



**Surveillance symptomologique de la flore
endémique sur 27 stations d'observation situées aux
alentours de l'usine de Vale Nouvelle-Calédonie :**

Janvier 2014 à Décembre 2014



**Vale Nouvelle-Calédonie
Juin 2015**

SOMMAIRE

1. Contexte.....	4
2. Protocole de surveillance symptomologique de la flore.....	5
2.1 Objectifs et indicateurs.....	5
2.2 Localisation des stations d'observation	7
2.3 Méthode de suivi.....	10
2.3.1 Mesure de la concentration en SO ₂ de l'air	10
2.3.2 Suivi des symptômes foliaires	11
2.3.3 Echantillonnage trimestriel et analyse chimique foliaire.....	16
3. Présentation des résultats	17
3.1 Campagne d'échantillonnage passif de la concentration en SO ₂ de l'air.....	17
3.1.1 Campagnes d'échantillonnages et durée d'exposition des échantillonneurs	17
3.1.2 Valeurs de référence et commentaires sur les résultats des essais.....	18
3.1.3 Résultat des mesures de SO ₂ de l'air	19
3.2 Activité de l'usine.....	21
3.3 Suivi mensuel des symptômes foliaires.....	24
3.3.1 Mise en évidence des stations d'observation avec symptômes	24
3.3.2 Expertise des symptômes sur le terrain	28
3.4 Suivi complémentaire trimestriel par transect.....	30
3.5 Résultat des analyses chimiques foliaires trimestrielles	31
3.4.1 Concentration en soufre foliaire.....	31
6. Conclusion :.....	33
7. Limites et perspectives d'améliorations du protocole.....	34
8. Références bibliographiques.....	35
9. Annexes	36

TABLEAUX

Tableau 1: Objectifs du protocole de surveillance et indicateurs de suivi.....	8
Tableau 2: Descriptif des 29 stations d'observation	10
Tableau 3 : Tableau récapitulatif présentant la méthodologie et les appareils mis en œuvre pour la réalisation des essais présentés.	11
Tableau 4: Présentation des espèces suivies par station d'observation.....	13
Tableau 5 : Date de début et de fin des différentes campagnes d'échantillonnage.....	17
Tableau 6 : Valeurs de références définies par l'arrêté d'autorisation sur les installations classées pour la protection de l'environnement n°1467-2008/P S du 9 Octobre 2008.....	18
Tableau 7: Date des incidents recensés entre janvier 2014 et décembre 2014.	22
Tableau 8: Résultats du suivi symptomologique de 2014.	24

FIGURES

Figure 1 : Localisation des 29 stations d'observation	9
Figure 2 : Localisation des 19 stations de suivi mensuel des symptômes foliaires.....	12
Figure 3: Localisation des stations pour le suivi trimestriel complémentaire par transect	14
Figure 4 : Illustration des cinq classes de degré de sévérité des symptômes définies pour <i>Codia spatulata</i>	15
Figure 5: Illustration des cinq classes de degré de sévérité des symptômes définies pour <i>Tristaniopsis guillainii</i>	15
Figure 6: Illustration des cinq classes de degré de sévérité des symptômes définies pour <i>Styphelia pancheri</i>	16
Figure 7: Concentrations moyennes annuelles en SO ₂ de l'air par station. Moyenne de janvier à Décembre 2014.	19
Figure 8 : Représentation spatiale des concentrations moyennes annuelles en SO ₂ de l'air	19
Figure 9 : Profil des teneurs moyennes mensuelles relevées pour les différentes campagnes entre janvier 2013 et Décembre 2014.	20
Figure 10: Période de fonctionnement des différentes unités.	21
Figure 11: Représentation spatiale des stations d'observation avec apparition de symptômes.	24
Figure 12: Nombre d'espèces indicatrices avec apparition de symptômes en 2013 et 2014.....	24

Figure 13: Apparition d'une chlorose diffuse sur <i>Codia spatulata</i>	27
Figure 14: Apparition de nécroses brunes marquées sur <i>Codia spatulata</i>	27
Figure 15: Apparition de petite nécroses interveinales sur <i>Alphitonia neocaledonica</i>	28
Figure 16: Apparition de nécroses brunes et de chlorose marginales sur <i>Tristaniospsis guillaini</i>	28
Figure 17 : Evolution du pourcentage d'individus présentant des symptômes.....	29
Figure 18: Evolution des concentrations moyennes en soufre foliaire entre mai 2012 et aout 2015..	31

1. Contexte

En décembre 2010 un phénomène de dépérissement d'arbres a été observé dans une forêt adjacente à la limite Ouest des installations industrielles de l'usine Vale Nouvelle-Calédonie (VNC). La zone concernée est une formation rivulaire située le long du cours supérieur du creek de la Baie Nord. L'étendue de la zone affectée a été évaluée à 55 hectares. Plusieurs espèces étaient concernées avec un dépérissement plus prononcé de la population de chênes gommés (*Arillastrum gummiferum*).

Vale NC a aussitôt engagé une série d'investigations afin d'identifier les causes possibles de ce dépérissement. Les résultats des études initiées en 2011 ont révélé que le dioxyde de soufre atmosphérique émanant de la combustion accidentelle du soufre élémentaire du site industriel de Vale NC serait la cause la plus probable des symptômes de chlorose et nécrose foliaires observés sur plusieurs espèces dans la zone de dépérissement des chênes gommés (Vale, 2011 ; Murray, 2012). Un travail de caractérisation des symptômes de chlorose, nécrose et déformation des feuilles a été réalisé par le professeur Francis Murray sur une dizaine d'espèces, sur différents sites situés aux alentours des installations industrielles de Vale NC, ainsi dans la zone de dépérissement des chênes gommés. Ces investigations basées sur des observations de terrain ont permis d'établir un guide des symptômes foliaires intégrant un descriptif et des photographies par espèce des symptômes foliaires validés comme étant dus à une exposition aigues et ponctuelle au SO₂ atmosphérique.

Conformément à l'arrêté ICPE n°1946-2012/ARR/DIMEN du 5 septembre 2012, Vale NC a mis en œuvre un plan de surveillance spécifique afin de suivre l'état de santé de la flore exposée aux émissions atmosphériques autour de son site industriel. Des espèces indicatrices, dont les symptômes foliaires sont connus et décrits dans le guide des symptômes, ont été sélectionnées pour ce suivi. Des modifications ont été apportées au protocole depuis 2012 afin d'optimiser le plan de surveillance et répondre au mieux aux objectifs définis par l'arrêté.

Ce rapport présente un bilan des suivis effectués entre Janvier 2014 et Décembre 2014 sur les stations d'observations. Il présente :

1. les résultats du suivi symptomologique mensuel des espèces indicatrices dont les symptômes sont illustrés et décrits dans le guide des symptômes (Murray, 2012)
2. les résultats du suivi de qualité de l'air par échantillonnage passif (SO₂)
3. les résultats des analyses chimiques foliaires trimestrielles des espèces indicatrices
4. les résultats du suivi symptomologique trimestriel complémentaire par transect

2. Protocole de surveillance symptomologique de la flore

En absence d'étude scientifique sur les effets des émissions atmosphériques sur la végétation de la Nouvelle-Calédonie, Vale NC a fait appel au professeur Francis Murray de l'Université de Murdoch (Australie Occidentale) pour participer à la définition du protocole de surveillance de la flore sur le site industriel (Murray, 2012). Francis Murray est un spécialiste reconnu nommé comme référent par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) pour suivre les effets phyto-toxiques des pollutions atmosphériques industrielles sur les écosystèmes terrestres en Australie.

2.1 Objectifs et indicateurs

Les relations de cause à effet des émissions atmosphériques sur la végétation sont extrêmement complexes. La sévérité de l'impact des gaz sur la végétation peut être influencé par différents facteurs tels que :

- Les conditions météorologiques (intensité lumineuse, humidité, température, force du vent)
- L'exposition selon le relief de la végétation aux polluants
- La complexité structurelle des formations végétales
- Les facteurs physiologiques liés au stade de développement d'une plante
- L'espèce considérée
- Les conditions hydriques et nutritives liées au sol
- La fréquence et la durée d'exposition aux polluants
- La présence d'autres polluants (Bell, 1980 ; Murray et Wilson, 1987 In Vale, 2011).

Malgré les connaissances biologiques et écologiques limitées sur les milieux naturels du Grand Sud et sur les effets des émissions gazeuses sur ces derniers, le protocole peut se baser sur les postulats suivants :

- Le risque d'exposition des formations végétales aux émissions de dioxyde de soufre (SO₂) diminue avec l'éloignement des sources d'émissions atmosphériques (centrale électrique, usine d'acide, chaudières, stock de soufre).
- Le dioxyde de soufre de l'air est absorbé par les végétaux et les quantités excédentaires s'accumulent dans les feuilles. Cette quantité excédentaire génère des symptômes de chlorose et de nécrose foliaire qui sont observables.

Ce protocole de surveillance a pour objectifs principaux de détecter précocement tout phénomène de dépérissement lié aux émissions atmosphériques et d'évaluer l'évolution de ce dépérissement dans le temps. Pour répondre à ces objectifs le protocole se concentre sur la détection et le suivi de symptômes foliaires validés comme étant dû à une exposition aigue et ponctuelle au SO₂ atmosphérique sur des espèces indicatrices localisées au niveau de 19 stations d'observation.

Les objectifs du protocole de surveillance et les indicateurs de suivi sélectionnés pour y répondre sur chaque station sont présentés dans le Tableau 1.

	Objectifs	Dispositif de suivi	Indicateurs
Suivi symptomologique mensuel	Détecter précocement l'apparition de nouveaux symptômes foliaires au niveau des stations d'observation	19 Stations	Teneur de l'air en SO ₂ Symptômes foliaires Composition chimique foliaire en S
Suivi symptomologique trimestriel	Evaluer l'évolution du dépérissement : - Evolution du nombre d'individus présentant des symptômes - Evolution du degré de sévérité des symptômes	11 transects, 6 stations impactées	Symptômes foliaires

Tableau 1: Objectifs du protocole de surveillance et indicateurs de suivi.

Le protocole de suivi a été développé comme un outil simple d'inspection visuelle de l'état du feuillage des espèces végétales les plus sensibles référencées dans le guide des symptômes (Murray, 2012). Cette surveillance est réalisée de manière mensuelle sur un dispositif de stations situées à différentes distances et orientations par rapport à la source de SO₂ atmosphérique afin d'assurer une détection précoce de symptômes foliaires sur les espèces indicatrices, signes précurseurs d'un risque d'impact. Des tubes passifs mesurant les teneurs mensuelles en SO₂ de l'air ont été installés au niveau de chaque station. Des analyses chimiques foliaires trimestrielles sont réalisées en complément sur deux espèces indicatrices du guide par station, afin d'indiquer si les espèces évaluées absorbent les polluants atmosphériques.

Le suivi symptomologique réalisé en 2013 a permis de mettre en évidence plusieurs limites dans le protocole. Des améliorations ont été apportées au protocole en 2014 avec une réduction du nombre de stations suivies, une standardisation du nombre d'espèces et du nombre d'individus balisés suivis par stations afin d'optimiser l'évaluation des symptômes pour une même espèce dans le temps.

2.2 Localisation des stations d'observation

29 stations d'observation ont été établies à différentes distances et orientations de vent par rapport à la zone industrielle de l'usine afin de couvrir la zone d'influence de l'ensemble des activités de la société Vale NC (Figure 1).

L'ensemble des stations d'observation sont situées au niveau de pistes accessibles pour pouvoir assurer un suivi mensuel rapide ne dépassant pas trois jours. Ces conditions d'accès facilitées permettent d'assurer une surveillance optimale et ainsi signaler de manière précoce toute apparition de symptômes. La plupart de stations ont été choisies en lisière de forêt ou de maquis qui sont en général les premiers milieux récepteurs des effets du dioxyde de soufre sur la végétation (Murray, 2003).

On distingue ainsi trois catégories de station d'observation dont la distribution est résumée dans le **Tableau 2**.

