



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

Bilan de Février 2012 à Mars 2013



**Vale Nouvelle-Calédonie
Avril 2013**

SOMMAIRE

1.	Contexte	1
2.	Protocole de surveillance symptomologique de la flore.....	2
2.1	Objectifs et indicateurs.....	2
2.2	Localisation des stations d'observation	3
2.3	Méthode de suivi.....	5
2.3.1	Mesure de la concentration en SO ₂ et NO ₂ de l'air par échantillonneur passif	5
2.3.2	Suivi mensuel des symptômes foliaires	6
2.3.3	Echantillonnage trimestriel et analyse chimique foliaire.....	7
3.	Présentation des résultats.....	8
3.1	Campagne d'échantillonnage passif de la concentration en SO ₂ et NO ₂ de l'air.....	8
3.1.1	Campagnes d'échantillonnages et durée d'exposition des échantillonneurs.....	8
3.1.2	Valeurs de référence et commentaires sur les résultats des essais.....	9
3.1.3	Résultat des mesures de SO ₂ de l'air.....	10
3.1.4	Résultat des mesures de NO ₂ de l'air.....	13
3.2	Activité de l'usine.....	15
3.3	Suivi mensuel des symptômes foliaires.....	17
3.3.1	Mise en évidence des stations d'observation avec symptômes.....	17
3.3.2	Expertise des symptômes sur le terrain.....	20
3.4	Résultat des analyses chimiques foliaires trimestrielles	23
3.4.1	Concentration en soufre foliaire	23
3.4.2	Concentration en azote foliaire.....	25
4.	Mise en relation des résultats pour l'azote	26
4.1	Concentration en NO ₂ de l'air et symptômes foliaires	26
4.2	Relation entre les symptômes foliaires et l'azote foliaire	26
5	Mise en relation des résultats pour le soufre	27
5.1	Concentration en SO ₂ de l'air et les symptômes foliaires.....	27
5.2	Relation entre les symptômes foliaires et le soufre foliaire	28
6.	Conclusion :.....	30
7.	Limites et perspective d'amélioration du protocole	32
8.	Références bibliographiques.....	37
9.	Annexes.....	38

TABLEAUX

Tableau 1 : Objectifs du protocole de surveillance et indicateurs de suivi.	3
Tableau 2 : Descriptif des 29 stations d'observation.....	4
Tableau 3 : Tableau récapitulatif présentant la méthodologie et les appareils mis en œuvre	6
Tableau 4 : Présentation des espèces suivies par station d'observation.....	7
Tableau 5 : Date de début et de fin des différentes campagnes d'échantillonnage	8
Tableau 6 : Valeurs de références définies par l'arrêté	9
Tableau 7 : Résultats du suivi des symptômes foliaires.	17
Tableau 8 : Comparaison de deux méthodes pour la mesure de la luminosité sous la canopée.....	34

FIGURES

Figure 1 : Localisation des 29 stations d'observation	4
Figure 2: Concentration moyenne en SO ₂ de l'air par station.....	10
Figure 3 : Représentation spatiale des concentrations moyennes de SO ₂ mesurées par station	11
Figure 4 : Profil des teneurs moyennes mensuelles en SO ₂ relevées pour les différentes campagnes	12
Figure 5 : Concentration moyenne en NO ₂ de l'air par station	13
Figure 6 : Profil des concentrations moyennes mensuelles en NO ₂ de l'air.	14
Figure 7 : Période de fonctionnement des différentes unités.	15
Figure 8 : Date des incidents recensés entre janvier 2012 et mars 2013.	16
Figure 9 : Représentation spatiale des stations d'observation avec symptômes	18
Figure 10: Concentration moyenne en soufre foliaire par station.	23
Figure 11 : Représentation spatiale des concentrations moyennes en soufre foliaire par station.....	24
Figure 12 : Comparaison des concentrations moyennes en soufre foliaire (mai, aout et novembre)..	24
Figure 13 : Concentration moyenne en azote foliaire par station.....	25
Figure 14 : Comparaison des teneurs moyennes en azote foliaire (mai, aout et novembre).	25
Figure 15 : Comparaison des concentrations moyennes en NO ₂ de l'air mesurées par type de station : Stations avec symptômes, sans symptômes et stations témoins.....	26

