



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

Bilan 2012-2013



**Vale Nouvelle-Calédonie
Avril 2014**

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.....	22
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>)	28
4. ANALYSE DES RESULTATS	29
4.1 Bilan générale des campagnes de suivies des parcelles permanentes	29
4.2 Evolution de la condition chimique des sols, des litières et des végétaux communs	29
4.2.1 Evolution de la condition chimique des sols.....	29
4.2.2 Evolution de la condition chimique des litières.....	30
4.2.3 Evolution de la condition chimique des arbres.....	31
5. CONCLUSION.....	35
5.1 Etat de santé des parcelles	35
6. RÉFÉRENCES	37

TABLEAUX

Tableau 1 : Localisation et description des parcelles en Forêt-Nord (FN), et Pic du Grand Kaori (PGK).	5
Tableau 2 : Planning des suivies, échantillonnage et analyses effectuées en 2012 et 2013.	8
Tableau 3 : Données disponibles pour le suivi des parcelles en 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 et 2011, 2012-2013.	8
Tableau 4 : Caractéristiques chimiques des échantillons de litière et de sol - Forêt-Nord (2007-2012)	10
Tableau 5 : Caractéristiques chimiques des échantillons de litière et de sol - Pic du Grand Kaori (2007-2013).....	11
Tableau 6 : Teneur foliaire des espèces communes - Forêt-Nord (2007-2012).....	12
Tableau 7 : Teneur foliaire des espèces communes - Pic du Grand Kaori (2007-2013).....	14
Tableau 8 : Les nombres de mesures, de prélèvements et d'analyses chimiques fait pour la campagne de suivi concernant la période Décembre 2012 à Mars 2013.....	29
Tableau 9 : 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.....	30
Tableau 10 : 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 en 2012 et Pic du Grand Kaori en 2013.....	31
Tableau 11 : 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).....	32

FIGURES

Figure 1 :	Localisation des parcelles en Forêt-Nord et Pic du Grand Kaori.	4
Figure 2 :	<i>Gardenia aubreyii</i> (haut gauche), <i>Garcinia neglecta</i> (haut droit), <i>Sparattocyce dioica</i> (bas gauche), <i>Xylopiya veillardii</i> (bas droit).....	6
Figure 3 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)	17
Figure 4 :	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)	17
Figure 9 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Pic du Grand Kaori	18
Figure 6 :	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Pic du Grand Kaori	18
Figure 13 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des litières - Forêt-Nord	19
Figure 8 :	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des litières - Forêt-Nord	19
Figure 15 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des litières - Pic du Grand Kaori	20
Figure 10 :	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des litières - Pic du Grand Kaori	20
Figure 11 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Garcinia neglecta</i> (<i>Guttiferae</i>) - Forêt-Nord.....	22
Figure 12 :	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Garcinia neglecta</i> (<i>Guttiferae</i>) - Forêt-Nord.....	22
Figure 13 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> (<i>Rubiaceae</i>) - Forêt-Nord.....	23
Figure 14 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> (<i>Rubiaceae</i>)- Forêt-Nord.....	23
Figure 15 :	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 2012 (droite).....	24
Figure 16 :	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 2012 (droite).	24
Figure 17 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Xylopiya sp</i> (<i>veillardii</i>) - Forêt-Nord selon l'année (à gauche) et altitude pour 2012 (à droite).	25
Figure 18 :	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Xylopiya sp</i> (<i>veillardii</i>) - Forêt-Nord selon l'année (à gauche) et altitude pour 2012 (à droite).	25
Figure 19 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> - Pic du Grand Kaori.....	26
Figure 20 :	ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> (<i>Rubiaceae</i>) - Pic du Grand Kaori	27
Figure 21 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) gauche et en Soufre total (S-%) (droite) des feuilles de <i>Gardenia aubreyii</i> -	28
Figure 22 :	ANOVA teneur en Azote total (N-%) gauche et en Soufre total (S-%) (droite) des feuilles de <i>Sparattocyce dioica</i> -	28

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). Le protocole est décrit dans les chapitres suivants.

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 2012 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 2012 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 spp* 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. La reprise de ces mesures n'a pu se faire qu'à partir de mai 2013 avec l'arrivée d'un nouvel appareil.

De ce fait, les objectifs de la campagne de surveillance de fin 2012 début 2013 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.

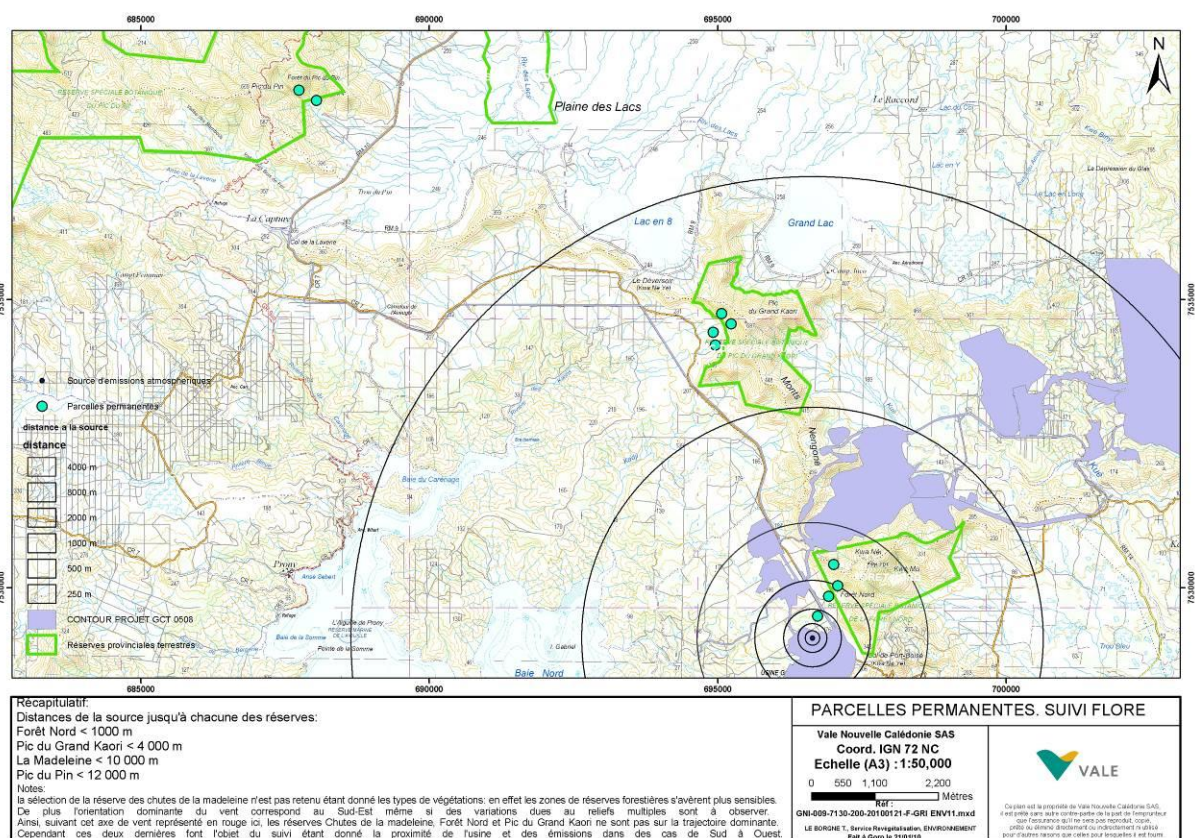


Figure 1 : Localisation des parcelles en Forêt-Nord et Pic du Grand Kaori.

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

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 2 : *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 atmosphériques de l'usine (unité d'acide) 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 fin 2012- début 2013 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 programme de mesures de l'activité chlorophyllienne des plantes et l'échantillonnage des parcelles permanentes ont été réalisés entre Décembre 2012 et Mars 2013. Le cyclone Freda a retardé la fin des mesures de Forêt Nord, ne permettant une reprise qu'en Février, soit en même temps que les mesures de Pic du Grand Kaori. Le suivi sur Pic du Pin a été annulé à cause des importants dégâts causés par des cochons sur les parcelles d'étude (Rapport Flore VALE NC, 2010).

Le calendrier ci-dessous présente le planning 2012-2013 pour les mesures et analyses des résultats issus du suivi des parcelles permanentes des stations forestières.

De nouvelles techniques développées par IRD Nouméa pour les analyses chimiques de l'Azote et du Soufre ont permis de réduire les délais à 3 mois pour l'obtention des résultats.

Activité de suivi ou analyse	Décembre 2012	Cyclone Freda	Janvier 2013	Février 2013	Mars 2013	Avril 2013	Mai 2013	Juin 2013	Juillet 2013	Aout 2013	Septembre 2013	Octobre 2013	Novembre 2013
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													
Reception nouveau PEA meter et tests de calibrages													
Analyses des données et rédaction rapport 2012													

Tableau 2 : Planning des suivies, échantillonnage et analyses effectuées en 2012et 2013.

Le tableau ci-dessous récapitule la disponibilité des données pour les suivis réalisés pour les campagnes de 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 et 2011. Les nombres correspondent à une station étudiée.

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

Tableau 3 : Données disponibles pour le suivi des parcelles en 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 et 2011, 2012-2013.

3. RÉSULTATS

Les résultats des analyses chimiques des sols, litières et feuilles des espèces communes depuis 2006 jusqu'à la campagne de 2012/2013 sont présentés dans les tableaux 4, 5, 6 et 7 afin de mettre en évidence les évolutions annuelles.

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 3, 4, 7, 8, puis 11 à 18 pour Forêt Nord et figure YY pour Pic du Grand Kaori. L'analyse de variance des teneurs en soufre des feuilles de *Gardenia aubreyii* et *Sparattocyce dioica* entre Forêt Nord et Pic du Grand Kaori est présenté en figure 5, 6, 9,10 puis 19 à 22.