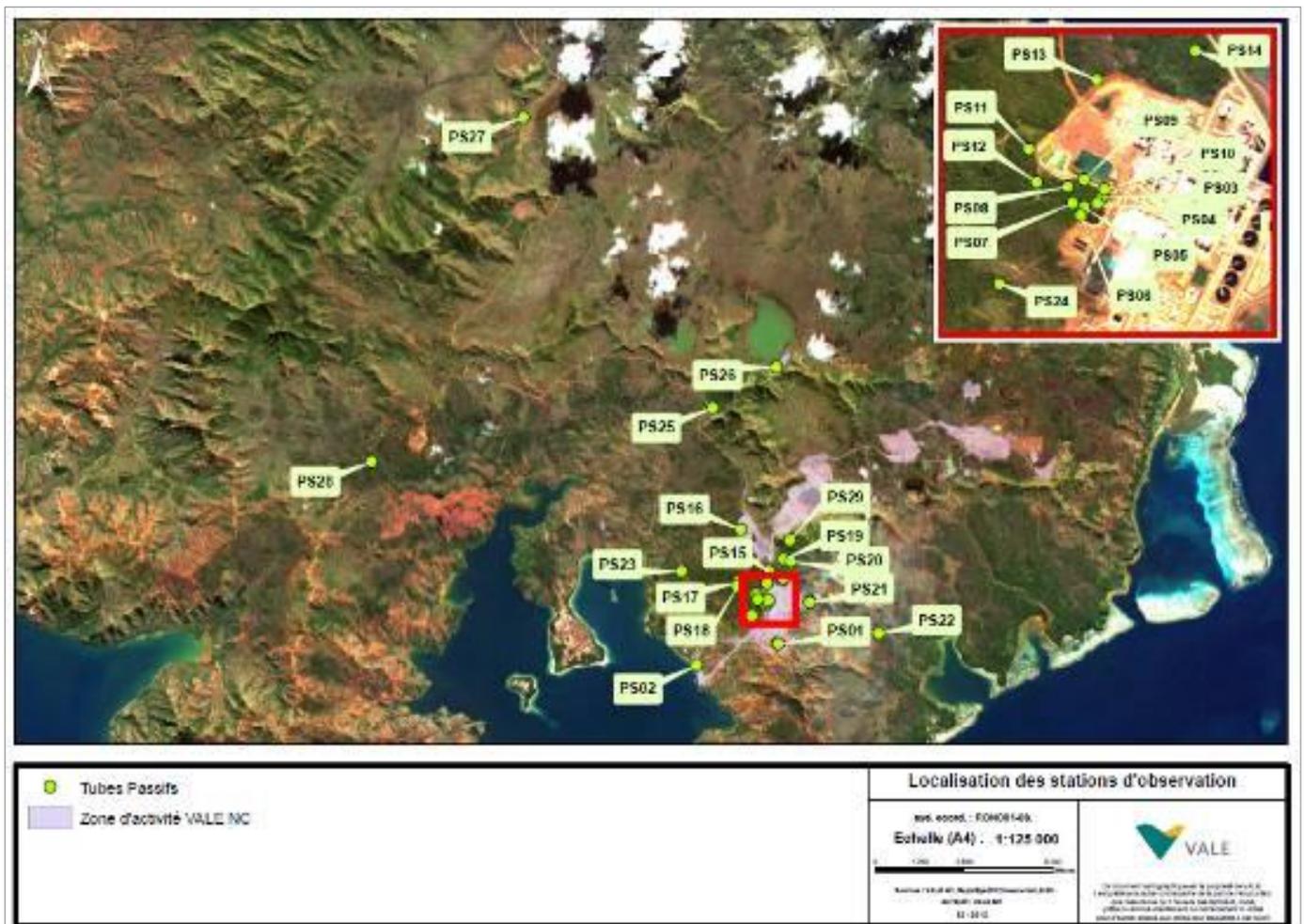


Figure 1 : Localisation des 29 stations d'observation

Station observation	Localisation	Distance à la source (m)	Orientation par rapport à la source	Végétation	Exposition	GPS RGNC 91		Classe	Remarque
						X	Y		
PS 3	Exutoire Ck Baie Nord PE	200	W	Maquis arbustif dense	Lisière du creek	-22,33268	166,91039	Proche	Stations à haut risque susceptible de montrer une teneur moyenne en SO2 pouvant engendrer des dommages sévères sur les espèces sensibles
PS 4	Bassin souffre lisière 1	200	W	Forêt Rivulaire	Lisière de l'usine	-22,33294	166,91017		
PS 5	Bassin souffre exutoire lisière 2	250	WSW	Forêt Rivulaire	Lisière de l'usine	-22,33310	166,90961		
PS 6	Bassin souffre lisière 3	250	WSW	Forêt Rivulaire	Lisière de l'usine	-22,33342	166,90945		
PS 7	Forêt Rivulaire Galerie	300	WSW	Forêt Rivulaire	Fermée	-22,33293	166,90909		
PS 8	Forêt Rivulaire Chêne gomme	350	W	Forêt à Chêne gomme	Fermée	-22,33228	166,90889		
PS 9	Bassin eau brute lisière	300	W	Forêt à Chêne gomme	Lisière de l'usine	-22,33199	166,90959		
PS 10	Bassin eau brute station pompage	200	W	Forêt à Chêne gomme	Lisière de l'usine	-22,33239	166,91048		
PS 11	Exutoire Bassins Premier Flo Nord	600	WNW	Maquis arbustif dense	Lisière de l'usine	-22,33080	166,90718		
PS 12	Piste décanteur Ck Baie Nord	500	W	Maquis para-forestier	Lisière de l'usine	-22,33212	166,90752		
PS 13	Drain Périphérique PE	700	NNW	Maquis arbustif ouvert	Ouvert	-22,32802	166,91013		
PS 14	Forêt McCoy	800	NNE	Forêt Humide	Lisière du creek	-22,32683	166,91443		
PS 24	Doline aval Usine pilote	650	WSW	Maquis arbustif dense	lisière du piste	-22,33618	166,90590		
PS 1	Plantation parabolique	1050	S	Maquis ligno-herbacé dense	Ouvert	-22,34313	166,91316		
PS 15	Ligne haute tension PE Forêt McCoy	1000	NNW	Maquis arbustif ouvert	Ouvert	-22,32513	166,91046		
PS 17	Piste émissaire STEP Doline	1200	NW	Maquis arbustif dense	Lisière du piste	-22,32781	166,90207		
PS 18	Piste Emissaire STEP CDE	1150	NW	Maquis arbustif dense	Lisière du piste	-22,32894	166,90189		
PS 19	Forêt Nord Piste forestière	1350	NNE	Forêt Humide	Lisière du piste	-22,32197	166,91457		
PS 20	Forêt Nord Reserve	1350	NNE	Forêt Humide	Fermée	-22,32261	166,91649		
PS 21	Col Paillard	1050	E	Maquis ligno-herbacé dense	Lisière du piste	-22,33272	166,92174		
PS 29	Foret Nord AQMS	1900	NNE	Maquis ligno-herbacé dense	Ouvert	-22,31736	166,91608		
PS 16	Base vie AQMS	2300	NNW	Maquis arbustif ouvert	Ouvert	-22,31474	166,90286	Loin	Faible risque et pouvant montrer une teneur moyenne en SO2 n'engendrant aucun dommage sur la végétation
PS 2	Port	2700	SSE	Maquis ligno-herbacé sur gabbro	Ouvert	-22,34851	166,89102		
PS 23	Route du Ferry	2750	WNW	Maquis arbustif ouvert	Ouvert	-22,32525	166,88667		
PS 22	Paillard Entrée Camping Attiti	3050	ESE	Maquis arbustif dense	Ouvert	-22,34044	166,94058		
PS 25	Pic du Grand Kaori	5800	NNW	Maquis arbustif dense	Ouvert	-22,28448	166,89494		
PS 26	Pépinière	6500	N	Maquis ligno-herbacé dense	Ouvert	-22,27429	166,91238		
PS 28	Mine Prony	17000	WNW	Maquis arbustif ouvert	Ouvert	-22,29833	166,80188	Loin	Sites utilisés pour évaluer les teneurs normales de SO2 de l'air
PS 27	Madeleine	20000	NNW	Maquis ligno-herbacé dense	Ouvert	-22,21230	166,84280		

Tableau 2: Descriptif des 29 stations d'observation. Les suivis symptomologique sont réalisés pour 19 stations et les analyses chimiques foliaires pour 21 stations.

2.3 Méthode de suivi

2.3.1 Mesure de la concentration en SO2 de l'air

- Mesure de qualité de l'air par la méthode des tubes passifs

Des tubes à diffusion ont été positionnés au niveau des 29 stations d'observation afin de mesurer les concentrations mensuelles de SO2 de l'air (Figure 1). Les systèmes d'échantillonnages utilisés sont composés d'une enveloppe plastique et de deux tubes d'absorption spécifiques pour le piégeage des polluants recherchés : SO2. La durée d'exposition des échantillonneurs recommandée par campagne varie de 2 à 4 semaines pour la quantification du SO2 (Tableau 3).

Les systèmes ont été positionnés à une hauteur voisine de 2 m du sol sur des supports présents dans l'environnement : arbre ou poteau de clôture. Seuls les échantillonneurs des stations situées en milieux forestiers, PS 7, PS 8, PS 14, PS 19 et PS 20, ont été positionnés à la cime d'arbre au niveau de la canopée de ces stations. La campagne de prélèvement est assurée par Bureau Veritas.

Ces relevés mensuels sont associés à une évaluation mensuelle des symptômes foliaires, afin d'analyser les relations entre les concentrations de SO₂ dans l'air et l'apparition ou non de symptômes foliaires.

PARAMETRES RECHERCHES	METHODES ET APPAREILLAGES	GAMME DE MESURE
SO ₂	Tube diffusion passive Temps d'exposition : 2 à 4 semaines Débit échantillonnage : 11,9 ml/min <i>Voir fiche technique en annexe</i>	0.5 – 240 µg/m ³

Tableau 3 : Tableau récapitulatif présentant la méthodologie et les appareils mis en œuvre pour la réalisation des essais présentés (Bureau Véritas, 2012).

2.3.2 Suivi des symptômes foliaires

- *Suivi mensuel des symptômes foliaires*

Un suivi mensuel des symptômes foliaires est assuré pour 19 stations d'observation et concerne dix espèces présentant des symptômes évidents en cas de forte exposition au dioxyde de soufre (Figure 2).