Figure 16: Comparaison du pourcentage moyen d'azote foliaire mesuré par type de station	26
Figure 17 : Comparaison des concentrations moyennes en SO ₂ de l'air par type de station : Stations avec et sans symptômes et stations témoins.....	27
Figure 18 : Concentration moyenne en SO ₂ de l'air relevée par station d'observation.....	27
Figure 19 : Comparaison de la teneur moyenne en soufre foliaire mesurée par type de station	28
Figure 20 : Comparaison de la concentration moyenne en soufre foliaire mesurée par type de station au mois de mai, aout et novembre.....	29
Figure 28 : Comparaison de la concentration moyenne en soufre foliaire mesurée par espèce et par type de station : Stations avec et sans symptôme.....	29

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 gomme (*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 aigüe 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. Onze espèces indicatrices dont les symptômes foliaires sont connus et décrits dans le guide des symptômes ont été sélectionnées pour ce suivi.

Ce rapport présente un bilan des suivis effectués entre Février 2012 et Mars 2013 sur les stations d'observations. Il présente :

1. les résultats du suivi symptomatologique 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, NO₂)
3. les résultats des analyses chimiques foliaires trimestrielles des stations d'observation

2. Protocole de surveillance symptomatique 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-toxique 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 tout phénomène de dépérissement lié aux émissions atmosphériques et de suivre l'évolution de ce dépérissement. 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 du guide. Les objectifs du protocole de surveillance et les indicateurs de suivi sélectionnés pour y répondre sur chaque station sont présentés dans le Des tubes passifs mesurant les teneurs mensuelles en SO₂ et NO₂ 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.

Objectifs	Indicateurs de suivi			
	Symptômes foliaires		Qualité de l'air	Teneur chimique foliaire
Détecter tout phénomène de dépérissement lié aux émissions atmosphériques	Chlorose, nécrose et déformation des feuilles	Symptôme présent sur un individu	Teneur en SO2 et NO2 de l'air	Teneur chimique foliaire en S et N
Evaluer l'évolution du dépérissement		Symptôme généralisé à l'ensemble des individus		

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 orientation par rapport à la source de SO2 atmosphérique afin d'assurer une détection précoce de symptômes foliaires sur les espèces indicatrices, signe précurseur d'un risque d'impact. La fréquence mensuelle des suivis permet également d'évaluer l'évolution de ces symptômes dans le temps. Des tubes passifs mesurant les teneurs mensuelles en SO2 et NO2 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.

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.