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				2007				2008				2009				2010				2011				2012			
	Date			24/05/2007		02/04/2008		23/11/2009		28/12/2010		22/11/2011		08/01/2013		23/05/2007		01/04/2008		30/11/2009		14/12/2010		20/12/2011		09/01/2013		29/05/2007		09/04/2008		01/12/2009		06/12/2010		06/02/2012		21/12/2012		30/05/2007		10/04/2008		02/12/2009		23/02/2012		21/12/2012			
CHNS Humide	Analyses	Elément	Moyenne		Ecartype		Moyenne		Ecartype		Moyenne		Ecartype		Moyenne		Ecartype		Moyenne		Ecartype		Moyenne		Ecartype		Moyenne		Ecartype		Moyenne		Ecartype		Moyenne		Ecartype		Moyenne		Ecartype		Moyenne		Ecartype						
			n=10	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10	n=10	n=5	n=10	n=10	n=10	n=10	n=5	n=10	n=10	n=10	n=5	n=10	n=10	n=10	n=10	n=5	n=10	n=10	n=10	n=10	n=5	n=10	n=10	n=10	n=10	n=5	n=10	n=10	n=10	n=10	n=5	n=10	n=10									
	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	0,85	0,14	0,95	0,18	1,00	0,10	1,27	0,15	1,11	0,14	1,10	0,24	0,93	0,15	1,01	0,11	0,97	0,13	1,30	0,10	1,08	0,08	1,05	0,12	0,58	0,09	0,71	0,12	0,83	0,16	0,85	0,10	0,80	0,05				
C %			48,97	1,87	50,35	0,94	46,86	1,37	48,45	0,63	51,29	1,16			49,63	1,10	47,76	1,13	47,84	1,62	50,30	3,40	50,41	1,60			44,47	4,14	35,53	4,92	44,66	3,09	45,45	1,95	41,50	1,56			46,52	3,98	46,99	3,86	48,31	1,53	44,24	2,19					
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	0,12	0,02	0,06	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	0,10	0,01			0,04	0,01	0,12	0,01	0,11	0,01	0,14	0,02			
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	1,82	0,40	1,52	0,47	1,63	0,48	1,97	0,32	1,62	0,34	1,46	0,22	1,50	0,15	1,32	0,19	1,55	0,10	1,56	0,17	1,34	0,26	1,50	0,14	1,46	0,55	1,69	0,40	1,97	0,45	1,99	0,52	1,81	0,49				
	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	0,29	0,08	0,30	0,09	0,32	0,09	0,32	0,10	0,33	0,06	0,28	0,07	0,43	0,07	0,39	0,08	0,39	0,06	0,42	0,10	0,39	0,06	0,36	0,05	0,24	0,07	0,22	0,03	0,27	0,04	0,24	0,05						
	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	0,07	0,03	0,02	0,01	0,03	0,01	0,05	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,14	0,06	0,04	0,03	0,10	0,06	0,06	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0,05	0,03	0,01	0,01	0,05	0,02	0,03	0,02	0,02	0,00				
	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	0,12	0,03	0,06	0,02	0,08	0,02	0,13	0,03	0,08	0,02	0,07	0,01	0,12	0,05	0,07	0,01	0,15	0,05	0,11	0,02	0,09	0,03	0,09	0,02	0,07	0,02	0,03	0,01	0,07	0,02	0,05	0,01	0,05	0,01				
	P ppm	160,50	42,57	154,70	28,47	158,60	33,37	212,10	38,62	204,80	33,16	199,00	40,48	221,70	48,07	197,70	46,44	212,40	38,04	259,89	65,50	196,50	48,44	225,40	45,04	259,20	54,87	283,60	42,92	168,40	35,96	313,70	75,66	254,20	67,32	305,34	34,41	81,50	21,04	84,20	10,44	98,70	34,18	78,40	9,57	116,48	22,46				
Mn ppm	909,50	506,57	1279,60	378,19	1178,10	765,16	1027,20	376,08	1289,80	479,33	968,20	339,46	1606,20	953,71	1234,70	1139,98	1518,10	1253,00	1398,22	628,70	860,00	545,69	1028,20	358,66	268,90	117,46	327,90	113,84	103,80	57,03	601,80	613,17	229,40	106,47	400,80	133,03	332,90	158,15	428,60	188,89	501,90	226,42	482,80	112,67							

Tableau 4 : Caractéristiques chimiques des échantillons de litière et de sol - Forêt-Nord (2007-2012)

Les analyses chimiques des litières et des sols des parcelles de Forêt-Nord montrent plusieurs tendances :

- Les teneurs en Azote (N) et Carbone (C) sont en général plus élevées dans la litière que dans les sols de toutes les parcelles.
- Les teneurs en Soufre (S), Phosphore (P), Potasse (K), Calcium (Ca), Magnésium (Mg) et Manganèse (Mn) sont en général plus élevées dans le sol que dans la litière des parcelles.
- La différence de teneur de Sodium (Na) entre les horizons de litière et de sol varie indépendamment des facteurs horizons et parcelles.
- L'élément Fer (Fe) est le plus abondant des métaux dans le sol, suivi du Magnésium (Mg), du Chrome (Cr), du Manganèse (Mn), du Nickel (Ni), du Cobalt (Co), du Zinc (Zn), du Titane (Ti), du Cuivre (Cu) et de l'Aluminium (Al).
- L'élément non métallique le plus abondant dans le sol est la Silice (Si).
- La Silice (Si) et le Magnésium (Mg) sont plus élevés sur la parcelle FN2 que sur les autres parcelles.
- Les sols à FN4 ont un pH légèrement plus acide que sur FN1 et FN2.

- Caractéristiques chimiques des parcelles au Pic du Grand Kaori

LITIÈRE	Parcel		PGK1 240										PGK2 250										PGK4 315										PGK3 330																				
	Altitude (metres)		2007		2008		2009		2010		2011		2013		2007		2008		2009		2010		2011		2013		2007		2008		2009		2010		2011		2013																
	Date	Année	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=5	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=5	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=10	Moyenne Ecartype n=5																		
CHNS Humide	N %	0,92	0,18	1,09	0,14	1,21	0,18	1,20	0,15	1,06	0,08	1,06	0,08	0,85	0,14	0,95	0,18	1,00	0,10	1,04	0,08	1,07	0,10	1,07	0,10	0,58	0,09	0,71	0,12	0,83	0,16	1,03	0,10	1,13	0,15	1,13	0,15	0,93	0,15	1,01	0,11	0,97	0,13	1,03	0,10	1,16	0,14	1,16	0,14				
	C %	48,97	1,87	50,35	0,94	46,27	4,40	51,55	1,17	51,55	1,17	49,63	1,10	47,76	1,13	48,05	1,49	50,56	0,69	50,56	0,69	46,52	3,98	46,99	3,86	46,13	2,52	48,98	1,50	48,98	1,50	44,47	4,14	35,53	4,92	46,13	2,52	48,94	1,44	48,94	1,44	0,15	0,02	0,08	0,02	0,12	0,02	0,11	0,01	0,12	0,01	0,12	0,01
	S %	0,11	0,02	0,05	0,02	0,12	0,01	0,11	0,01	0,12	0,02	0,12	0,02	0,12	0,02	0,06	0,02	0,13	0,01	0,11	0,01	0,11	0,01	0,11	0,01	0,10	0,01	0,04	0,01	0,12	0,01	0,11	0,01	0,13	0,01	0,13	0,01	0,15	0,02	0,08	0,02	0,12	0,02	0,11	0,01	0,12	0,01	0,12	0,01				
	Ca %	1,44	0,22	1,44	0,28	1,47	0,38	1,35	0,23	1,04	0,23	1,04	0,23	1,82	0,40	1,52	0,47	1,63	0,48	1,29	0,43	1,17	0,25	1,17	0,25	1,46	0,55	1,69	0,40	1,97	0,45	1,52	0,18	1,59	0,47	1,59	0,47	1,50	0,15	1,32	0,19	1,55	0,10	1,52	0,18	1,36	0,38	1,36	0,38				
	Mg %	0,23	0,06	0,23	0,04	0,29	0,10	0,30	0,21	0,19	0,03	0,19	0,03	0,29	0,08	0,30	0,09	0,32	0,09	0,23	0,08	0,20	0,04	0,20	0,04	0,24	0,07	0,22	0,03	0,27	0,04	0,28	0,06	0,28	0,11	0,28	0,11	0,43	0,07	0,39	0,08	0,39	0,06	0,28	0,06	0,25	0,02	0,25	0,02				
	Na %	0,08	0,02	0,01	0,00	0,05	0,01	0,04	0,01	0,05	0,02	0,05	0,02	0,07	0,03	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,05	0,03	0,01	0,01	0,03	0,00	0,03	0,00	0,14	0,06	0,04	0,03	0,10	0,06	0,02	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01						
	K %	0,16	0,05	0,05	0,01	0,13	0,03	0,07	0,02	0,09	0,04	0,09	0,04	0,12	0,03	0,06	0,02	0,08	0,02	0,04	0,01	0,06	0,02	0,06	0,02	0,07	0,02	0,03	0,01	0,07	0,02	0,06	0,02	0,12	0,05	0,07	0,01	0,15	0,05	0,06	0,01	0,07	0,01	0,07	0,02	0,07	0,02						
	P ppm	160,50	42,57	154,70	28,47	158,60	33,37	107,90	39,69	78,40	20,99	78,40	20,99	221,70	48,07	197,70	46,44	212,40	38,04	71,23	8,74	54,60	11,12	54,60	11,12	81,50	21,04	84,20	10,44	98,70	34,18	78,15	16,59	81,30	20,09	81,30	20,09	259,20	54,87	283,60	42,92	168,40	35,96	78,15	16,59	80,80	13,78	80,80	13,78				
	Mn ppm	909,50	506,57	1279,60	378,19	1178,10	765,16	1663,10	945,59	1018,60	441,40	1018,60	441,40	1606,20	953,71	1234,70	1139,98	1518,10	1253,00	1133,08	287,26	1131,20	535,78	1131,20	535,78	332,90	158,15	428,60	185,97	407,20	188,89	1496,34	3114,99	1453,20	1918,48	1453,20	1918,48	268,90	117,46	327,90	113,84	103,80	57,03	1496,34	3114,99	530,40	252,14	530,40	252,14				
	Attaque totale acide/fusion alcaline	Ca %	1,44	0,22	1,44	0,28	1,47	0,38	1,35	0,23	1,04	0,23	1,04	0,23	1,82	0,40	1,52	0,47	1,63	0,48	1,29	0,43	1,17	0,25	1,17	0,25	1,46	0,55	1,69	0,40	1,97	0,45	1,52	0,18	1,59	0,47	1,59	0,47	1,50	0,15	1,32	0,19	1,55	0,10	1,52	0,18	1,36	0,38	1,36	0,38			
Mg %	0,23	0,06	0,23	0,04	0,29	0,10	0,30	0,21	0,19	0,03	0,19	0,03	0,29	0,08	0,30	0,09	0,32	0,09	0,23	0,08	0,20	0,04	0,20	0,04	0,24	0,07	0,22	0,03	0,27	0,04	0,28	0,06	0,28	0,11	0,28	0,11	0,43	0,07	0,39	0,08	0,39	0,06	0,28	0,06	0,25	0,02	0,25	0,02					
Na %	0,08	0,02	0,01	0,00	0,05	0,01	0,04	0,01	0,05	0,02	0,05	0,02	0,07	0,03	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,05	0,03	0,01	0,01	0,03	0,00	0,03	0,00	0,14	0,06	0,04	0,03	0,10	0,06	0,02	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01							
K %	0,16	0,05	0,05	0,01	0,13	0,03	0,07	0,02	0,09	0,04	0,09	0,04	0,12	0,03	0,06	0,02	0,08	0,02	0,04	0,01	0,06	0,02	0,06	0,02	0,07	0,02	0,03	0,01	0,07	0,02	0,06	0,02	0,12	0,05	0,07	0,01	0,15	0,05	0,06	0,01	0,07	0,01	0,07	0,02	0,07	0,02							
P ppm	160,50	42,57	154,70	28,47	158,60	33,37	107,90	39,69	78,40	20,99	78,40	20,99	221,70	48,07	197,70	46,44	212,40	38,04	71,23	8,74	54,60	11,12	54,60	11,12	81,50	21,04	84,20	10,44	98,70	34,18	78,15	16,59	81,30	20,09	81,30	20,09	259,20	54,87	283,60	42,92	168,40	35,96	78,15	16,59	80,80	13,78	80,80	13,78					
Mn ppm	909,50	506,57	1279,60	378,19	1178,10	765,16	1663,10	945,59	1018,60	441,40	1018,60	441,40	1606,20	953,71	1234,70	1139,98	1518,10	1253,00	1133,08	287,26	1131,20	535,78	1131,20	535,78	332,90	158,15	428,60	185,97	407,20	188,89	1496,34	3114,99	1453,20	1918,48	1453,20	1918,48	268,90	117,46	327,90	113,84	103,80	57,03	1496,34	3114,99	530,40	252,14	530,40	252,14					