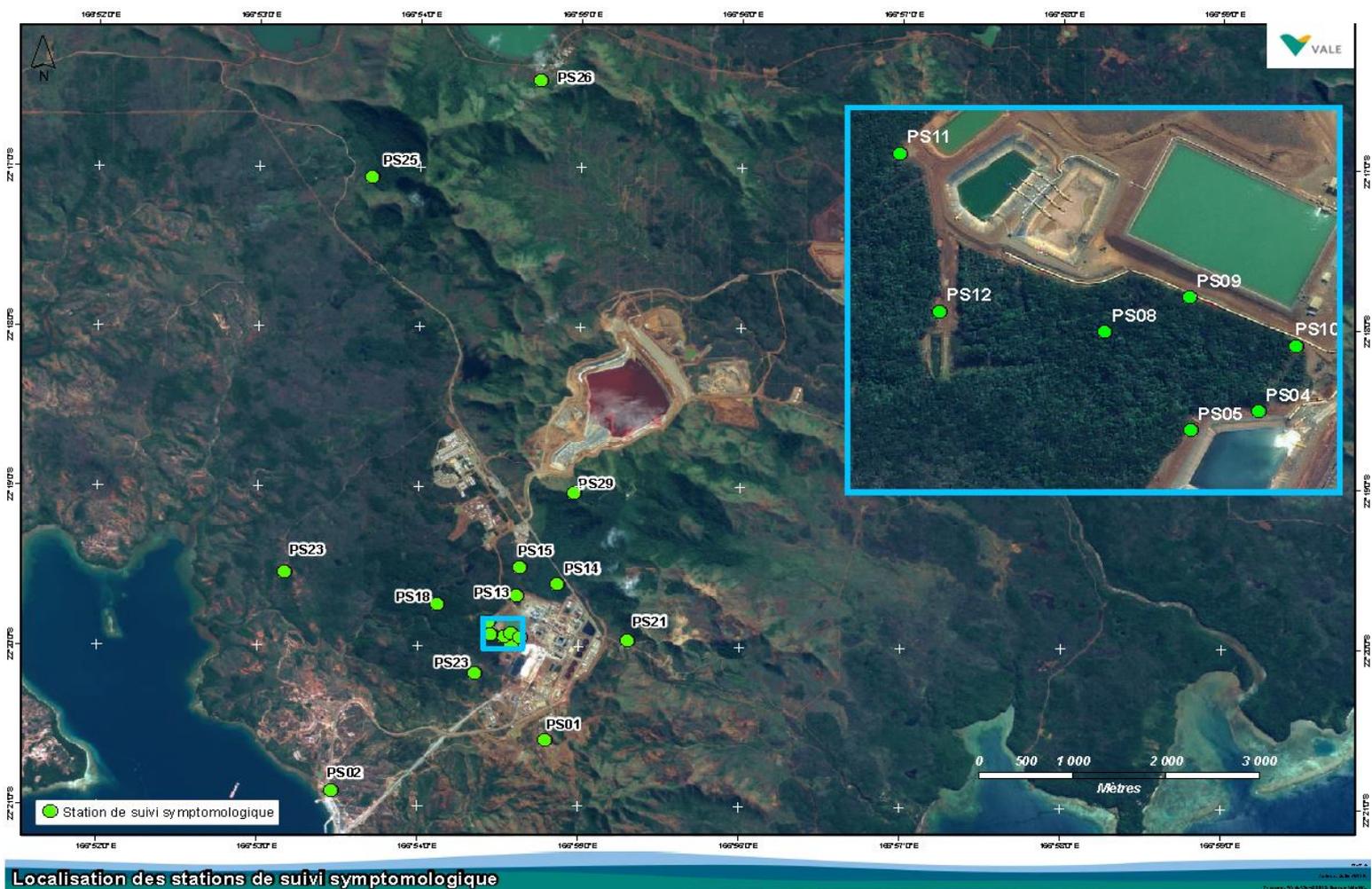


Figure 2 : Localisation des 19 stations de suivi mensuel des symptômes foliaires

Un guide des symptômes foliaires élaboré pour onze espèces indicatrices par Francis Murray (Murray, 2012) sert de référence pour le relevé des symptômes sur le terrain (chlorose, nécrose, déformation). La caractérisation des symptômes pour chaque espèce a été réalisée en lisière de forêt ou de maquis dans la zone de dépérissement des chênes gommés ; ces milieux étant les premiers milieux récepteurs des effets du dioxyde de soufre et facile à évaluer par observation visuelle (Murray, 2012).

Les onze espèces indicatrices du guide des symptômes sont des espèces communes bien représentées dans le Grand Sud mais leur abondance peut toutefois varier selon la localité. Le choix des espèces suivies par station s'est basé sur leur abondance relative sur chaque station. 5 espèces sont suivies par station d'observation à l'exception de deux stations forestières où seule une espèce est suivie du fait des contraintes liées à l'évaluation des symptômes au niveau de la canopée (Tableau 4). Ce suivi symptomologique intègre une évaluation visuelle qualitative des symptômes (chlorose, nécrose, déformation) et une évaluation quantitative avec le relevé du nombre d'individus par espèce présentant des symptômes.

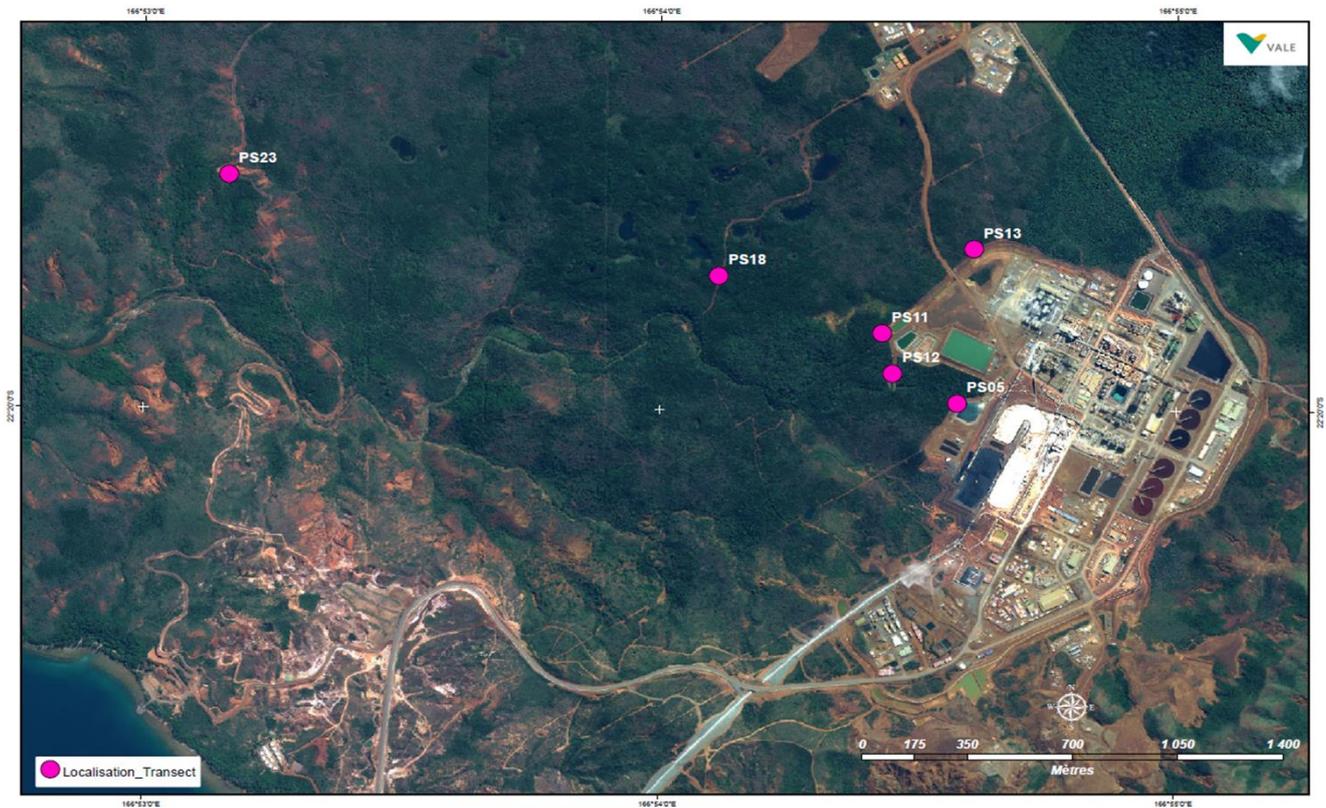
Des photographies des cinq espèces indicatrices suivies par station sont réalisées tous les mois. Les branches photographiées sont balisées afin de suivre l'évolution des symptômes foliaires par espèce et par localité dans le temps.

Distance par rapport à la source	Orientation par rapport au source	Station	<i>Garcinia spp</i>	<i>Gymnostoma deplancheanum</i>	<i>Alphitonia neocaledonica</i>	<i>Codia spatulata</i>	<i>Tristaniopsis guilainii</i>	<i>Guioa glauca</i>	<i>Lomandra insularis</i>	<i>Montrouziera sphaeroidea</i>	<i>Styphelia spp</i>	Nombre d'espèces suivies
PROCHE	W	4										5
	WSW	5										5
	W	8										1
	W	9										5
	W	10										5
	WNW	11										5
	NNW	13										5
	NNE	14										1
	WSW	24										5
W	12										5	
MOYENNE	S	1										5
	NNW	15										5
	NW	18										5
	E	21										5
	NNW	29										5
LOIN	SSE	2										4
	WNW	23										5
	N	26										5
	NNW	25										5

Tableau 4: Présentation des espèces suivies par station d'observation

- *Suivi trimestriel des symptômes foliaires*

Un suivi trimestriel des symptômes foliaires est assuré pour six des stations considérées comme impactées en 2012 : PS 05, PS 11, PS 12, PS 13, PS 18 et PS 23 (Figure 3). Ce suivi complémentaire a été initié en 2013 et doit permettre d'évaluer l'évolution du dépérissement dans le temps en prenant en compte l'évolution du nombre d'individus présentant des symptômes et l'évolution du degré de sévérité des symptômes.



Suivi trimestriel des symptômes foliaires par transect

Figure 3: Localisation des stations pour le suivi trimestriel complémentaire par transect

Ce protocole consiste à suivre le degré de sévérité des symptômes chez une espèce indicatrice dominante ou co-dominante par station tous les trois mois. Les espèces indicatrices suivies par station sont présentées ci-dessous :

Station	Lisière	Intérieur
5	<i>Styphelia pancheri</i>	<i>Styphelia pancheri</i>
11	<i>Codia spatulata</i>	<i>Codia spatulata</i>
12	<i>Styphelia pancheri</i>	<i>Styphelia pancheri</i>
13	<i>Tristaniopsis guillainii</i>	<i>Tristaniopsis guillainii</i>
18	<i>Codia spatulata</i>	<i>Codia spatulata</i>
23	<i>Tristaniopsis guillainii</i>	x

Deux transects de 20 m sont mis en place au niveau de six stations impactées avec un transect en lisière et un transect en sous-bois. Quinze individus ont été identifiés pour chaque transect et le degré de sévérité des symptômes est relevé sur chaque individu tous les trois mois. Une photographie de chaque individu est également réalisée tous les trois mois. Les branches photographiées sont balisées afin de suivre l'évolution du degré de sévérité des symptômes foliaires sur chaque individu dans le temps. Cinq classes de degré de sévérité des symptômes ont été définies pour chaque espèce (

Figure 4 ; Figure 5 ; Figure 6).

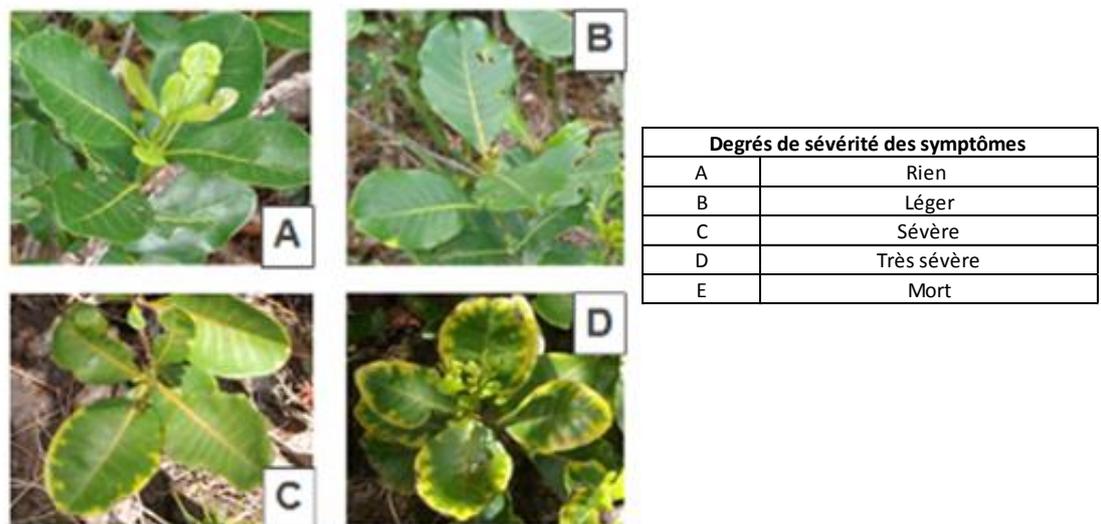


Figure 4 : Illustration des cinq classes de degré de sévérité des symptômes définies pour *Codia spatulata*



Figure 5: Illustration des cinq classes de degré de sévérité des symptômes définies pour *Tristaniopsis guillainii*



Figure 6: Illustration des cinq classes de degré de sévérité des symptômes définies pour *Styphelia pancheri*

2.3.3 Echantillonnage trimestriel et analyse chimique foliaire

Un échantillonnage de feuilles est réalisé tous les trois mois sur 21 stations. Pour chaque station, un échantillon foliaire de 50 g est prélevé sur deux espèces sélectionnées dans le guide de suivi des symptômes. Pour un site donné, les deux espèces choisies restent les mêmes lors de chaque campagne d'échantillonnage trimestriel (Annexe 1). L'élément majeur recherché dans les analyses est le soufre. Les analyses ont été réalisées par le laboratoire des moyens de l'IRD de Nouméa (LAMA). Les analyses chimiques des campagnes d'échantillonnage du mois de novembre 2014 sont en cours de traitement par l'Université du Queensland (Centre for Mined Land Rehabilitation). Les résultats obtenus et présentés sont ceux des campagnes d'échantillonnage de 2012, 2013 ainsi que Février, mai et aout 2014.