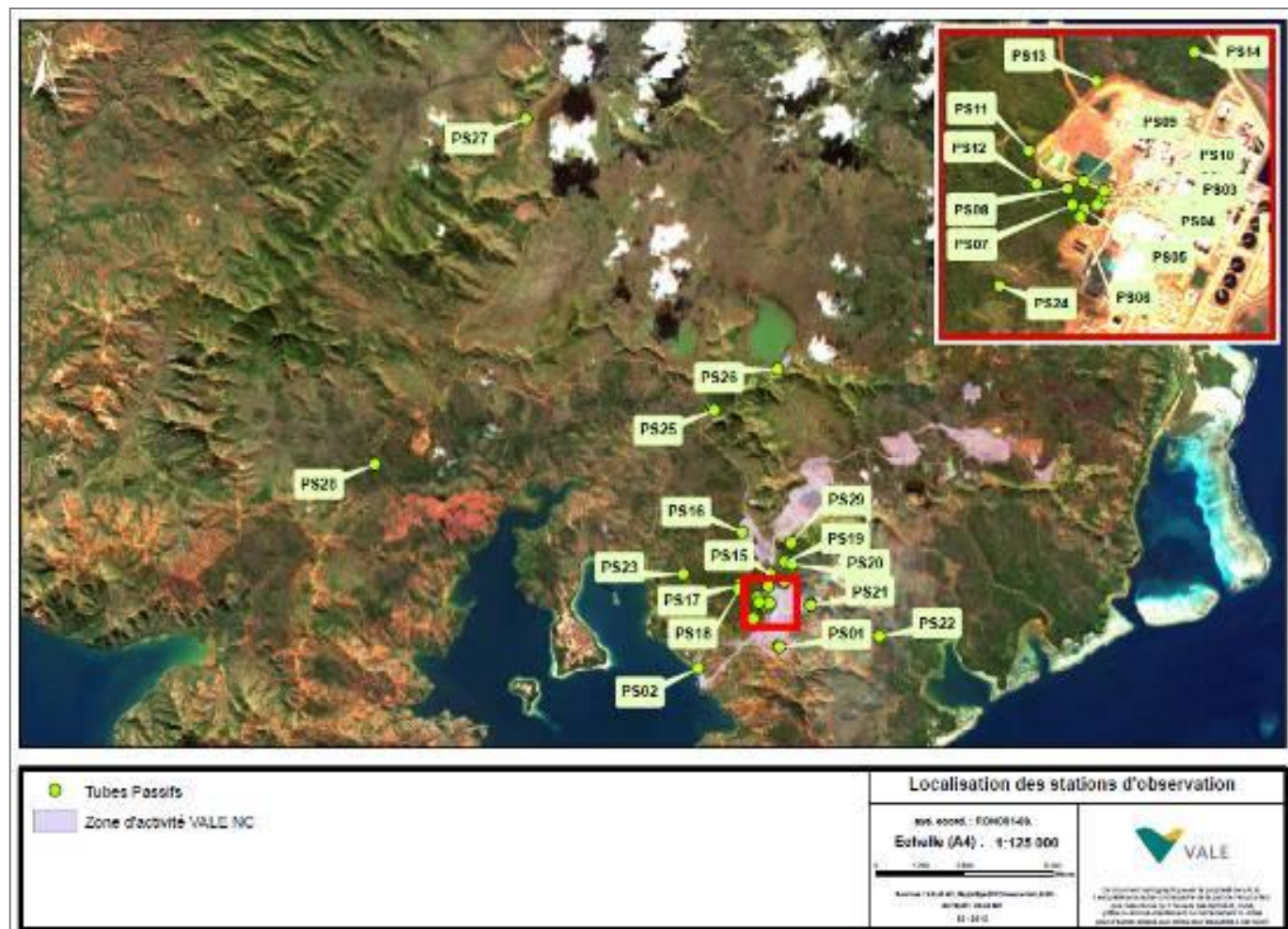


Figure 1 : Localisation des 29 stations d'observation

Station observation	Localisation	Distance à la source (m)	Orientation par rapport à la source	Végétation	Exposition	GPS RGNC 91 X	GPS RGNC 91 Y	Classe	Remarque
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 avale 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	Moyenne	Station à risque modéré susceptible de montrer une teneur moyenne en SO2 pouvant engendrer des dommages légers sur les espèces sensibles
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		
PS 27	Madeleine	20000	NNW	Maquis ligno-herbacé dense	Ouvert	-22,21230	166,84280		Sites utilisés pour évaluer les teneurs normales de SO2 de l'air

Tableau 2 : Descriptif des 29 stations d’observation. Les suivis symptomologique sont réalisés pour 24 stations et les analyses chimiques foliaires pour 27 stations.

2.3 Méthode de suivi

2.3.1 Mesure de la concentration en SO2 et NO2 de l’air

Des tubes à diffusion ont été positionnés au niveau des 29 stations d’observation afin de mesurer les concentrations mensuelles de SO2 et NO2 de l’air.