Tableau 5 : Caractéristiques chimiques des échantillons de litière et de sol - Pic du Grand Kaori (2007-2013)

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

- Les teneurs en Azote (N), Carbone (C) et Phosphore (P) sont en général plus élevées dans la litière que dans les sols de toutes les parcelles.
- Les teneurs en Soufre (S), Calcium (Ca), Magnésium (Mg), Sodium (Na) et Manganèse (Mn) sont en général plus élevées dans le sol que dans la litière des parcelles.
- Les différences de teneur en Potasse (K) entre les horizons de litières et de sols varient indépendamment des facteurs horizons et parcelles.
- L'élément Fer (Fe) est le plus abondant des métaux dans le sol, suivi du Magnésium (Mg), Chrome (Cr), Manganèse (Mn), Nickel (Ni), Cobalt (Co), Titane (Ti), Zinc (Zn), Cuivre (Cu) et aluminium (Al).
- L'élément non métallique le plus abondant dans le sol est la Silice (Si).
- La Silice (Si) et le Magnésium (Mg) sont plus élevés sur la parcelle PGK3 et PGK4 que sur les autres parcelles.
- Les sols ont un pH légèrement plus acide sur PGK 1 et 2 que sur 3 et 4.

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

Espèces par année et altitude (m)	Moyenne de N %	Écartype de N %	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 %
<i>Garcinia-neglecta</i>	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	0,10	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	0,07	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
<i>Gardenia-aubreyii</i>	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
<i>Xylopi-a-sp.</i>	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

Tableau 6 : Teneur foliaire des espèces communes - Forêt-Nord (2007-2012)

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 2011 à 2012 (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	Écartype	Moyenne	Écartype	Moyenne	Écartype	Moyenne	Écartype	Moyenne	Écartype	Moyenne	Écartype	Moyenne	Écartype	Moyenne	Écartype
Gardenia-aubryi	1,13	0,21	274,26	36,31	0,92	0,26	1,10	0,36	0,36	0,07	0,40	0,11	45,37	35,79	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
2011	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
Sparattocyce-dioica	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
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

Tableau 7 : Teneur foliaire des espèces communes - Pic du Grand Kaori (2007-2013)

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

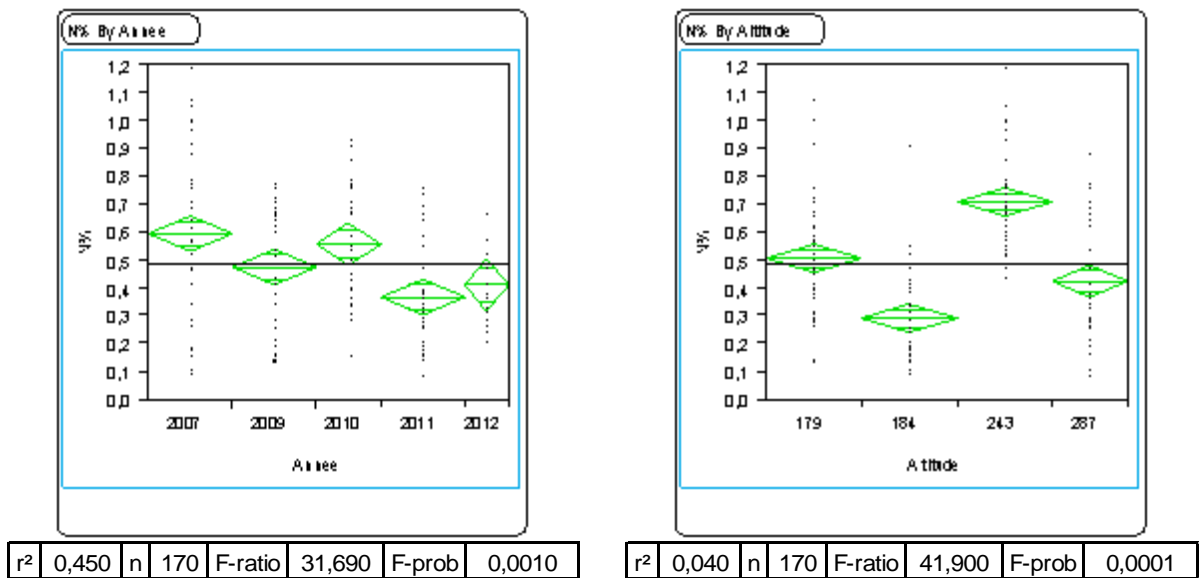


Figure 3 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

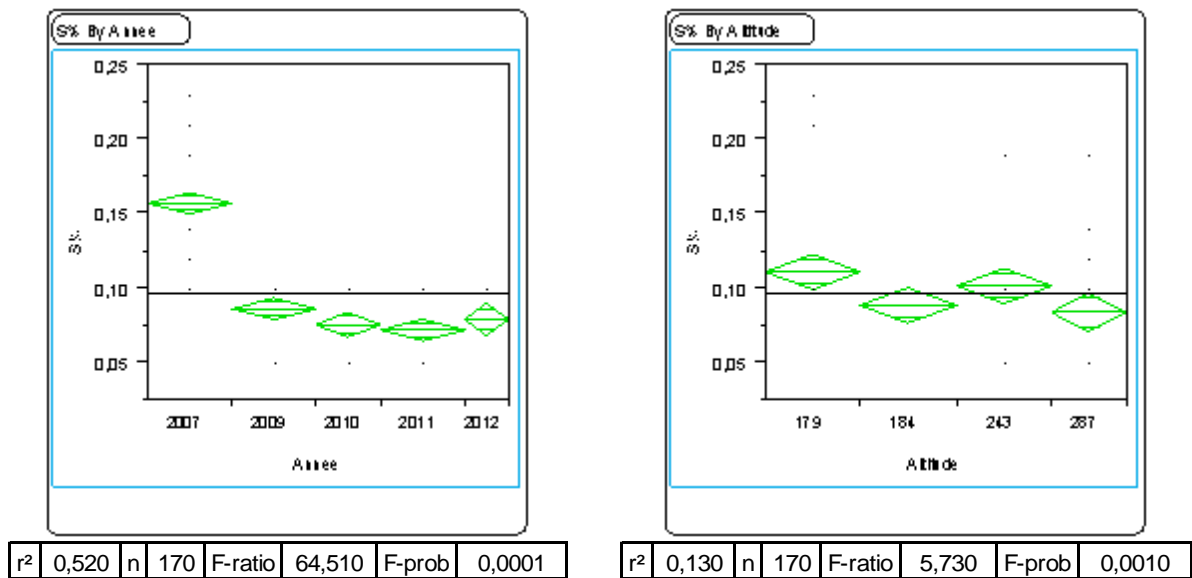
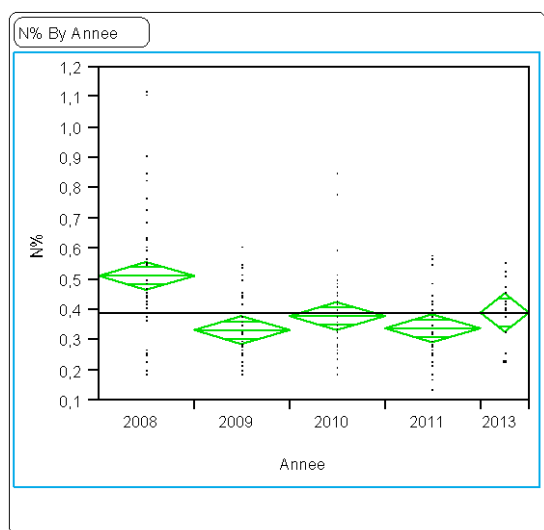


