ± 0.098	0.700 ± 0.225	0.092 ± 0.015	1,51	1,62	1,34	1,99	1,36	1,31	1,99	1,67
Mg (mg g ⁻¹)	7.27 ± 2.60	11.47 ± 4.84	5.36 ± 1.48	21,50	33,46	39,36	26,94	24,88	26,36	26,98	23,90
Mn (mg g ⁻¹)	7.60 ± 2.09	7.32 ± 2.24	3.91 ± 0.961	12,90	8,60	2,29	5,02	13,11	13,85	15,23	4,72

Tableau 11 : Caractéristiques chimiques des litières des formations du Grand massif du Sud (Read *et al.*, 2006) et les valeurs moyennes des stations Forêt Nord et Pic du Grand Kaori en 2014.

L'analyse de variance effectuée sur les teneurs en N et S des échantillons de litières montrent plusieurs tendances. Les teneurs en N des litières à Forêt Nord montrent une augmentation de manière significative de 2007 à 2010 et ensuite diminuent en 2012 et 2014. Cette oscillation suggère des variations potentiellement liées aux cycles de décomposition.

Cette tendance cyclique de N est aussi remarquée pour Pic du Grand Kaori pendant la même période.

Les teneurs en S dans la litière de Forêt-Nord varient de façon significative entre 2007 et 2014. Ces changements entre 2007 et 2014 ne sont pas linéaire avec des valeurs très bas en 2008 qui pourraient suggérer des variations cycliques.

Les teneurs en S dans la litière de Pic du Grand Kaori montrent aussi une augmentation significative de 2008 à 2011 suivi d'une diminution à 2014 similaire au cycle de N. Cette similitude des courbes sur les memes années pourrait laisser penser que les fluctuation en S trouve son origine dans les flux biologiques en N.

L'analyse de variance de la teneur des éléments d'origine organique montre que la teneur en azote diminue de manière significative selon l'augmentation d'altitude en Forêt-Nord. Cette différence pourrait être due à la diminution de biomasse aérienne qui baisse aussi avec l'altitude. Les teneurs en S varient de manière 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, bien que la différence entre les différentes altitudes soit faible.

Aucune analyse de variance n'a été faite pour les métaux (Mg, Mn) et les éléments liés au métabolisme des plantes (P, K, Ca, Na). Cependant, il est important de noter plusieurs tendances visibles dans tableau 12 pour Forêt Nord et tableau 13 pour Pic du Grand Kaori.

Année	Moyenne de K%	Moyenne de Na%	Moyenne de Ca%	Moyenne de Mg%	Moyenne de P-ppm	Moyenne de Mn-ppm
2007	0,12	0,08	1,56	0,30	180,73	779,38
2008	0,05	0,02	1,49	0,28	180,05	817,70
2009	0,11	0,06	1,66	0,32	159,53	801,80
2010	0,12	0,05	1,63	0,38	262,17	1005,17
2011	0,09	0,04	1,61	0,30	183,48	720,28
2012	0,08	0,03	1,60	0,27	211,56	720,00
2014	0,11	0,03	1,67	0,36	226,15	836,50
Moyenne général	0,10	0,05	1,60	0,31	194,65	808,92

Tableau 12: Variation annuelles dans les teneurs en K, Na, Ca, Mg, P et Mn dans la litière de Forêt Nord.

Année	Moyenne de K%	Moyenne de Na%	Moyenne de Ca%	Moyenne de Mg%	Moyenne de P-ppm	Moyenne de Mn-ppm
2007	0,05	0,03	1,17	0,25	82,70	1254,35
2008	0,05	0,03	1,19	0,24	79,15	1203,44
2009	0,08	0,04	1,39	0,26	81,59	1280,44
2010	0,05	0,03	1,20	0,24	79,53	1213,23
2011	0,07	0,03	1,29	0,23	73,78	1033,35
2013	0,10	0,04	1,42	0,28	110,34	1299,95
2014	0,07	0,03	1,58	0,26	101,50	1173,05
Total moyenne	0,06	0,03	1,29	0,25	83,79	1203,87

Tableau 13 : Variation annuelles dans les teneurs en K, Na, Ca, Mg, P et Mn dans la litière de Pic du Grand Kaori.

Les teneurs en P de la litière ont augmenté dans la litière à partir de 2012/2013 à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori par rapport aux mesures précédentes. Ses augmentations en P coïncident avec les augmentations en N et S pour les mêmes périodes. Ce qui renforce l'hypothèse, que les variations en S observée à Pic du Grand Kaori et Forêt Nord sont des flux biologiques.

Les teneurs en Mn des litières de Forêt Nord ont diminué de manière générale entre les valeurs en moyenne enregistrées pour la période 2007-2010 et 2012. Cette diminution, observée à partir de 2011, est probablement due à une diminution des apports des poussières liée à la circulation routière. En effet, le goudronnage de la route en fin Octobre 2010 a nettement réduit les dépôts de poussières latéritiques sur la végétation à proximité du CR7. Ces diminutions de la teneur en Mn des feuilles des espèces suivies sur les parcelles plaident en faveur de cette hypothèse.