3. Présentation des résultats

3.1 Campagne d'échantillonnage passif de la concentration en SO₂ de l'air

3.1.1 Campagnes d'échantillonnages et durée d'exposition des échantillonneurs

Onze campagnes de prélèvement ont été réalisées entre le 15 janvier 2014 et le 05 janvier 2015. Le Tableau 5 présente la durée d'exposition des échantillonneurs durant les douze campagnes d'échantillonnages de 2014 :

Campagne	Date de début	Date de fin
Janvier	15/01/2014	14/02/2014
Février	14/02/2014	13/03/2014
Mars	13/03/2014	18/04/2014
Avril-mai	18/04/2014	03/06/2014
Juin	03/06/2014	26/06/2014
Juillet	26/06/2014	30/07/2014
Août	30/07/2014	17/09/2014
Septembre	17/09/2014	15/10/2014
Octobre	15/10/2014	10/11/2014
Novembre	10/11/2014	12/12/2014
Décembre	07/12/2014	05/01/2014

Tableau 5 : Date de début et de fin des différentes campagnes d'échantillonnage

La durée d'exposition des échantillonneurs a été ajustée au fur et à mesure des différentes campagnes afin de rester dans les spécifications du laboratoire (durée d'exposition et gammes de mesures) tout en essayant d'avoir un taux de couverture temporel maximum (Bureau Veritas, 2012).

3.1.2 Valeurs de référence et commentaires sur les résultats des essais

L'activité de production de Nickel de Vale NC est concernée par l'arrêté d'autorisation sur les installations classées pour la protection de l'environnement imposant une surveillance de la

qualité de l'air par le biais d'un réseau de stations de mesures en continues. Cet arrêté définit les valeurs de références qui lui sont applicables. Le Tableau 6 présente ces valeurs de références :

	Dioxyde de soufre (SO ₂)
Objectif de qualité	Moyenne annuelle : 50 µg/m ³
Seuil de recommandation et d'information	Moyenne horaire : 300 µg/m ³
Seuil d'alerte	Moyenne horaire : 500 µg/m ³ (3 heures consécutives)
Valeurs limites pour la protection de la santé humaine	- Centile 99,7 : 350 µg/m ³ moyenne horaire. - Centile 99,2 : 125 µg/m ³ moyenne journalière.
Valeurs limites pour la protection de la végétation /des écosystèmes	-Centile 99,9 : 570 µg/m ³ moyenne horaire. - Moyenne horaire : 230 µg/m ³ . - Moyenne annuelle : 20 µg/m ³ .

Tableau 6 : Valeurs de références définies par l'arrêté d'autorisation sur les installations classées pour la protection de l'environnement n°1467-2008/P S du 9 Octobre 2008

L'échantillonnage passif ne permet pas de comparer les niveaux mesurés aux seuils et valeurs de référence, du fait de méthodes de calculs et d'unités d'expression de résultats différentes (Bureau Veritas, 2012). Néanmoins, les résultats des mesures qui font l'objet de ce rapport sont comparés à titre indicatif aux valeurs de références issues de l'arrêté.

3.1.3 Résultat des mesures de SO₂ de l'air

❖ Concentrations moyennes annuelles en SO₂ de l'air par station

Les mesures par échantillonnage passif permettent de connaître les valeurs moyennes des concentrations en SO₂ de l'air relevées au niveau des 27 stations d'observation entre janvier et décembre 2014.

Les résultats, en date de décembre 2014, montre que les points d'échantillonnage ayant présenté les teneurs moyennes annuelles les plus élevées sont les points PS 11 et PS 9 ainsi que les points PS 17, PS 18, PS 03 à PS 13 (Figure 7). La représentation spatiale des teneurs moyennes en SO₂ de l'air montre que ces points d'échantillonnage sont positionnés sous le vent et au plus près de l'usine entre 200 et 1200 m (Figure 8). Ces résultats confortent les résultats obtenus en 2013 (VALE NC, 2014).

A titre indicatif, six stations d'observation, PS9, PS10, PS11, PS 12, PS 17 et PS18, ont présenté des concentrations moyennes annuelles supérieures à la valeur moyenne annuelle pour la protection de la végétation et des écosystèmes¹ (Annexe 2). La moyenne maximale de 35.1 µg/m³ a été enregistrée pour l'échantillonneur PS11 pour l'ensemble de la

¹ Arrêté d'autorisation sur les installations classées pour la protection de l'environnement n°1467-2008/P S du 9 Octobre 2008 : Valeurs limites pour la protection de la végétation /des écosystèmes : Moyenne annuelle (SO₂) : 20 µg/m³.

campagne. Pour l'ensemble des autres points, les concentrations sont, à titre indicatif, inférieures à 20 µg/m³.

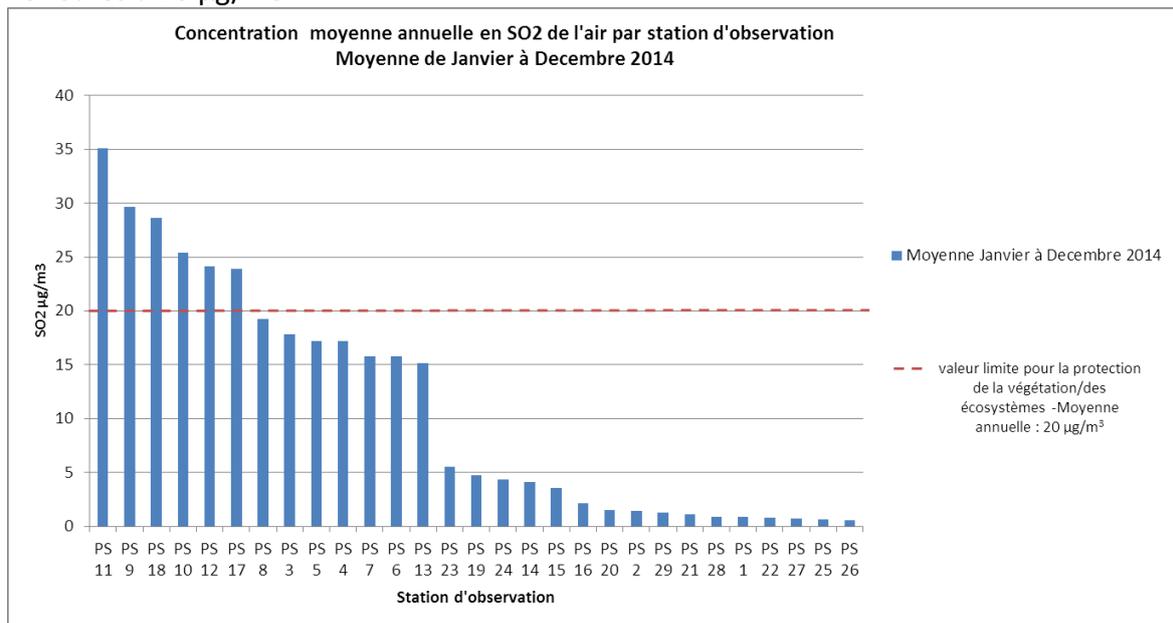


Figure 7: Concentrations moyennes annuelles en SO₂ de l'air par station. Moyenne de janvier à Décembre 2014. La ligne en pointillés rouge correspond à la valeur limite annuelle pour la protection des écosystèmes.



Figure 8 : Représentation spatiale des concentrations moyennes annuelles en SO2 de l'air mesurées par station entre janvier et décembre 2014.

❖ *Profil des concentrations mensuelles en SO2 de l'air pour les différentes campagnes*

Les campagnes de mars et d'octobre à décembre 2014 ont donné lieu aux mesures des concentrations les plus importantes. Les concentrations maximales mesurées ont été de 75.7 µg/m3 et 72.4 µg/m3 pour les points d'échantillonnage PS18 et PS11 durant la campagne du mois de mars 2014 (Figure 9). Ces valeurs se rapprochent des valeurs maximales enregistrées en Octobre 2013 sur PS04. Les concentrations les plus basses ont quant à elles été enregistrées entre juin, juillet et aout 2014.

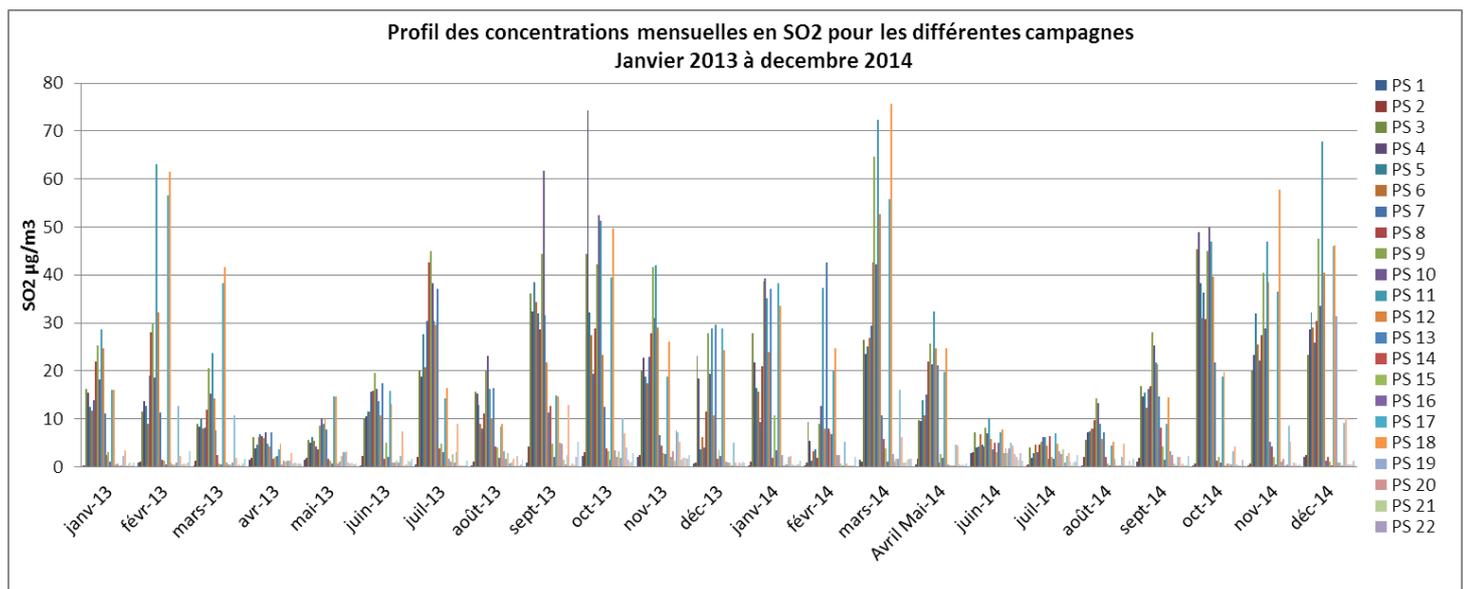


Figure 9 : Profil des teneurs moyennes mensuelles relevées pour les différentes campagnes entre janvier 2013 et Décembre 2014.

3.2 Activité de l'usine

❖ *Conditions de marche durant la campagne*

En 2014, les conditions de fonctionnement des différentes unités présentent sur le site ont été variables et ponctuées de périodes d'arrêt (Figure 10).