Figure 4 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

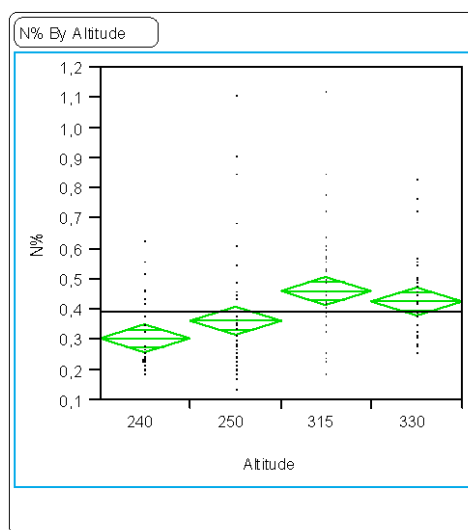
L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des sols de Forêt-Nord prélevés sur les parcelles permanentes de 2007 à 2012 montre plusieurs tendances :

- 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**

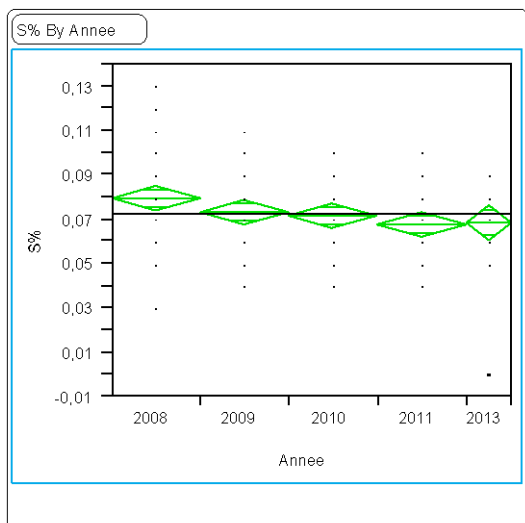


r^2 0,169 | n 180 | F-ratio 8,890 | F-prob <0,0001

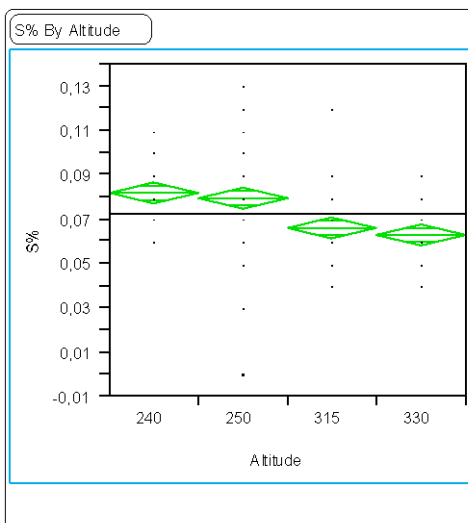


r^2 0,127 | n 180 | F-ratio 8,560 | F-prob <0,0001

Figure 5 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des sols - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)



r^2 0,051 | n 180 | F-ratio 2,357 | F-prob 0,0555



r^2 0,192 | n 180 | F-ratio 13,960 | F-prob <0,0001

Figure 5 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des sols - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

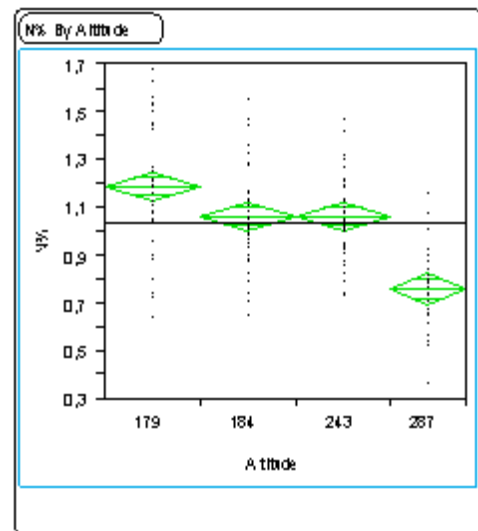
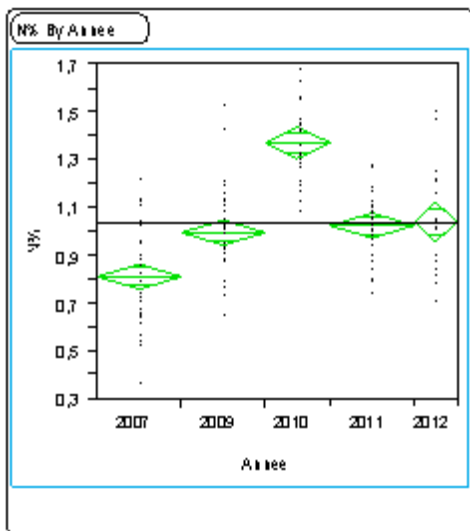
L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des sols du Pic du Grand Kaori prélevés sur les parcelles permanentes de 2007 à 2013 montre plusieurs tendances :

- Les teneurs en N, et S, montrent une légère diminution de 2007 à 2013.
- 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

-

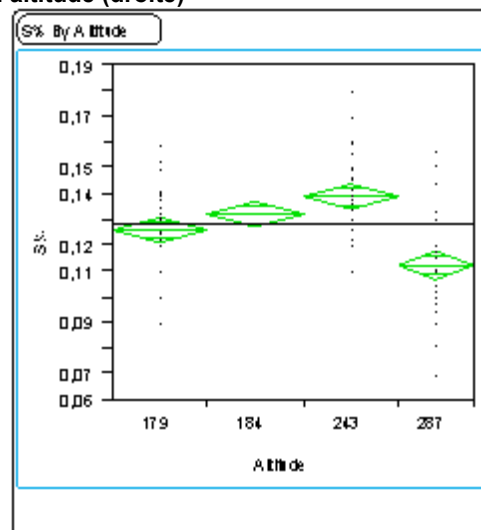
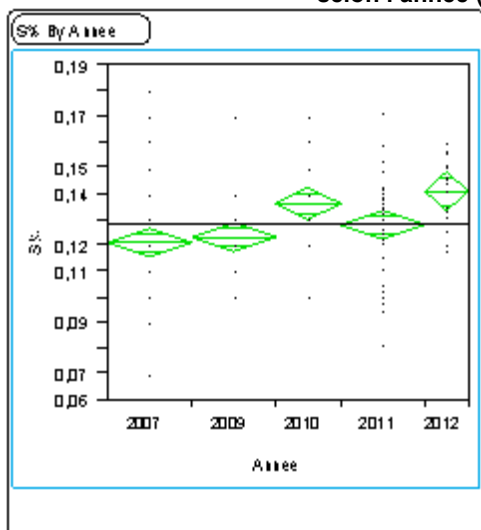
- **ANOVA des teneurs en Azote total (N- %) et Soufre total (S -%) dans la litière des parcelles de Forêt Nord**



r^2 0,486 n 170 F-ratio 39,090 F-prob <0,0001

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

Figure 7 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des litières - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)



r^2 0,125 n 170 F-ratio 5,920 F-prob 0,0002

r^2 0,230 n 170 F-ratio 16,910 F-prob <0,0001

Figure 6 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des litières - Forêt-Nord

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

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

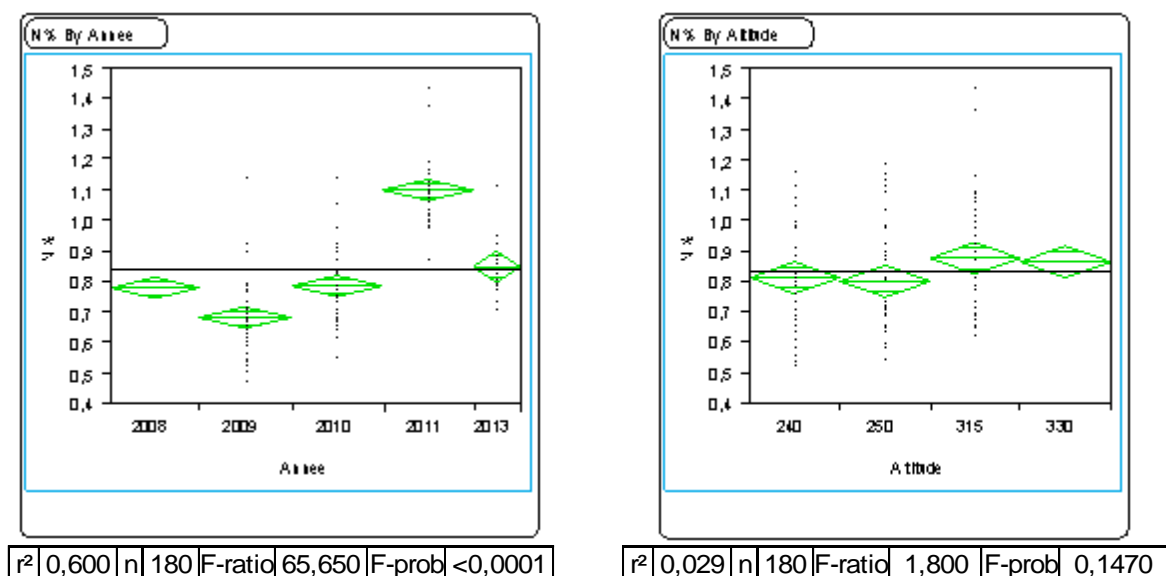
- ANOVA des teneurs en Azote total (N-%) et Soufre total (S-%) dans la litière des parcelles du Pic du Grand Kaori