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 & al, 1994 b ; Jaffré & Veillon, 1995 ; McCoy, 1998 ; Read & 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 latérites, 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 latérites, 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	N	P	K	Ca	Mg	Na	Mn	S
		%	ppm	%	%	%	%	ppm	%
<i>Garcinia neglecta</i>	Forêt Nord	1,29	549	0,64	2,22	0,47	0,24	1083	0,17
<i>Gardenia aubreyii</i>	Forêt Nord	1,46	410	1,40	1,03	0,33	0,32	39	0,18
<i>Sparattosyce dioica</i>	Forêt Nord	1,39	418	1,03	2,01	0,52	0,37	88	0,13
<i>Xylopia veillardii</i>	Forêt Nord	1,30	668	1,12	1,21	0,36	0,23	131	0,21
<i>Gardenia aubreyii</i>	Pic du Grand Kaori	1,02	277	1,01	1,05	0,37	0,41	37	0,17
<i>Sparattosyce dioica</i>	Pic du Grand Kaori	1,28	369	1,11	1,67	0,51	0,30	111	0,13
Moyenne des espèces communes parcelles Forêt Nord		1,36	510,95	1,05	1,62	0,42	0,29	335,35	0,17
Moyenne des espèces communes parcelles permanentes Pic du Grand Kaori		1,15	322,80	1,06	1,36	0,44	0,36	74,15	0,15
Moyenne des espèces communes des parcelles permanentes sur Forêt Nord et Pic du Grand Kaori		1,25	416,88	1,05	1,49	0,43	0,32	204,75	0,16
Moyenne sur 118 Dicotylédones en forêt sur sol ultramafique (Jaffré <i>et al</i>, 1994 b)		1,34	440	0,86	1,55	0,49	0,25	250	
Moyenne sur 100 Dicotylédones en maquis sur sol ferrallitique ferritique désaturée (Jaffré <i>et al</i>, 1994 b)		0,91	320	0,59	1,10	0,24	0,21	950	

En jaune : espèces présentes sur les deux stations de Forêt-Nord et Pic du Grand Kaori

Tableau 14 : Comparaison de la teneur foliaire en (T6) des espèces communes d'arbres avec les valeurs moyennes des espèces forestières et para forestières décrites par Jaffré et al (1994 b)

Le tableau 14 présente une synthèse de la teneur foliaire moyenne (des espèces d'arbres communes aux parcelles de Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori en 2014 comparée à celle d'autres espèces de forêt humide et de maquis sur sol latéritique (Jaffré et al, 1994b).

D'une manière générale, les teneurs foliaires en N, P, K et Ca des arbres communs de Forêt-Nord sont semblables à celles des autres dicotylédones de forêt sur latérites. Par contre, les teneurs en manganèse sont élevées par rapport aux teneurs moyennes des espèces de forêt sur latérite (Jaffré, et al, 1994b). Cette teneur élevée des feuilles provient probablement d'une contamination par des poussières latéritiques riches en Mn. Ceci est particulièrement visible sur les échantillons prélevés de 2007 à 2010 sur les parcelles situées à proximité de l'intense trafic routier du CR7 généré par les travaux de construction de l'usine.

Les teneurs en phosphore, potasse et calcium des arbres des stations du Pic du Grand Kaori 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 et K est due au faible nombre d'espèces représentées dans les valeurs moyennes du Pic du Grand Kaori (2 espèces).

L'analyse de variance des teneurs foliaires en Azote (N) et Soufre (S) des espèces communes a permis de montrer certaines tendances temporelles. Les teneurs en N dans les feuilles de *Xylopi*a ont montré une augmentation significative quasi linéaire de 2007 à 2010 à Forêt Nord suivi par une diminution à 2014. *Garcinia* et *Sparattocyce* ont montré une augmentation significative en N de 2007 à 2014. Les valeurs en N des feuilles de *Gardenia* montrent des variations significatives entre 2007 et 2014 qui oscillent toutes les deux ans suggérant des cycles naturel.

Concernant les teneurs en S des espèces à Forêt Nord, les teneurs en S des feuilles de *Sparattocyce* et *Xylopi*a augmentent de manière significative de 2007 à 2014. *Garcinia* ne montrent pas des variations en S pour cette même période. *Gardenia* montrent des variations en S qui oscillent comme pour N.

L'analyse de variance des arbres commun à Pic du Grand Kaori a montré une augmentation significative en N quasi linéaire entre 2007 et 2010 et une chute à 2014. *Gardenia* a aussi montrée une légère augmentation oscillant dans leurs teneurs en soufre entre 2007 et 2014. Pas de changement significative a été enregistrée pour *Sparattocyce* de Pic du Grand Kaori par ses teneurs foliaires en N et S pour la période de comparaison entre 2013 et 2014.