Date	Unité	Descriptif incident et dégagement de SO ₂
21/01/2014	330	Départ de feu sur 330-FIL-101
12/02/2014	545	Départ de feu sur la zone 545
22/02/2014	330	Départ de feu dans la cuve de soufre 330-TNK-103
06/03/2014	330	Emission élevées de SO ₂ en sortie de cheminées de l'usine d'acide
27/03/2014	330	Plusieurs feux successifs se sont déclarés à l'intérieur du filtre
05/04/2014	545	Départ de feu soufre sous le contrepoids convoyeur 545-CVB-003.
24/04/2014	330	Emission élevées de SO ₂ en sortie de cheminées de l'usine d'acide
11/06/2014	330	Incendie sur la bande du convoyeur 330-CVB-101
16/06/2014	330	Départ de feu de soufre
18/06/2014	330	Départ de feu dans la cuve de fusion de soufre
30/07/2014	330	Départ de feu sur pompe de soufre de la Fusion-Filtration
12/08/2014	330	Départ de feu sur le calorifugeage du trou d'homme du TNK-101
22/08/2014	330	Depart de feu dans la cuve de soufre liquide
29/08/2014	330	Départ de feu au niveau du calorifugeage de la 330TNK104
25/09/2014	330	Départ de feu au niveau de la fosse 330-FLP-102
29/10/2014	330	Départ de feux PPP-102 + TNK104
07/11/2014	330	départ de feu aperçut dans le filtre presse

Tableau 7: Date des incidents recensés entre janvier 2014 et décembre 2014.

❖ *Activité du site durant la campagne*

En 2014, le fonctionnement des différentes unités de l'usine a été perturbé par l'arrêt de l'unité de production d'acide sulfurique (Figure 10). Les concentrations les plus basses en SO₂ ont été enregistrées en juin, juillet et août 2014, périodes correspondant à l'arrêt de l'usine (Figure 9). Le fonctionnement de l'usine d'acide ne peut toutefois expliquer à elle seule les fortes fluctuations de la teneur en SO₂ de l'air (VALE NC, 2014). Les campagnes de mars et d'octobre à décembre 2014 ont donné lieu aux mesures des concentrations les plus importantes, hors plusieurs incidents avec dégagement de SO₂ majeur ont été enregistrés durant ces périodes et ont probablement eut un impact direct sur les concentrations de SO₂ présentes dans l'air ambiant (Tableau 7).

3.3 Suivi mensuel des symptômes foliaires

3.3.1 Mise en évidence des stations d'observation avec symptômes

Le suivi symptomologique réalisé en 2014 a montré que 10 stations d'observations sur les 19 suivies ont été impactées avec l'apparition de symptômes foliaires de chlorose, nécrose ou déformation sur au moins une espèce indicatrice. Les stations concernées sont les stations PS 15, 18, PS 23 ainsi que PS 04 à PS 13. Toutes ces stations sont situées entre 200 et 2750 m à l'ouest de l'usine sous l'influence des vents dominants (Figure 11). L'ensemble de ces stations correspondent aux stations qui ont été impactées en 2013 avec l'apparition de symptômes foliaires (VALE NC, 2014).



Figure 11: Représentation spatiale des stations d'observation avec apparition de symptômes sur au moins deux espèces entre janvier 2014 et décembre 2014.

Huit espèces sur les onze espèces indicatrices suivies sur l'ensemble des stations ont présenté des symptômes apparus au cours de l'année 2013 (Erreur ! Source du renvoi introuvable.). L'analyse par classe de stations, montre que le nombre d'espèces avec apparition de symptômes diminue avec la distance à la source de SO₂ atmosphérique (Tableau 8). Les suivis réalisés en 2014 sur les stations « Proche », soit situées entre 200 et 800 m à la source d'émissions, ont mis en évidence que huit espèces ont présenté des symptômes, contre trois espèces pour la station

impactée la plus éloignée soit située à 2750 m (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). On note une fluctuation du nombre d'espèces impactées en 2013 et 2014 avec une légère augmentation du nombre d'espèces impactées pour les trois catégories de stations (Proche, moyenne et longue distance) durant le deuxième semestre de 2013 et pour les stations « proche » et « moyenne » le deuxième semestre de 2014 (Figure 12).

Gymnostoma deplancheanum est apparu comme étant l'espèce indicatrice la moins sensible au SO₂ atmosphérique et n'a présenté des symptômes que sur 10 % des stations impactées suivies et aucun symptôme sur les stations suivies situées à moyenne et longue distance par rapport à la source de SO₂ atmosphérique. Seul *Guioa glauca* n'a pas présenté de symptômes en 2013. Aucun cas de mortalité n'a été constaté sur les plantes suivies durant la période de surveillance entre Janvier 2014 à Décembre 2014. Ces résultats confortent ceux obtenus en 2013.

Distance par rapport à la source	Orientation par rapport au source	Station	<i>Garcinia spp</i>	<i>Gymnostoma deplancheanum</i>	<i>Alphitonia neocaledonica</i>	<i>Codia spatulata</i>	<i>Tristaniaopsis guillainii</i>	<i>Guioa glauca</i>	<i>Lomandra insularis</i>	<i>Montrouzieria sphaeroidea</i>	<i>Styphelia spp</i>	Pourcentage d'espèces suivies ayant présenté des nouveaux symptômes par station	Nombre d'espèces suivies ayant présenté des symptômes par catégorie de station	Suivi	
														Suivi	Nouveau symptôme
PROCHE	W	4			NS	NS					NS	60	8	5	3
	WSW	5	NS						NS		NS	60		5	3
	W	8										0		1	0
	W	9	NS			NS					NS	60		5	3
	W	10	NS	NS		NS	NS				NS	100		5	5
	WNW	11	NS		NS	NS				NS		80		5	4
	NNW	13					NS		NS	NS	NS	80		5	4
	NNE	14										0		1	0
	WSW	24										0		5	0
W	12				NS					NS	40	5	2		
MOYENNE	S	1										0	4	5	0
	NNW	15				NS	NS			NS	60	5		3	
	NW	18	NS			NS	NS				60	5		3	
	E	21									0	5		0	
NNW	29											5	0		
LOIN	SSE	2										0	3	4	0
	WNW	23					NS			NS	NS	60		5	3
	N	26										0		5	0
	NNW	25										0		5	0

Tableau 8: Résultats du suivi symptomologique de 2014. Les cases vertes claires correspondent aux espèces suivies pour chaque station. Les cases vertes foncées annotées de NS signifient qu'il y a eu apparition de symptômes de chloroses et/ou nécroses sur l'espèce considérée au cours de l'année 2014.

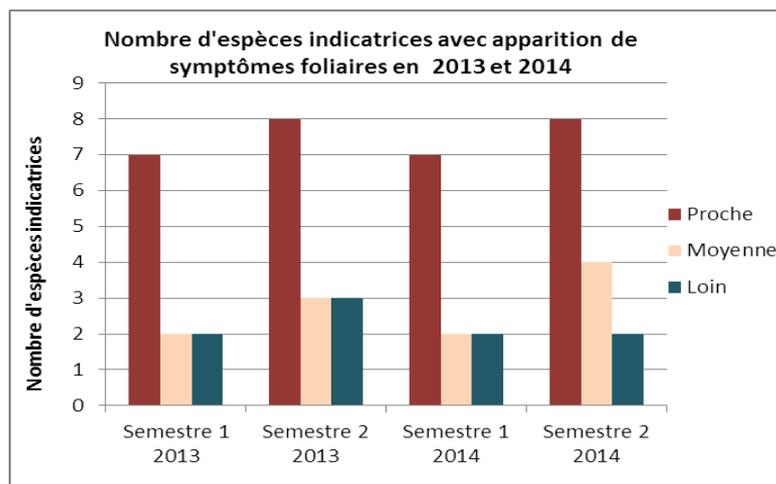


Figure 12: Nombre d'espèces indicatrices avec apparition de symptômes en 2013 et 2014.

3.3.2 Expertise des symptômes sur le terrain

Les symptômes relevés en 2014 sont apparus sous forme de chloroses et de nécroses sur les jeunes feuilles témoignant d'une exposition aiguë et récente au SO₂ atmosphérique. Les suivis ont également mis en évidence la présence de vieux symptômes datant de plusieurs mois ou plus et persistants sur les vieilles feuilles. Les vieux symptômes disparaissent au bout de plusieurs mois voir plus selon les espèces et le renouvellement de leur feuillage.

La majorité des symptômes marqués, se traduisant par des nécroses brunes vives, sont apparus en mars - avril 2014 ainsi qu'entre octobre et décembre 2014. L'apparition de ces symptômes marqués coïncident avec les périodes ayant donné lieu aux mesures des concentrations mensuelles en SO₂ de l'air les plus importantes en 2014 (Figure 9). Il convient de noter que seule une partie des individus suivis ont présenté des symptômes.

Malgré l'apparition de nouveaux symptômes en 2014, l'état de santé des individus suivis ne semblent pas particulièrement impactés. On note une bonne reprise des individus impactés avec la production d'un nouveau feuillage en bonne santé quelques mois ou moins après l'apparition des symptômes. La majorité des individus ont pu assurer leur floraison et fructification.

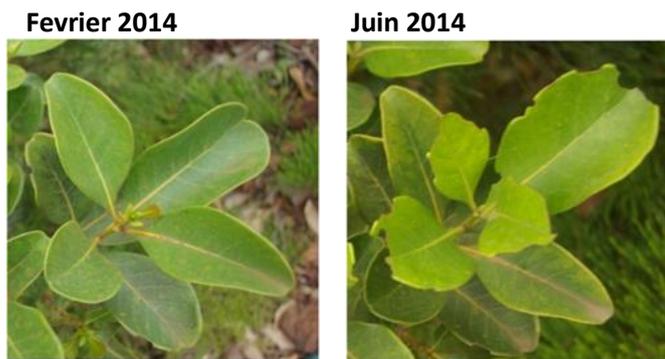


Figure 13: Apparition d'une chlorose diffuse sur *Codia spatulata* entre février 2014 et Juin 2014 - station 4



Figure 14: Apparition de nécroses brunes marquées sur *Codia spatulata* en avril 2014 – Station 11



Figure 15: Apparition de petite nécroses internervales sur *Alphitonia neocaledonica* en Octobre 2014 – Station PS 04.



Figure 16: Apparition de nécroses brunes et de chlorose marginales sur *Tristaniospsis guillainii* en avril 2014 et production de belles jeunes feuilles en janvier 2015 –Station 18.

3.4 Suivi complémentaire trimestriel par transect

La majorité des individus suivis sur l'ensemble des transects entre avril 2013 et janvier 2015 présentent des symptômes de type « léger ». Les individus appartenant à cette catégorie apparaissent vigoureux et en bonne santé malgré la présence de légers symptômes de chloroses ou de nécroses foliaires. La figure 17 montre une légère augmentation du nombre d'individus présentant des symptômes entre octobre 2013 et octobre 2014. On note également une augmentation du degré de sévérité des symptômes jusqu'en octobre 2014. Le phénomène semble, par la suite, se stabiliser entre octobre 2014 et janvier 2015 avec un nombre d'individus présentant des symptômes qui se stabilise et une reprise de la végétation se traduisant par une diminution du degré de sévérité des symptômes.