Figure 9 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des litières - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

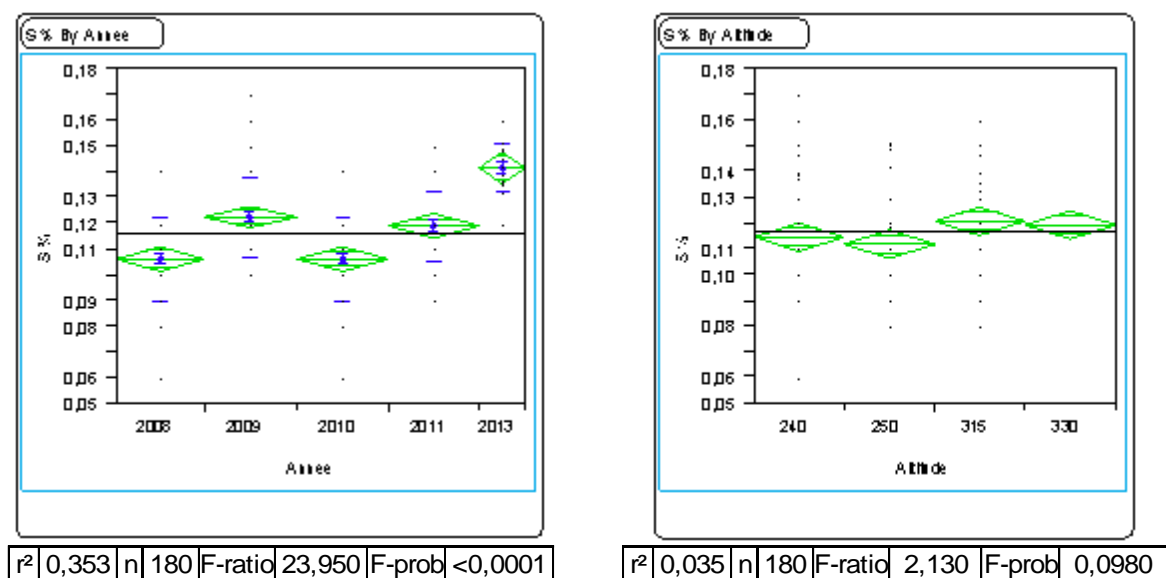


Figure 7 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des litières - Pic du Grand Kaori selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

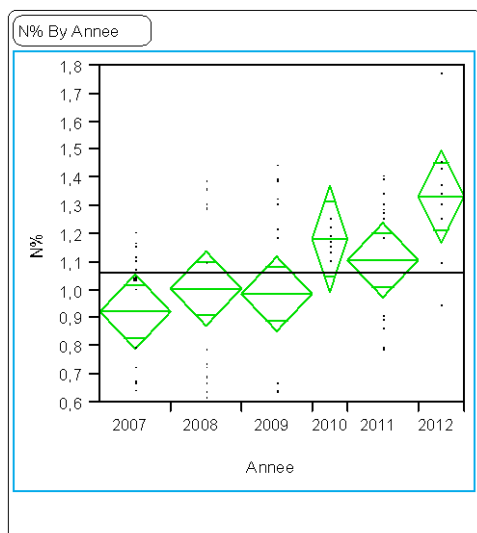
L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des litières du Pic du Grand Kaori prélevées sur les parcelles permanentes de 2007 à 2013 montre plusieurs tendances :

- Les teneurs en N et S montrent une augmentation de 2007 à 2013 mais de manière aléatoire.
- Les teneurs en N et S ne varient pas de manière significative entre les parcelles selon l'altitude.

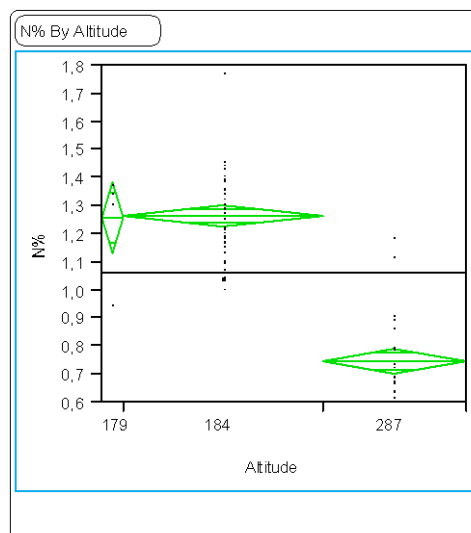
3.4 Analyse de variance (ANOVA) de la teneur en Azote (N -%) et Soufre (S -%) dans les arbres communs à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori

- 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)

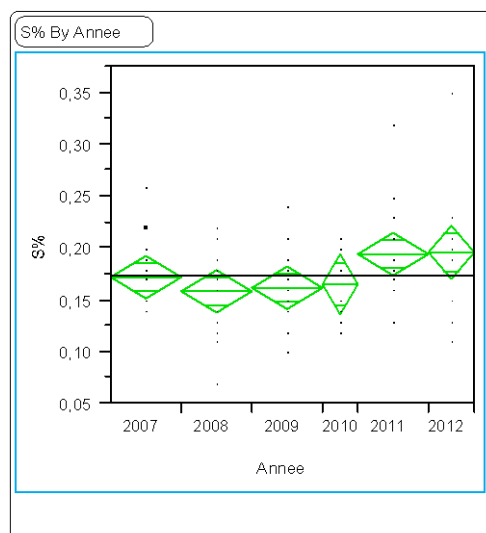


r^2	0,210	n	82	F-ratio	9,475	F-prob	<0,0001
-------	-------	---	----	---------	-------	--------	---------

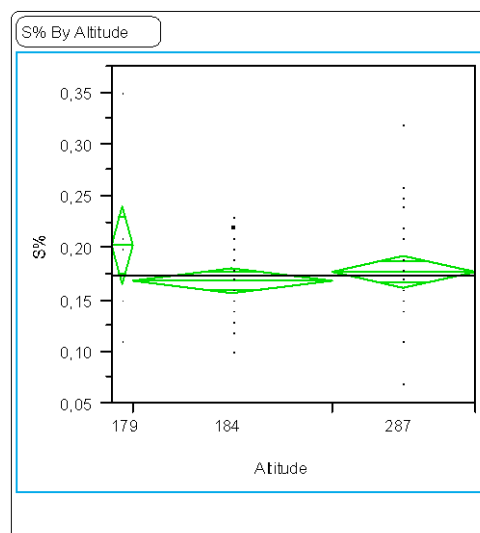


r^2	0,760	n	82	F-ratio	129,520	F-prob	<0,0001
-------	-------	---	----	---------	---------	--------	---------

Figure 8 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Garcinia neglecta* (Guttiferae) - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)



r^2	0,116	n	82	F-ratio	2,009	F-prob	0,0860
-------	-------	---	----	---------	-------	--------	--------



r^2	0,040	n	82	F-ratio	1,650	F-prob	0,1971
-------	-------	---	----	---------	-------	--------	--------

Figure 9 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de *Garcinia neglecta* (Guttiferae) - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude (droite)

Gardenia aubreyii (Rubiaceae)

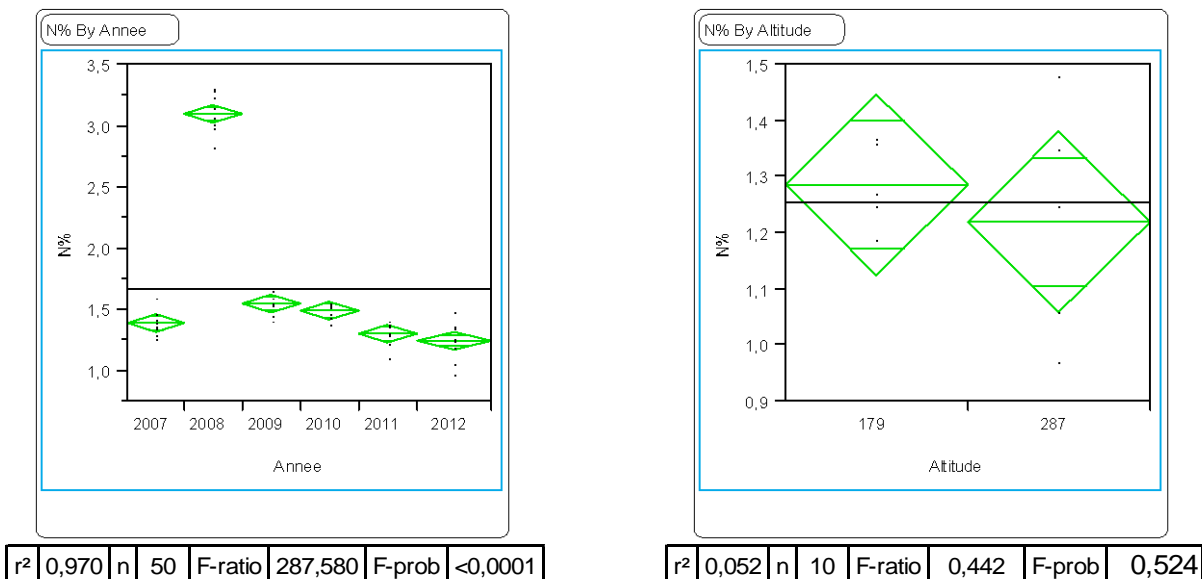


Figure 10 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Gardenia aubreyii* (Rubiaceae) - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude pour 2012 (droite)