5. CONCLUSION

5.1 Etat de santé des parcelles

La période 2014 a été caractérisée par la montée en puissance de nombreuses installations de l'usine (centrale acide) et l'activité du central électrique de Prony Energie. Les suivis des stations forestières sur cette période ont donc permis d'évaluer les impacts des émissions atmosphériques lors d'une phase industrielle très active. Malgré ces mauvaises conditions météorologiques de la période d'échantillonnage de Février à Avril 2014, le nouveau programme d'échantillonnage a permis d'avoir une bonne évaluation de l'évolution chimique sur Forêt Nord et Pic du Grand Kaori. De plus, l'échantillonnage d'une station forestière, qui à la base prenait 16 jours sans pluies en 2011, a été réduit à une semaine en 2014.

Les prélèvements effectués sur les parcelles de Forêt-Nord et du Pic du Grand Kaori ont montré plusieurs variations temporelles dans les valeurs chimiques des sols, des litières et des arbres communs en 2013. La première tendance temporelle enregistrée est l'augmentation significative des teneurs en Azote (N) de la litière de 2007 à 2011 suivi d'une diminution à 2014 dans l'ensemble des stations forestières (Forêt Nord, Pic du Grand Kaori). Cette courbe de changement dans les teneurs en N est aussi visible pour *Sparattocyce*, *Xylopi* à Forêt Nord et *Gardenia* à Pic du Grand Kaori. A l'inverse, les teneurs en N des sols de Forêt Nord et Pic du Grand Kaori continuent à montrer une diminution significative de 2007 à 2012. Cette diminution est plus significative à Forêt Nord qu'à Pic du Grand Kaori qui a montré une augmentation plus importante de 2012 à 2014.

Les teneurs en soufre de la litière tendent à augmenter à Forêt Nord et à Pic du Grand Kaori de 2007 à 2014. Cette augmentation est toutefois moins remarquable que pour N et montre des variations aléatoires entre les années. L'augmentation en S, N de 2012 à 2014 sont plutôt liés à un cycle biologique qui a été favorisé en activité par des conditions plus pluvieuses de cette période qui ont reçu des apports de poussière terrigène avec les deux passages de cyclones (Vania et Freda) comme témoins probablement l'augmentation en phosphore de la litière des deux forêts.

Certaines espèces à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori ont aussi des teneurs en S qui varient de manière temporelle. Ses variations sont aléatoires et ne semblent pas évoluer avec l'augmentation de l'activité industrielle. De plus les valeurs en S sont largement inférieures à celles rencontrées par la végétation soumise à influence constante d'émissions industrielles (Mankovska, 1997).

En conclusion, les résultats de l'étude de l'évolution chimique de Forêt Nord et Pic du Grand Kaori montrent que les formations sont en bonne santé. Les augmentations des teneurs en N et S notées en 2010 dans la litière et les espèces communes ont diminué en grande partie en 2014 : des variations cycliques naturelles pourraient expliquer ces variations des teneurs en N et S. Des variations liées à des accumulations d'émissions atmosphériques auraient tendance à montrer des augmentations constantes et croissantes.

6. RÉFÉRENCES

- 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.
- Kent, M. & Coker, P. (1992) *Vegetation description and analysis: a practical approach*. CRC Press, London, 363 p.
- Krause, G. H & Weis, E. (1991) *Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics*. *Annual review plant physiol. & mol. biol.* 42: 313-349.
- Kuppers, M., Timm, H., Stegemann, J., Stober, R., Paliwal, K., Karunaichamy, K. S. T. K. & Ortiz, R. (1996) *Effects of light environment and successional status on sunfleck use by understorey trees of temperate and tropical forests*. *Tree physiology* 16: 69-80.
- L'Huillier, L, Jaffre, T., Wulff, A. (2010) *Mine et Environnement en Nouvelle Calédonie : les milieux sur substrats ultramafiques et leur restauration*. Editions IAC, 412 pages.
- Lovelock, C. E. Jebb, M. & Osmond, C. B. (1994) *Photoinhibition and recovery in tropical rainforest species: response to disturbance*. *Oecologia* 97: 297-307.
- Mankovska, B. (1997) *Variations in sulphur and nitrogen foliar concentration of deciduous and coniferous vegetation in Slovakia*. *Water, Air and Soil Pollution*, 96, 329-345.
- Marschner, H. (1995) *Mineral nutrition of higher plants*. Second edition. 889pp. London: Academic Press
- Maxwell, K & Johnson, G.H. (2000) *Chlorophyll fluorescence: A practical guide*. *Journal of Experimental Botany*. 51 (345): 659-668.
- McCoy, S. (1991) *Edaphic controls influencing the distribution of Nothofagus aequilateralis on ultrabasic soils at the Col de Mouirange, New Caledonia*. Unpublished Honours thesis, Australian National University, Canberra.
- McCoy, S., Jaffré, T., Rigault, F, & Ash. J. (1999) *Fire and succession in the ultramafic maquis of New Caledonia*. *Journal of biogeography* 26(3): 579-594.
- McCoy, S. (1998) *The dynamics of Gymnostoma maquis on ultramafic soils in New Caledonia*. Ph.D thesis, Australian National University, Canberra, 273 pages.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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