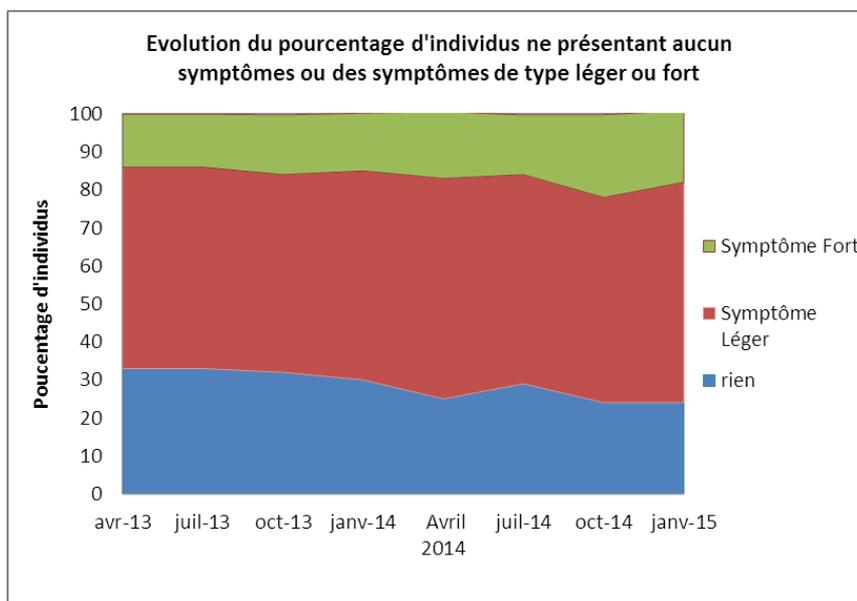


Figure 17 : Evolution du pourcentage d'individus présentant des symptômes

L'analyse des résultats par station montre une augmentation du nombre d'individus présentant des symptômes entre octobre 2013 et janvier 2015 pour les stations proche PS13 et PS 11 (Annexe 4). La station PS 18 localisée à moyenne distance montre une reprise de la végétation en juillet 2014 avec une forte diminution du nombre d'individus présentant des symptômes, associée à une diminution du degré de sévérité des symptômes. Le phénomène est resté stable au niveau de la station la plus éloignée depuis le début des suivis en 2013. (Annexe 4). Seules les stations proches et localisées à moyenne distance ont présenté des symptômes de type fort.

3.5 Résultat des analyses chimiques foliaires trimestrielles

3.5.1 Concentration en soufre foliaire

Les analyses chimiques des campagnes d'échantillonnage des mois de mai, aout et novembre 2014 sont en cours de traitement par l'université du Queensland (Center for Mined Rehabilitation). Les résultats obtenus et présentés sont ceux des campagnes d'échantillonnage de 2012, 2013 ainsi que Février, mai et aout 2014 (Figure 18).

❖ Evolution des concentrations moyennes en soufre foliaire

Les résultats des analyses chimiques foliaires réalisées entre mai 2012 et aout 2014 montre que la teneur moyenne en Soufre foliaire apparait plus élevée pour les espèces présentes sur les sites avec symptôme que sur les sites sans symptôme. On note une augmentation plus marquée de la teneur moyenne en soufre foliaire des espèces indicatrices sur les sites impactés entre novembre 2012 et aout 2014 (Figure 18).

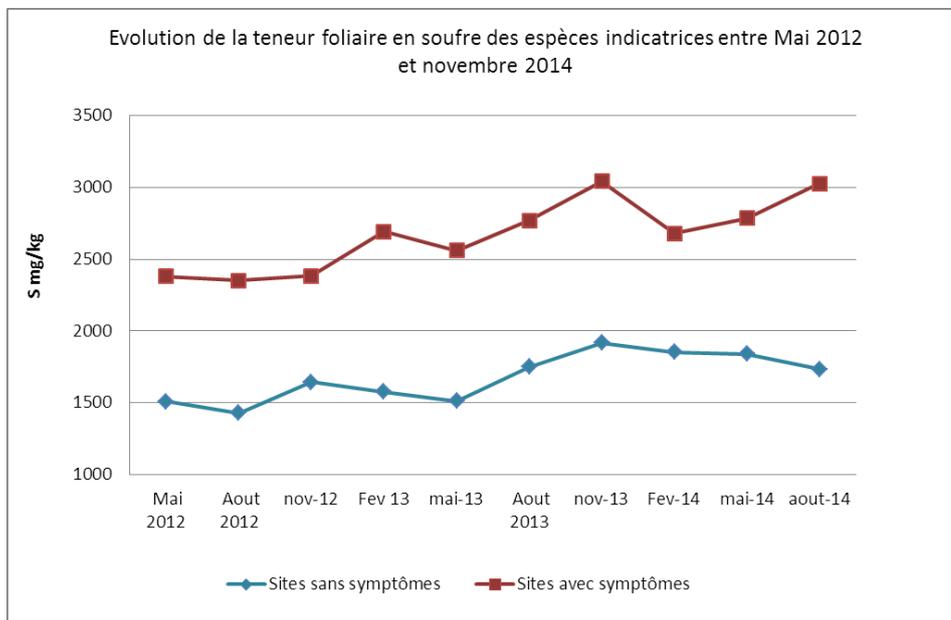


Figure 18: Evolution des concentrations moyennes en soufre foliaire entre mai 2012 et aout 2014. (*Alphitonia neocaledonica*, *Codia spatulata*, *Garcinia sp.*, *Montrouziera sphaeroidea* et *Styphelia sp.*)

6. Conclusion :

L'interprétation des résultats d'investigations reportés dans les précédents rapports (Vale Nouvelle-Calédonie 2011 ; Murray, 2012 ; VALENC, 2013 ; VALENC 2014) et dans l'actuel rapport mettent en cause le dioxyde de soufre atmosphérique comme étant le facteur premier des symptômes observés sur la végétation.

Les suivis réalisés en 2014 montre que la zone impactée reste localisée au secteur identifié en 2012. Cette zone se situe entre 200 et 2750 m à l'ouest de la source de SO₂ sous l'influence des vents dominants. Huit espèces sur les neuf espèces indicatrices suivies sur l'ensemble des stations ont présenté des symptômes apparus en 2014 avec une prépondérance d'espèces indicatrices touchées entre 200 et 1200 m par rapport à la source de SO₂. Aucun cas de mortalité n'a été relevé durant la période de surveillance. Malgré l'apparition de nouveaux symptômes en 2014, il n'a pas été observé de dégradation de l'état de santé des individus suivis. La majorité des individus suivis ont produits un nouveau feuillage en bonne santé et/ou pu assurer leur floraison et fructification.

Globalement, les résultats des suivis par transect réalisés depuis 2013 montrent une légère augmentation du nombre d'individus présentant des symptômes et du degré de sévérité des symptômes entre octobre 2013 et octobre 2014. Le phénomène semble, par la suite, se stabiliser voir s'améliorer entre octobre 2014 et janvier 2015 avec un nombre d'individus présentant des symptômes qui se stabilise et une reprise de la végétation se traduisant par une diminution du degré de sévérité des symptômes. Le phénomène est apparu plus marqué pour les stations localisées entre 200 et 1200 m qui ont présenté sur une faible proportion d'individus avec des symptômes de type « Fort ». Le phénomène est resté stable au niveau de la station la plus éloignée localisée à 2750 m depuis le début des suivis en 2013 (Annexe 4).

7. Recommandations

Au vu de ces résultats, il semble pertinent que le suivi symptomologique se concentre sur la zone impactée localisée entre 200 et 1200 m à l'ouest de l'usine. Un suivi symptomologique trimestriel sera réalisé sur un maillage de sites localisés au sein du secteur impacté afin d'affiner l'évaluation de l'évolution spatiotemporelle du phénomène. Le nouveau protocole en cours de définition devra permettre de cartographier la distribution du degré de sévérité des symptômes au sein du secteur impacté et de préciser leur évolution dans le temps.

- L'évaluation portera sur un maillage de sites localisés entre 200 et 1200 m par rapport à la source de SO₂. Ce maillage de sites intègrera notamment le massif forestier d'intérêt prioritaire, U4, suivi dans le cadre de l'étude VEGUSINE. Ce massif forestier est localisé à l'ouest du complexe industriel et correspond à la zone de dépérissement identifiée en 2011.
- La fréquence de ce suivi symptomologique est trimestrielle et le nombre de station d'observation sera défini de manière à pouvoir assurer une surveillance trimestrielle ne dépassant pas 4 jours.
- L'observation de symptômes sur la végétation est facilitée à hauteur d'homme. Le maillage de surveillance sera resserré avec un nombre plus important de sites suivis en lisière.
- L'évaluation portera sur un nombre réduit d'espèces indicatrices dont les symptômes sont connus. Dans la mesure du possible, six espèces seront suivies sur les stations d'observation.
- L'évaluation de l'impact portera à trois niveaux :
 - Evaluation du degré d'impact au niveau de la station d'observation : L'évaluation est quantitative et correspond au pourcentage d'espèces impactées (ex : 2 espèces indicatrices impactées sur les 6 espèces indicatrices suivies).
 - Evaluation de l'état de santé des espèces : L'évaluation est quantitative et correspond au pourcentage d'individus impactés par espèce (ex : 2 individus impactés sur les 5 individus suivis pour une même espèce).
 - Evaluation du degré d'impact sur les individus : L'évaluation est semi-quantitative et consiste à évaluer le degré de sévérité des symptômes sur les individus suivis selon des classes prédéfinies. (ex : 3 individus présentent des symptômes de classe X).

Il convient de noter que le suivi des symptômes foliaires assuré sur les 19 stations d'observation sera maintenu annuellement afin de détecter une éventuelle apparition de symptômes foliaires sur de nouvelles localités. Les analyses chimiques foliaires seront maintenues annuellement pour ces 19 stations.

8. Références bibliographiques

- Alignier A., 2010. Distribution des communautés végétales sous l'influence des lisières forestières dans des bois fragmentés. Thèse en vue de l'obtention du Doctorat de l'Université de Toulouse. INRA Toulouse UMR 1201 INPT/ENSAT DYNAFOR.
- Bell JNB. 1980. Response of plants to sulphur dioxide. *Nature* 284: 399-400.
- Bureau Veritas, 2013. Rapport de synthèse. Qualité de l'Air : Mesures des concentrations de NO₂ et de SO₂.
- Krauss 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.
- Murray F, Wilson S., 1987. Effects of SO₂ and HF and Their Combination on Plants of Ecological or Agricultural Importance in Australia. Department of Primary Industries and Energy, Canberra.
- Murray F, 2003. Air pollution impacts on vegetation in Australia. In: *Air pollution Impacts on crops and forests: A global assessment*. Edited by L. Emberson, M. Ashmore & F. Murray. pp.103-118. Imperial College Press, London.
- Murray F, 2004. Goro monitoring protocol. Murdoch University, Perth, Australia
- Murray F, 2011. Les enquêtes sur la cause du décès d'arbres sur un site industriel de Vale Nouvelle Calédonie: Investigations et rapport d'étape. Murdoch University, Perth, Australia
- Murray F, 2012. Investigations sur les facteurs en cause du dépérissement de la végétation dans la zone d'emprise de l'activité industrielle de Vale Nouvelle Calédonie. Murdoch University, Perth, Australia
- Soudania, K., Trautmann J., Walter J.M., 2001. Comparaison de méthodes optiques pour estimer l'ouverture de la canopée et l'indice foliaire en forêt feuillue; *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie* Volume 324, Issue 4, April 2001, Pages 381–392
- Vale Nouvelle-Calédonie, 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, Noumea.
- Vale Nouvelle-Calédonie, 2013. Suivi de l'Etat de santé de la flore des réserves forestières provinciales à proximité de l'usine de Vale Nouvelle-Calédonie, Bilan 2010.
- Vale Nouvelle-Calédonie, 2013. Surveillance symptomologique de la flore endémique sur 27 stations d'observation situées aux alentours de l'usine de Vale Nouvelle-Calédonie : Bilan de Janvier 2012 à mars 2013.
- Vale Nouvelle-Calédonie, 2014. Surveillance symptomologique de la flore endémique sur 27 stations d'observation situées aux alentours de l'usine de Vale Nouvelle-Calédonie : Bilan de Janvier 2013 à Décembre 2013.
- Welles J. M., Cohen. S., 1996. Canopy structure measurement using commercial instrumentation. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 47, No. 302, pp. 1335-1342, September 1996

9. Annexes

Annexe 1 : Liste des espèces échantillonnées par station d'observation pour les analyses chimiques foliaires (S)