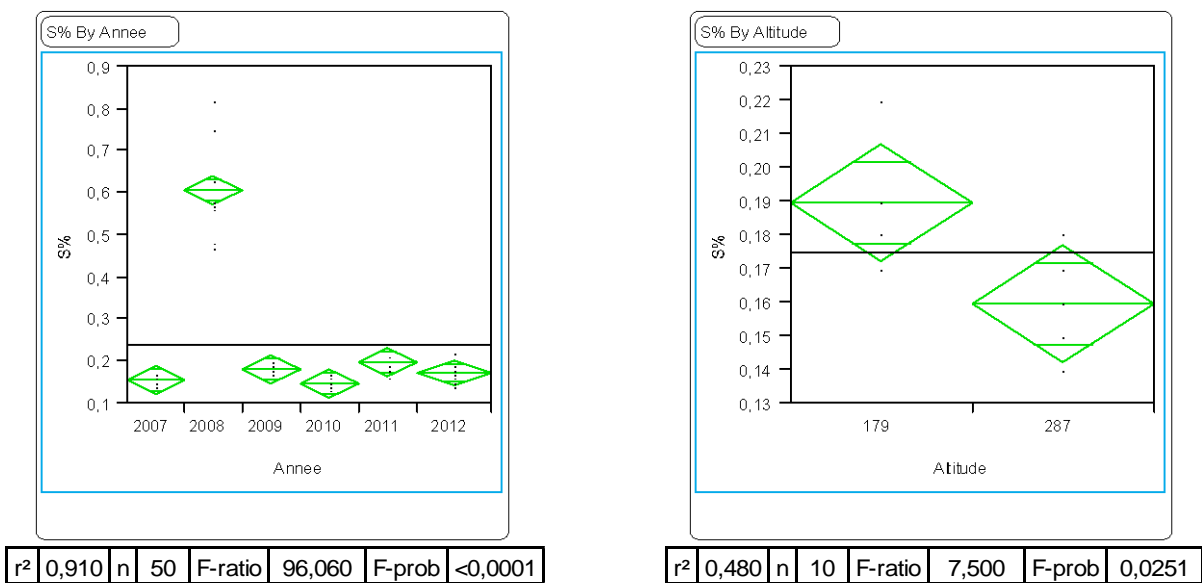
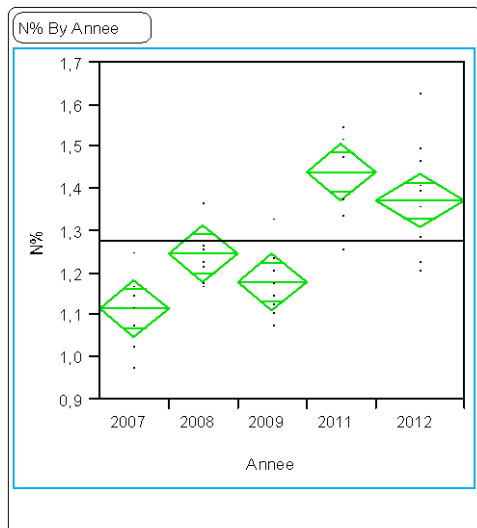
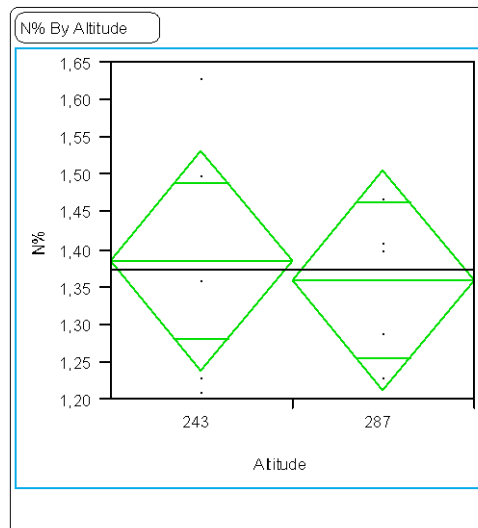


Figure 11 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Gardenia aubreyii* (Rubiaceae)- Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude pour 2012 (droite)

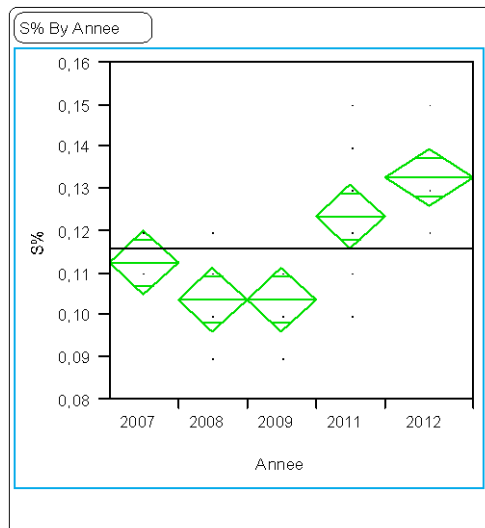
***Sparattoyce dioica* (Moraceae)**


r^2	0,67	n	40	F-ratio	17,87	F prob	<0,0001
-------	------	---	----	---------	-------	--------	---------

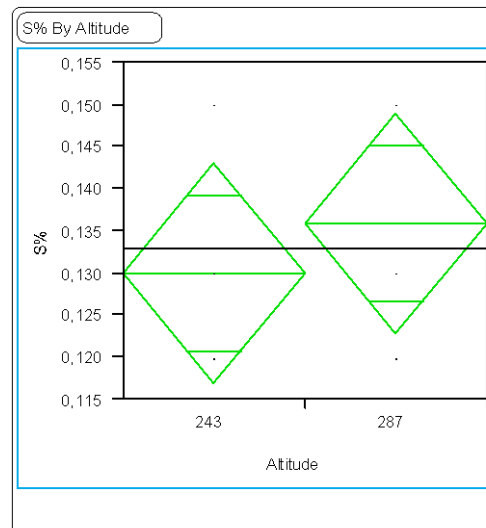


r^2	0,539	n	40	F-ratio	10,25	F prob	<0,0001
-------	-------	---	----	---------	-------	--------	---------

Figure 12 : ANOVA teneur en Azote total (N-%) des feuilles de *Sparattoyce dioica* (Moraceae) - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude pour 2012 (droite)

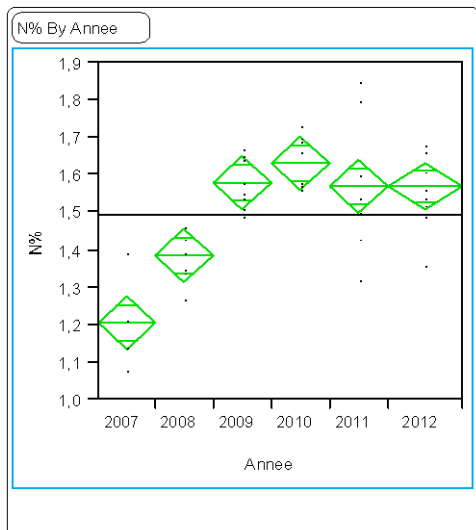


r^2	0,67	n	40	F-ratio	14,72	F prob	<0,0001
-------	------	---	----	---------	-------	--------	---------

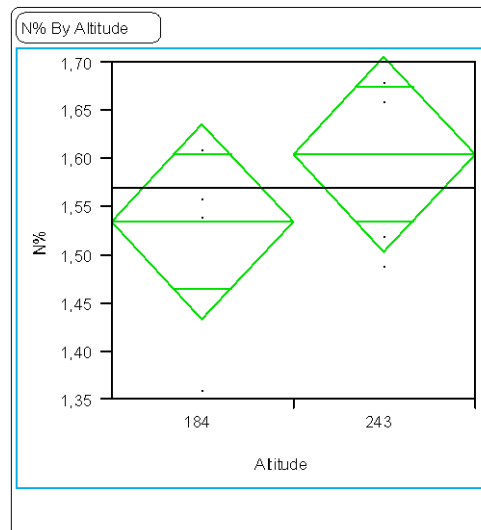


r^2	0,69	n	40	F-ratio	19,82	F prob	<0,0001
-------	------	---	----	---------	-------	--------	---------

Figure 13 : ANOVA teneur en Soufre total (S-%) des feuilles de *Sparattoyce dioica* (Moraceae) - Forêt-Nord selon l'année (gauche) et l'altitude pour 2012 (droite).

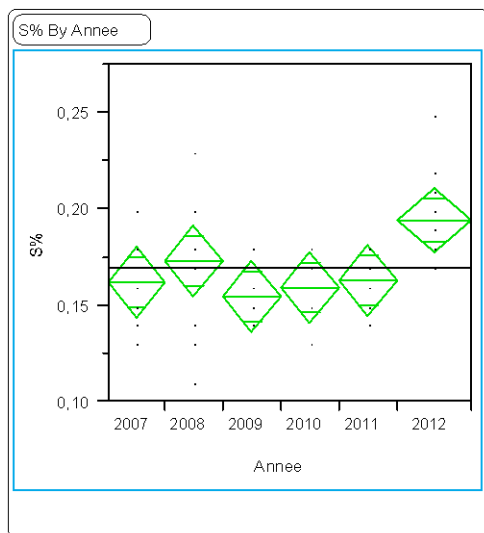
***Xylopi* sp. (*veillardii*)**


r^2	0,46	n	30	F-ratio	8,07	F prob	0,005
-------	------	---	----	---------	------	--------	-------

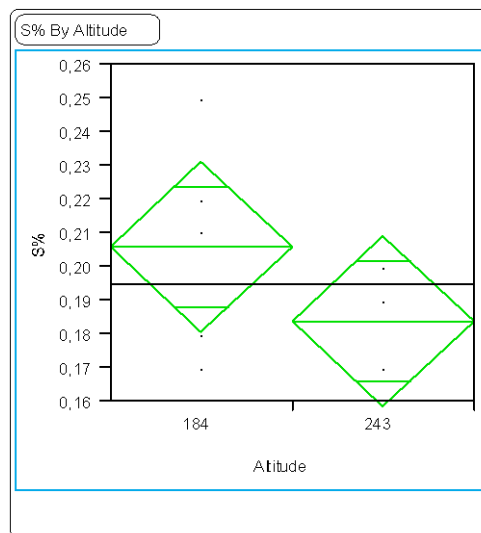


r^2	0,44	n	30	F-ratio	7,61	F prob	0,007
-------	------	---	----	---------	------	--------	-------

Figure 14 : ANOVA teneur en Azote total (N%) des feuilles de *Xylopi* sp (*veillardii*) - Forêt-Nord selon l'année (à gauche) et altitude pour 2012 (à droite).



r^2	0,8	n	40	F-ratio	36,44	F prob	<0,0001
-------	-----	---	----	---------	-------	--------	---------



r^2	0,25	n	40	F-ratio	2,94	F prob	0,03
-------	------	---	----	---------	------	--------	------

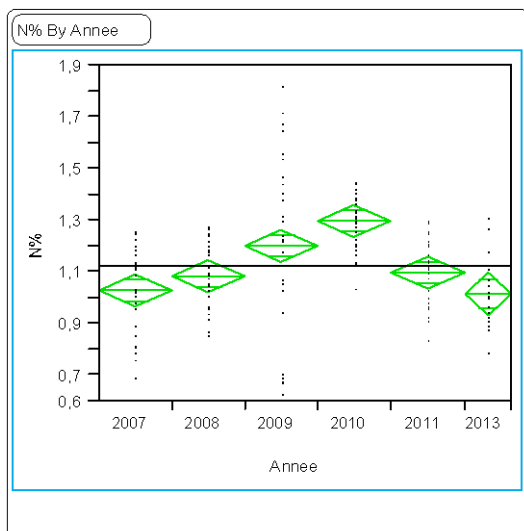
Figure 15 : ANOVA teneur en Soufre total (S%) des feuilles de *Xylopi* sp (*veillardii*) - Forêt-Nord selon l'année (à gauche) et altitude pour 2012 (à droite).

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 et 2012 en Forêt-Nord montrent plusieurs tendances :

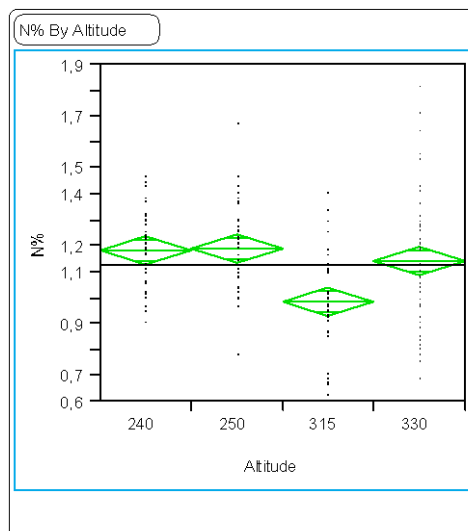
- Les teneurs en N chez *Garcinia*, *Gardenia*, *Sparattosyce* et *Xylopia* ont montrées une augmentation significative de 2007 à 2012
- Les teneurs en N se sont stabilisées de 2010 à 2012 pour *Xylopia*, mais ont continué à augmenter pour les autres espèces suggérant des différences de cycles entre espèces...
- Les teneurs en S des feuilles de *Gardenia*, *Sparattosyce* et *Xylopia* montrent des variations significatives entre 2007 et 2012. Ces variations pourraient être cycliques.
- 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 *Sparattosyce* montrent des différences significatives entre les parcelles selon l'altitude avec les parcelles basses contenant une plus faible teneur que les parcelles hautes. Toutefois, cette différence est discutable car basée uniquement sur les valeurs de 2012.
- Les teneurs en S des feuilles de *Gardenia* et *Xylopia* montrent des différences significatives entre les parcelles selon l'altitude avec les parcelles basses contenant une plus fort teneur que les parcelles du haut.

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

Gardenia aubreyii (Rubiaceae)

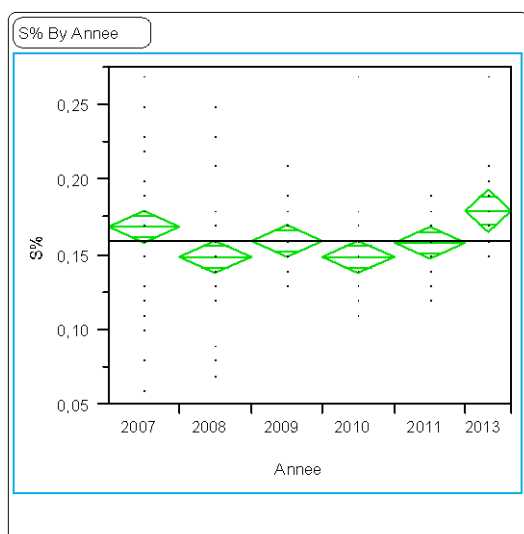


r^2	0,32	n	159	F-ratio	18,14	F prob	<0,0001
-------	------	---	-----	---------	-------	--------	---------

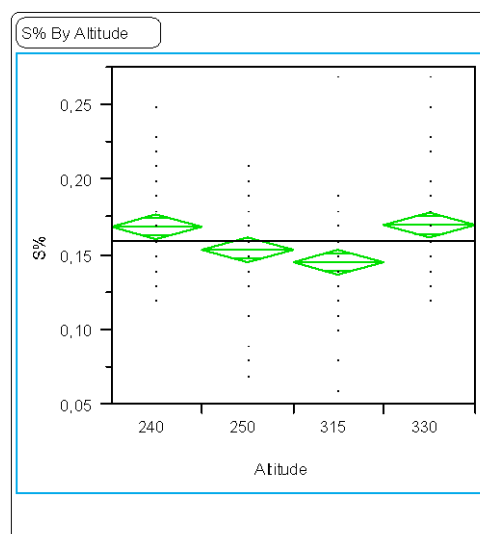


r^2	0,05	n	159	F-ratio	2,76	F prob	0,0438
-------	------	---	-----	---------	------	--------	--------

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



r^2	0,065	n	159	F-ratio	2,7	F prob	0,0327
-------	-------	---	-----	---------	-----	--------	--------



r^2	0,017	n	159	F-ratio	0,909	F prob	0,437
-------	-------	---	-----	---------	-------	--------	-------

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

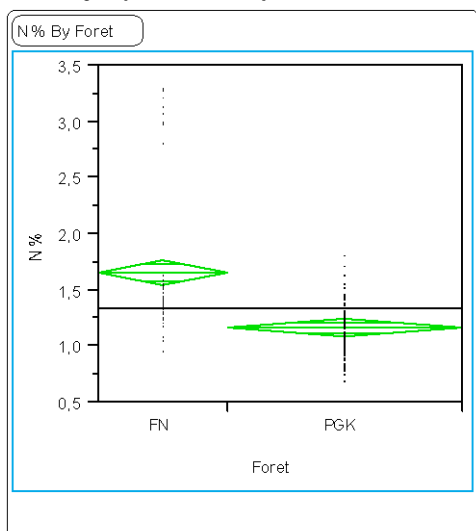
L'analyse de variance effectuée sur la composition chimique des feuilles des espèces communes prélevées sur les parcelles permanentes en 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 et 2013 au Pic du Grand Kaori montre plusieurs tendances :

- Les feuilles de *Gardenia* montrent une augmentation significative de leurs teneurs en N de 2007 à 2010.
- Les feuilles *Gardenia*, montrent une diminution dans leur teneur en N entre 2010 et 2013.
- La teneur en S des feuilles de *Gardenia* montrent des différences significatives entre les parcelles selon l'altitude et de manière aléatoire.

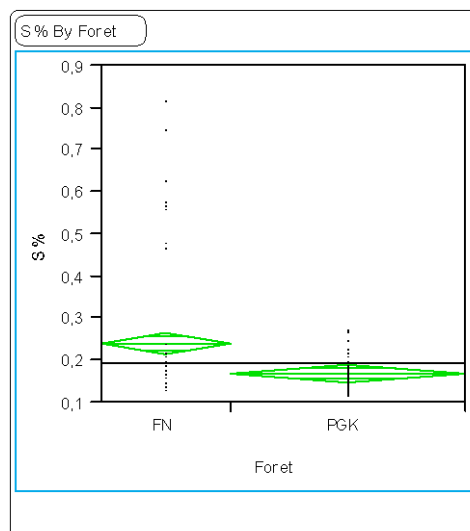
3.5 Analyse de variance (ANOVA) de la teneur en Azote (N -%) et Soufre (S -%) entre les arbres communs à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori (*Gardenia*, *Sparattocyce*)

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

Gardenia aubreyii (Rubiaceae)

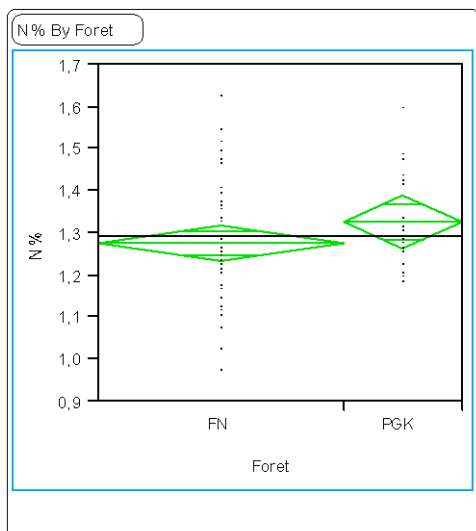


r^2 0,236 | n 140 | F-ratio 44,100 | F-prob <0,0001

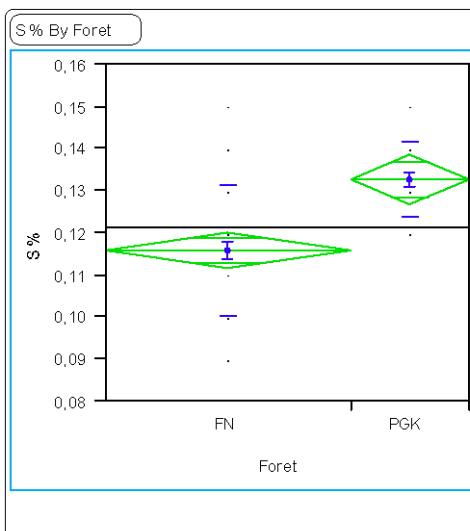


r^2 0,103 | n 140 | F-ratio 15,880 | F-prob <0,0001

Figure 18 : 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



r^2 0,029 | n 62 | F-ratio 1,820 | F-prob 0,1820



r^2 0,244 | n 62 | F-ratio 19,448 | F-prob <0,0001

Figure 19 : 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

4. ANALYSE DES RESULTATS

4.1 Bilan générale des campagnes de suivies des parcelles permanentes

La campagne de mesures des parcelles permanentes de 2012-2013 a débuté en Décembre 2012 à Forêt Nord et ensuite a continué sur Pic du Grand Kaori en Février 2012 après le passage de dépression tropical Freda le 2 Janvier.