Site N°	Echantillon N°	Espèces
1	1	Alphitonia neocaledonica
	2	Codia discolor
2	1	Montrouziera spharoidea
	2	Codia spatulata
3	1	Tristaniopsis guillainii
	2	Alphitonia neocaledonica
4	1	Garcinia spp
	2	Codia spatulata
5	1	Codia spatulata
	2	Garcinia spp
6	1	Tristaniopsis guillainii
	2	Codia spatulata
7	1	Garcinia spp
	2	Guettarda eximia
8	1	Pagiantha cerifera
	2	Garcinia spp
9	1	Codia spatulata
	2	Alphitonia neocaledonica
10	1	Codia spatulata
	2	Tristaniopsis guillainii
11	1	Codia spatulata
	2	Alphitonia neocaledonica
12	1	Garcinia spp
	2	Styphelia spp
13	1	Styphelia spp
	2	Tristaniopsis guillainii
14	1	Alphitonia neocaledonica
	2	Gardenia aubryi
15	1	Codia spatulata
	2	Tristaniopsis guillainii
16	1	Codia spatulata
	2	Styphelia spp
17	1	Tristaniopsis guillainii
	2	Garcinia spp
18	1	Tristaniopsis guillainii
	2	Codia spatulata
19	1	Sparattosysce dioica
	2	Macaranga alchorneoides
20	1	Macaranga alchorneoides
	2	Morierina Montana
21	1	Codia spatulata
	2	Garcinia spp
22	1	Alphitonia neocaledonica
	2	Codia spatulata
23	1	Montrouziera spharoidea
	2	Tristaniopsis guillainii
24	1	Codia spatulata
	2	Styphelia spp
25	1	Arriladtrum gummiferum
	2	Alphitonia neocaledonica
26	1	Alphitonia neocaledonica
	2	Codia spatulata
29	1	Montrouziera spharoidea
	2	Codia spatulata

Annexe 2 : Résultats détaillés des mesures de SO2 de l'air

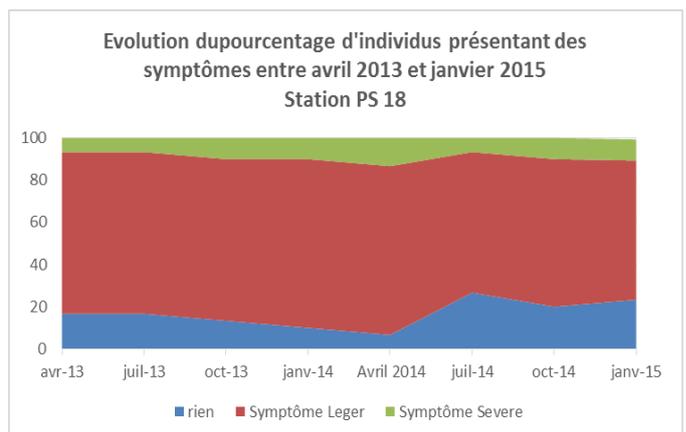
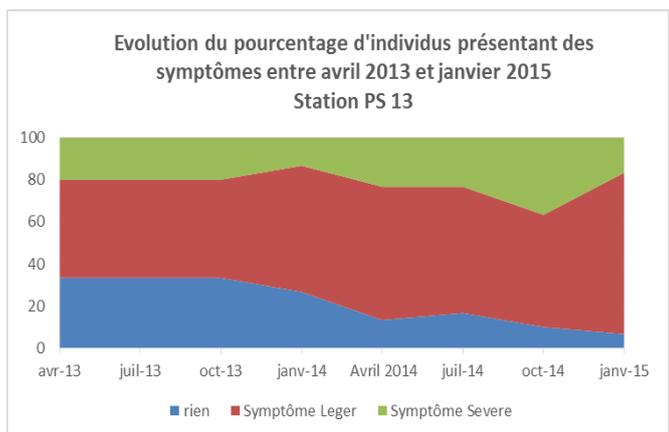
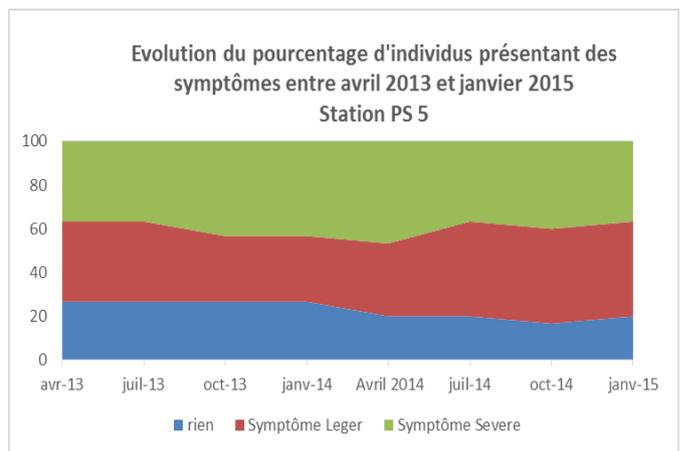
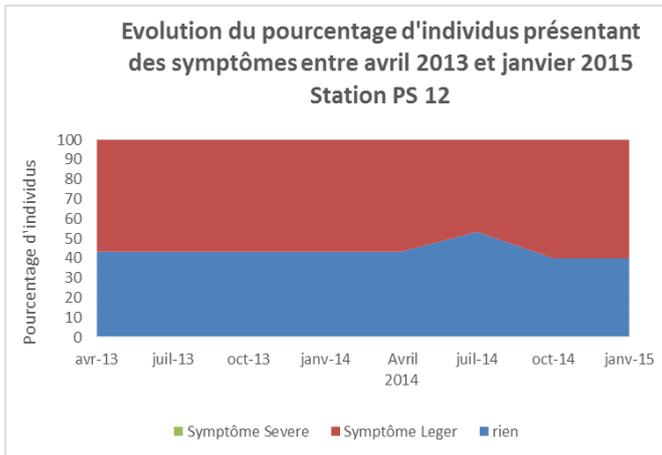
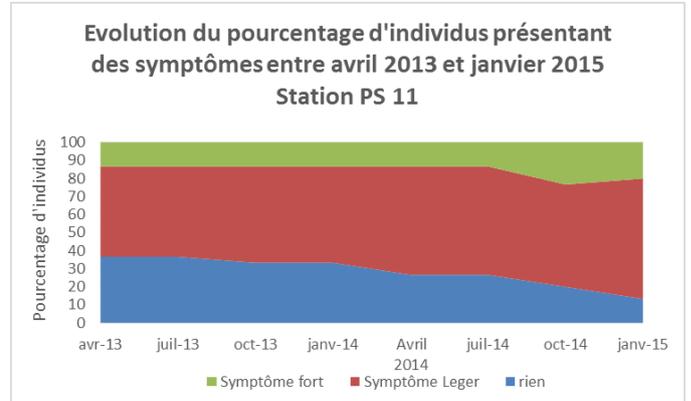
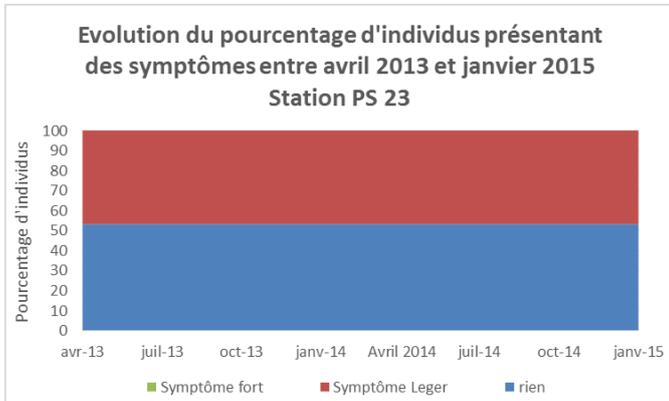
Site	janv-13	févr-13	mars-13	avr-13	mai-13	juin-13	juil-13	août-13	sept-13	oct-13	nov-13	déc-13	janv-14	févr-14	mars-14	Avril mai-14	juin-14	juil-14	août-14	sept-14	oct-14	nov-14	déc-14	Min-14	Max-14	MOY-14
PS 1	0,3	0,8	0,3	1,5	1,5	0,3	0,5	0,3	0,9	2,2	2,1	0,6	0,3	0,3	1,4	0,4	2,8	0,3	0,3	1	0,3	0,3	2,1	0,3	2,8	0,9
PS 2	0,3	1,1	1,2	1,9	1,8	2,3	2	1,1	4,3	3	2,5	0,8	1,1	0,8	1,1	1,7	3	0,5	2	1,9	0,6	0,6	2,4	0,5	3	1,4
PS 3	16,2	11,6	9	6,2	5,6	10,2	20,2	15,6	36,2	44,4	19,9	23,2	27,9	9,4	26,4	9,8	7,2	4,1	5,6	16,8	45,3	20	23,3	4,1	45,3	17,8
PS 4	15,4	13,7	8,4	3,8	5,1	10,6	18,7	15,3	32,4	74,4	22,8	18,4	21,7	5,5	23,6	9,6	4	1,9	7,1	14,7	48,9	23,3	28,6	1,9	48,9	17,2
PS 5	12,4	12,6	9,9	4,7	6,1	11,5	27,7	12,8	38,5	32,2	18,7	3,7	16,5	1,3	25	13,9	4,2	2,8	7,4	15,5	38,3	31,9	32,2	1,3	38,3	17,2
PS 6	11,8	8,9	8	6,1	5,4	11,5	20,8	8,9	34,3	27,4	17,4	6,2	15,7	3,3	26,8	10,7	6,7	4,7	8	12,3	31	25,5	29,1	3,3	31	15,8
PS 7	13,8	18,9	8,2	6,8	4,3	15,7	30,5	8	31,9	19,3	22,9	4,1	9,4	3,6	29,4	15,1	4,7	3,1	7,9	16,3	36,3	22,1	25,9	3,1	36,3	15,8
PS 8	21,9	28,1	11,9	6,3	3,7	15,9	42,7	11,2	28,6	28,8	27,9	11,5	20,9	1,8	42,6	22	4,3	4,6	9,7	16,8	30,9	27,5	30,4	1,8	42,6	19,2
PS 9	25,2	30,1	20,5	6	8,6	19,6	45	19,9	44,4	42,3	41,7	27,9	38,7	8,9	64,7	25,7	8,2	5,3	14,3	28,1	44,9	40,4	47,5	5,3	64,7	29,7
PS 10	18,2	18,6	15,3	7,2	10,1	16,2	38,3	23,2	61,8	52,5	31	19,4	39,2	12,7	42,2	21,4	6,9	6,2	13,2	25,3	49,9	28,9	33,5	6,2	49,9	25,4
PS 11	28,6	63,1	23,7	4,9	8,9	13,6	30,4	16,3	31,6	51,3	42	28,9	35,1	37,3	72,4	32,3	10,2	6,1	8,9	21,8	47	47	67,8	6,1	72,4	35,1
PS 12	24,7	32,2	14,3	4,3	10,2	10,8	29,7	10,2	21,7	23,3	29	10,7	24	7,9	52,6	24,7	5,8	4,4	5,9	21,4	39,6	38,5	40,4	4,4	52,6	24,1
PS 13	11,2	11,4	7,5	7,1	7,8	17,5	37,1	16,4	11,3	12,5	6,6	29,6	37,2	42,7	10,8	21,1	3,6	1,7	7,2	14,6	21,7	5,2	1,3	1,3	42,7	15,2
PS 14	2,4	1,5	2,4	1,7	1,7	1,7	3,8	4,2	12,7	3,9	4,4	1,6	1,9	7,9	5,8	0,9	5	6,3	2	8,1	1,3	4,2	2,1	0,9	8,1	4,1
PS 15	3	1,2	0,7	2	1,3	5,1	4,8	4	4,9	3,3	2,9	3,5	10,7	7,1	3,8	2,7	3	2	0,7	4,3	2	2	1	0,7	10,7	3,6
PS 16	1	0,5	0,5	2,2	0,6	2,1	3,1	1,9	2,1	1,5	2,6	2,3	3,5	6,8	1,1	1,9	5,1	1,7	0,3	1,4	0,9	0,4	0,3	0,3	6,8	2,1
PS 17	16,1	56,5	38,3	3,6	14,7	15,8	14,3	8,3	14,8	39,4	18,8	28,9	38,2	20,1	55,8	19,8	7,2	7	4,4	9	18,7	36,6	45,9	4,4	55,8	23,9
PS 18	16	61,6	41,6	4,8	14,6	13,1	16,4	8,9	14,6	49,7	26	24,3	33,6	24,8	75,7	24,8	7,7	4,9	5,2	14,4	19,7	57,8	46,2	4,9	75,7	28,6
PS 19	0,4	0,9	0,9	0,5	0,7	0,9	1,7	3,2	5	3,5	2	1	2,4	2,5	2,6	0,5	2,9	3,3	1,7	3,3	0,3	1,1	31,3	0,3	31,3	4,7
PS 20	0,7	0,4	0,4	1,3	1	0,9	1	1,6	4,8	2,1	3,2	0,8	0,3	2,5	1,1	0,3	3,8	2,7	0,3	2,4	0,7	1,6	0,8	0,3	3,8	1,5
PS 21	0,3	0,4	0,5	1,1	2,2	1,3	2,6	2,9	1,4	3,2	1,2	0,9	0,6	0,6	1,7	0,3	2,9	3,7	0,3	0,7	0,6	0,3	0,8	0,3	3,7	1,1
PS 22	0,3	0,8	0,9	1,2	3	0,9	0,9	0,7	0,4	1,8	7,6	0,3	0,4	0,3	1,6	0,3	3,9	0,9	0,3	0,3	0,4	0,5	0,3	0,3	3,9	0,8
PS 23	2,3	12,7	10,8	1,3	3,1	2,3	3,1	0,9	2,4	10,1	7,2	5,1	2	5,2	16,1	4,7	5,1	2,3	2,1	2,1	3,3	8,6	9,2	2	16,1	5,5
PS 24	3,4	2,2	1,8	2,8	3,3	7,3	8,9	1,6	12,8	7	5,3	0,8	2,2	0,7	6,2	4,5	4,5	2,9	4,8	2,1	4,2	5,3	10,2	0,7	10,2	4,3
PS 25	0,3	0,4	0,3	0,7	0,8	0,3	0,3	0,3	0,3	4,1	1,5	0,3	0,4	0,3	0,9	0,4	2,7	1	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	0,3	2,7	0,7
PS 26	0,6	0,6	0,5	0,8	0,7	0,4	0,3	2,3	0,7	1,5	1,8	0,8	0,3	0,3	0,8	0,3	2	0,3	0,3	0,6	0,3	0,8	0,4	0,3	2	0,6
PS 27	0,8	0,4	0,3	0,7	0,8	1,2	0,3	0,3	0,4	0,8	1,9	0,7	0,4	0,3	1,4	0,5	1,4	0,8	1,3	0,3	0,3	0,7	0,4	0,3	1,4	0,7
PS 28	0,3	0,8	0,6	0,6	0,4	1	0,3	0,5	2	1	1,7	1	0,5	0,3	1,6	0,3	2,8	1	0,3	0,3	1,4	0,3	1,3	0,3	2,8	0,9
PS 29	0,8	3,3	1,7	0,7	0,6	1,6	1,3	1,4	5,3	2,8	2,4	0,9	1,3	2	1,7	0,7	1,3	2,5	1,7	2,2	0,3	0,5	0,3	0,3	2,5	1,3

Résultats des mesures par échantillonnage passif du SO2 de l'air réalisées entre Janvier 2013 et Décembre 2014. Les cases en rouge mettent en évidence les stations ayant enregistré un dépassement de la valeur moyenne limite annuelle pour la protection de l'environnement (20 µg/m3) pour l'année 2014.

Annexe 3 : Résultats du suivi mensuel symptomologique de 2014 par semestre

Distance par rapport à la source	Orientation par rapport au source	Station	<i>Garcinia spp</i>	<i>Gymnostoma deplancheanum</i>	<i>Alphitonia neocaledonica</i>	<i>Codia spatulata</i>	<i>Tristanopsis guillainii</i>	<i>Guioa glauca</i>	<i>Lomandra insularis</i>	<i>Montrouzieria sphaeroidea</i>	<i>Styphelia spp</i>	Pourcentage d'espèces suivies présentant des symptômes par station	Pourcentage d'espèces suivies ayant présenté des nouveaux symptômes par station	Nombre d'espèces suivies ayant présenté des symptômes par catégorie de station	Suivi	Nouveau symptome
Premier semestre : Janvier à juin 2014																
PROCHE	W	4				NS					NS		40	7	5	2
	WSW	5	NS						NS		NS		60		5	3
	W	8											0		1	0
	W	9	NS								NS		40		5	2
	W	10	NS				NS				NS		60		5	3
	WNW	11			NS	NS				NS			60		5	3
	NNW	13					NS		NS	NS	NS		80		5	4
	NNE	14											0		1	0
	WSW	24											0		5	0
W	12									NS		20	5	1		
MOYENNE	S	1											0	5	0	
	NNW	15											0	5	0	
	NW	18				NS	NS						40	5	2	
	E	21											0	5	0	
	NNW	29											0	5	0	
LOIN	SSE	2											0	4	0	
	WNW	23					NS			NS			40	5	2	
	N	26											0	5	0	
	NNW	25											0	5	0	
Deuxieme semestre : Juillet à Décembre 2014																
PROCHE	W	4			NS	NS					NS		60	8	5	3
	WSW	5	NS						NS		NS		60		5	3
	W	8											0		1	0
	W	9				NS							20		5	1
	W	10	NS	NS		NS	NS				NS		100		5	5
	WNW	11	NS		NS	NS				NS			80		5	4
	NNW	13					NS		NS	NS	NS		80		5	4
	NNE	14											0		1	0
	WSW	24											0		5	0
W	12					NS						20	5	1		
MOYENNE	S	1											0	5	0	
	NNW	15				NS	NS				NS		60	5	3	
	NW	18	NS			NS	NS						60	5	3	
	E	21											0	5	0	
	NNW	29											0	5	0	
LOIN	SSE	2											0	4	0	
	WNW	23					NS				NS		40	5	2	
	N	26											0	5	0	
	NNW	25											0	5	0	

Annexe 4 : Résultats du suivi trimestriel complémentaire par station



Annexe 5 : Résultats détaillés des mesures des teneurs en soufre foliaire

Site N°	Espèces	mai-12	Aout-12	nov-12	Fev-2013	mai-13	Aout-13	nov-13	Fev-2014	mai-14	Aout-14	MIN	MAX	Moyenne
1	<i>Alphitonia neocaledonica</i>	687	818	799,92	785	1022	1105	866	819	775	850	687	1105	853
1	<i>Codia discolor</i>	1508	1653	1312,88	1750	1540	869	1995	2110	1520	1635	869	2110	1589
2	<i>Montrouzieria spharoidea</i>	3128	3016	3051,88	4009	3177	3751	4950	3189	3996	3873	3016	4950	3614
2	<i>Codia spatulata</i>	1619	1486	1292,69	2384	1480	1246	1723	1640	1761	1472	1246	2384	1610
4	<i>Garcinia spp</i>	2606	2609	2422,57	3011	4641	3281	3088	4763	3448	5768	2423	5768	3564
4	<i>Codia spatulata</i>	3025	2805	4175,86	4071	4194	4343	3767	3444	3673	3472	2805	4343	3697
5	<i>Codia spatulata</i>	2922	2788	2976,47	2709	2870	3543	3070	4033	3729	4183	2709	4183	3282
5	<i>Garcinia spp</i>	3352	2686	2428,9	3281	3480	3666	5346	3020	3805	3787	2429	5346	3485
7	<i>Garcinia spp</i>	3693	2140	1821,83	1947	2281	3971	4628	2015	2747	4475	1822	4628	2972
7	<i>Guettarda eximia</i>	1720	2188	2397,49	1492	1511	2225	2282	1663	2700	1617	1492	2700	1980
8	<i>Pagiantha cerifera</i>	9882	8179	10375,64	8353	9138	8623	9553	8965	12392	12895	8179	12895	9836
8	<i>Garcinia spp</i>	2433	2259	1990,26	2100	2012	2178	3902	1508	2599	3090	1508	3902	2407
9	<i>Codia spatulata</i>	2417	3261	3790,16	3103	2445	2778	4654	3262	3154	3410	2417	4654	3227
9	<i>Alphitonia neocaledonica</i>	1279	1145	1279,93	1155	1160	1481	1422	1110	1476	1379	1110	1481	1289
10	<i>Codia spatulata</i>	3920	3946	3856,39	3892	3101	3917	3509	3735	3811	4055	3101	4055	3774
10	<i>Tristaniopsis guillainii</i>	1151	1285	1273,8	1149	1803	2278	1534	1504	1406	1323	1149	2278	1471
11	<i>Codia spatulata</i>	2451	1939	2333,85	2169	2328	2454	3269	2639	2582	3447	1939	3447	2561
11	<i>Alphitonia neocaledonica</i>	1205	1283	1167,31	1226	1366	1361	1383	1170	1616	1303	1167	1616	1308
12	<i>Garcinia spp</i>	2886	2263	1635,4	2938	2319	2728	2605	1985	2973	2661	1635	2973	2499
12	<i>Styphelia spp</i>	1674	1518	1401,06	2970	2043	2813	3307	1947	2733	2237	1401	3307	2264
13	<i>Styphelia spp</i>	1353	907	1213	1172	1111	1544	1817	1279	1623	1569	907	1817	1359
13	<i>Tristaniopsis guillainii</i>	867	896	1022,21	1331	1059	948	1364	1057	1092	1134	867	1364	1077
14	<i>Alphitonia neocaledonica</i>	1014	1136	886,21	1126	976	1014	1052	1021	1113	1808	886	1808	1115
14	<i>Gardenia aubryi</i>	1659	1509	1448,65	1338	1590	2349	1951	1952	1652	1093	1093	2349	1654
15	<i>Codia spatulata</i>	1379	1338	1635,94	2106	1716	1834	2292	1886	1658	1556	1338	2292	1740
15	<i>Tristaniopsis guillainii</i>	818	743	745,83	789	735	896	951	854	831	819	735	951	818
18	<i>Tristaniopsis guillainii</i>	890	1038	1278,73	1039	1081	790	1213	1183	1227	1201	790	1279	1064
18	<i>Codia spatulata</i>	1661	2134	2158,06	1959	1999	2141	2346	2291	1950	2024	1661	2346	2086
20	<i>Macaranga alchorneoides</i>	1544	1921	1479,62	1609	2220	1719	1556	1702	1703	1712	1480	2220	1717
20	<i>Morierina Montana</i>	1936	2128	2279,94	1940	1986	2182	2219	2342	1985	2383	1936	2383	2138
21	<i>Codia discolor</i>	1953	1225	2560,06	1846	1392	2183	2157	1660	1468	1478	1225	2560	1792
21	<i>Garcinia spp</i>	1693	1522	1626,55	1454	1810	2081	1744	1971	2276	2151	1454	2276	1833
23	<i>Montrouzieria spharoidea</i>	3551	4630	3255,83	4608	3621	3668	3749	3622	3524	4555	3256	4630	3878
23	<i>Tristaniopsis guillainii</i>	894	722	1052,37	835	989	986	917	1088	1068	958	722	1088	951
24	<i>Codia spatulata</i>	1587	1365	1944,61	1354	1448	2305	2347	2390	1746	1909	1354	2390	1840
24	<i>Styphelia spp</i>	876	943	959,51	950	1032	1003	1071	1097	1021	1062	876	1097	1001
25	<i>Arrilastrum gummiferum</i>	539	539	735,04	655	609	598	709	650	657	716	539	735	641
25	<i>Alphitonia neocaledonica</i>	698	660	662,93	690	799	837	820	765	771	832	660	837	753
26	<i>Alphitonia neocaledonica</i>	1161	798	921,41	798	807	1160	909	880	840	861	798	1161	914
26	<i>Codia spatulata</i>	1162	1648	1687,44	1008	1370	1717	1560	1815	1620	1559	1008	1815	1515
29	<i>Montrouzieria spharoidea</i>	2066	1992	3148,09	1686	2336	2672	2785	3923	4608	3007	1686	4608	2822
29	<i>Codia spatulata</i>	1498	1471	1430,23	1787	1456	1818	2018	1849	1545	1846	1430	2018	1672