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 prélevées	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 prélevées	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>Xylophia cf. veillardii</i>	x	x								
Nombre d'échantillons de feuilles prélevées	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 8 : Les nombres de mesures, de prélèvements et d'analyses chimiques fait pour la campagne de suivi concernant la période Décembre 2012 à Mars 2013.

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.

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 Forêt à *Nothofagus* (dont le Pic du Grand Kaori qui possèdent des populations de cette espèce). La capacité d'échange de Calcium et Magnésium est aussi plus faible pour les stations que pour les forêts évaluées par Read et al (2006).

Analyses sol	Formations végétales du Sud (Read et al, 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	5,42	5,68	6,25	6,40	5,95	5,99	6,00	6,26
N (mg g ⁻¹)	0.9 - 3.6	0.7 - 3.8	0.8 - 1.6	0,63	0,29	0,78	0,52	0,37	0,32	0,42	0,45
P (mg g ⁻¹)	0.07 - 0.24	0.10 - 0.18	0.06 - 0.32	0,32	0,35	0,49	0,10	0,14	0,16	0,17	0,18
K (mg g ⁻¹)	0.01 - 0.12	0.03 - 0.28	0.04 - 2.10	0,27	0,18	0,27	0,29	0,30	0,49	0,40	0,40
Ca (mg g ⁻¹)	0.07 - 1.20	0.40 - 1.15	0.05 - 1.5	0,23	0,14	0,47	0,56	0,18	0,14	0,35	0,25
Mg (mg g ⁻¹)	0.01 - 60	3.1 - 17	0.4 - 12.0	1,1	1,6	4,3	1,0	2,0	1,4	2,8	2,4
S (mg g ⁻¹)				0,08	0,08	0,08	0,07	0,08	0,06	0,07	0,07
Ni (mg g ⁻¹)	0.5 - 6.7	2.3 - 8.5	1.3 - 10.4	6,5	6,0	8,8	7,0	5,2	3,7	5,1	6,4
Fe (mg g ⁻¹)	50 - 490	270 - 460	290 - 510	346	362	250	337	36	34	31	33
Cr (mg g ⁻¹)	2 - 134	25 - 184	14 - 110	27	27	22	19	26	32	27	30
eK (meq 100 g ⁻¹)	0.18 - 0.39	0.08 - 0.47	0.02 - 0.38	0,41	0,26	0,45	0,35	0,19	0,19	0,24	0,23
eCa (meq 100 g ⁻¹)	0.12 - 3.1	0.26 - 2.6	0.01 - 1.8	0,67	0,42	0,99	1,73	0,53	0,55	0,97	0,77
eMg (meq 100 g ⁻¹)	0.30 - 1.70	0.86 - 9.96	0.12 - 8.3	0,43	0,42	1,27	0,59	0,94	0,88	1,03	1,41

Tableau 9 : 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 non significative et en S très significative de 2007 à 2012. 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 2007 et 2013. La baisse des teneurs en soufre dans les sols de Pic du Grand Kaori entre 2007 et 2013 est non 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 12) 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	1,22	1,10	1,05	0,80	1,06	1,07	1,13	1,16
P (mg g ⁻¹)	0.125 ± 0.040	0.123 ± 0.050	0.084 ± 0.033	0,20	0,23	0,31	0,12	0,08	0,08	0,08	0,08
K (mg g ⁻¹)	0.142 ± 0.044	0.147 ± 0.065	0.072 ± 0.023	0,10	0,07	0,09	0,05	0,09	0,06	0,06	0,07
Ca (mg g ⁻¹)	0.281 ± 0.098	0.700 ± 0.225	0.092 ± 0.015	1,65	1,46	1,50	1,81	1,04	1,17	1,59	1,36
Mg (mg g ⁻¹)	7.27 ± 2.60	11.47 ± 4.84	5.36 ± 1.48	19,18	27,88	36,00	23,78	19,19	20,09	27,50	25,46
Mn (mg g ⁻¹)	7.60 ± 2.09	7.32 ± 2.24	3.91 ± 0.961	9,68	10,28	4,01	7,20	10,19	11,31	14,53	5,30

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

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. De 2011 à 2012 les teneurs en N diminuent, ce qui 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 2012. Ces changements entre 2007 et 2012 ne sont pas linéaire et pourraient être considérés comme des variations cycliques.

Les teneurs en S dans la litière de Pic du Grand Kaori montrent aussi une augmentation significative de 2007 à 2013, qui pourraient aussi être considérés comme des variations cycliques. Ceci pourrait laisser penser que cet élément trouve son origine dans les flux biologiques.

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. Les teneurs en P de la litière ont diminué dans la litière en 2011 par rapport aux mesures précédentes. 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 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	444	0,97	1,36	0,34	0,36	355	0,19
<i>Gardenia aubreyi</i>	Forêt Nord	1,26	445	0,98	1,38	0,35	0,38	351	0,20
<i>Sparattosyce dioica</i>	Forêt Nord	1,31	445	1,00	1,37	0,34	0,36	353	0,20
<i>Xylopia veillardii</i>	Forêt Nord	1,27	439	0,99	1,38	0,34	0,37	340	0,20
<i>Gardenia aubreyi</i>	Pic du Grand Kaori	1,13	274	0,92	1,10	0,36	0,40	45	0,16
<i>Sparattosyce dioica</i>	Pic du Grand Kaori	1,19	335	1,04	1,30	0,37	0,28	76	0,15
Moyenne des espèces communes parcelles Forêt Nord		1,26	445,14	0,97	1,38	0,35	0,38	343,28	0,20
Moyenne des espèces communes parcelles permanentes Pic du Grand Kaori		1,04	246,84	0,74	1,28	0,30	0,32	207,87	0,17
Moyenne des espèces communes des parcelles permanentes sur Forêt Nord et Pic du Grand Kaori		1,15	345,99	0,86	1,33	0,33	0,35	275,57	0,18
Moyenne sur 118 Dicotylédones en forêt sur sol ultramafique (Jaffré et al, 1994 b)		1,34	440	0,86	1,55	0,49	0,25	250	
Moyenne sur 100 Dicotylédones en maquis sur sol ferrallitique ferritique désaturée (Jaffré et al, 1994 b)		0,91	320	0,59	1,10	0,24	0,21	950	

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

Tableau 11 : 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 et al (1994 b)

Le tableau 13 présente une synthèse de la teneur foliaire moyenne (des espèces d'arbres communes aux parcelles de Forêt-Nord en 2012 et du Pic du Grand Kaori en 2013 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 et *Sparattocyce* ont montré une augmentation significative quasi linéaire de 2007 à 2010 à Forêt Nord suivi par une diminution de 2011 à 2012. Les feuilles de *Gardenia*, à Forêt Nord ont aussi montré des variations significatives de 2007 à 2012 dans leur teneur en S, mais les tendances sont aléatoires. Les teneurs en S des feuilles de *Sparattocyce* et *Xylopi*a augmentent de manière significative de 2007 à 2012.

L'analyse de variance des arbres commun à Pic du Grand Kaori a montré une augmentation significative en N quasi linéaire entre 2007 et 2013. Une chute de 2011 à 2013 a aussi été enregistrée pour les *Gardenia* à Pic du Grand Kaori. *Gardenia* a aussi montrée une légère augmentation dans leurs teneurs en soufre entre 2007 et 2013.

5. CONCLUSION

5.1 Etat de santé des parcelles

La période 2012/2013 a été caractérisée par la montée en puissance de nombreuses installations de l'usine (centrale acide) et l'activité de la 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. Cependant, la période d'évaluation en Décembre a dû être interrompue à maintes reprises par les intempéries. Le point culminant fut la dépression tropicale Freda, le 2 Janvier 2013, contraignant à une interruption des opérations de suivi sur Pic du Grand Kaori jusqu'à Février. Malgré ces mauvaises conditions météorologiques, 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 2012.

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 2013 dans 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 continuent à montrer une diminution significative en 2007 et 2012-2013. Cette diminution est plus significative à Forêt Nord qu'à Pic du Grand Kaori. Les feuilles de 2 sur 4 espèces à Forêt Nord et *Gardenia* à Pic du Grand Kaori montrent aussi une diminution de leur teneur en N de 2010 à 2012.

Les teneurs en soufre de la litière tendent à augmenter à Forêt Nord et à Pic du Grand Kaori de 2007 à 2012/2013. Cette augmentation est toutefois moins remarquable que pour N et montre des variations aléatoires entre les années. Certaines espèces à Forêt Nord et Pic du Grand Kaori ont aussi de 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 celle rencontrées par de la végétation soumise à influence constante d'émissions industrielles (Mankovska, 1997).

En conclusion, les résultats de l'étude de l'évolution chimiques 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 diminuées en grande partie en 2013 : 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.*