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 et NO2. La durée d’exposition des échantillonneurs recommandée par campagne varie de 2 à 4 semaines pour la quantification du SO2 et de 1 à 4 semaines pour le NO2 (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 et NO2 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	0.5 – 240 µg/m ³
NO ₂	Tube diffusion passive Temps d'exposition : 1 à 4 semaines Débit échantillonnage : 0,8536 ml/min	1 – 200 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 mensuel des symptômes foliaires

Un suivi mensuel des symptômes foliaires est assuré pour 24 stations d'observation et concerne onze espèces présentant des symptômes évidents en cas de forte exposition au dioxyde de soufre. Le guide des symptômes foliaires élaboré pour ces 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 11 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. Ainsi, 1 à 9 espèces sont suivies par station d'observation (Tableau 4). Ce suivi symptomatologique intègre une évaluation visuelle qualitative des symptômes (chlorose, nécrose, déformation) et une évaluation quantitative (symptôme présent sur un individu, symptôme généralisé à l'ensemble des individus).

En complément, des photographies mensuelles des symptômes sont réalisées sur trois à six espèces du guide pour chaque station. Les branches photographiées sont balisées afin de suivre l'évolution des symptômes foliaires par espèce et par localité.

Distance à la source	Habitat	Exposition	Orientation par rapport au source	Station	Espèces suivies										Nombre d'espèces suivies par station	Nombre cumulé d'espèces suivies par catégorie de station	% d'espèces suivies du guide des symptômes	% moyen d'espèces suivies du guide des symptômes selon la distance à la source	
					Arbres de grande taille			Arbres de petite taille			Arbustes			Cyperacée					
					<i>Arillostrum gummiferum</i>	<i>Garcinia spp</i>	<i>Gymnostoma deplancheanum</i>	<i>Alphitonia neocaledonica</i>	<i>Cordia spatulata</i>	<i>Tristaniaopsis guillainii</i>	<i>Guioa glauca</i>	<i>Lomandra insularis</i>	<i>Montrouzieria sphaeroidea</i>	<i>Styphelia spp</i>					<i>Machaerina deplanchei</i>
PROCHE	Maquis arbustif dense	Lisière du creek	W	3		1	1	1		1		1		1	7	71	64	50	
	Forêt Rivulaire	Lisière de l'usine	W	4			1	1	1			1		1	6		55		
	Forêt Rivulaire	Lisière de l'usine	WSW	5		1	1		1		1	1		1	7		64		
	Forêt Rivulaire	Lisière de l'usine	WSW	6		1	1	1	1	1		1		1	7		64		
	Forêt Rivulaire	Fermée	WSW	7											0		0		
	Forêt à Chêne gomme	Fermée	W	8		1									1		9		
	Forêt à Chêne gomme	Lisière de l'usine	W	9		1	1	1	1			1		1	6		55		
	Forêt à Chêne gomme	Lisière de l'usine	W	10		1	1	1	1	1		1	1	1	9		82		
	Maquis arbustif dense	Lisière de l'usine	WNW	11		1	1	1	1		1	1	1	1	8		73		
	Maquis arbustif ouvert	Ouvert	NNW	13			1			1		1	1	1	5		45		
	Forêt Humide	Lisière du creek	NNE	14		1									1		9		
	Maquis arbustif dense	Lisière du piste	WSW	24			1	1	1		1			1	5		45		
Maquis para-forestier	Lisière de l'usine	W	12	1	1	1	1	1	1		1	1		1	9	82			
MOYENNE	Maquis ligno-herbacé dense	Ouvert	S	1			1	1	1		1	1	1	1	7	41	64	47	
	Maquis arbustif ouvert	Ouvert	NNW	15			1		1	1	1	1		1	6		55		
	Maquis arbustif dense	Lisière du piste	NW	17		1	1	1	1	1		1		1	7		64		
	Maquis arbustif dense	Lisière du piste	NW	18		1	1		1	1	1	1	1	1	8		73		
	Forêt Humide	Lisière du piste	NNE	19											0		0		
	Forêt Humide	Fermée	NNE	20											0		0		
	Maquis ligno-herbacé dense	Lisière du piste	E	21		1	1		1				1	1	1		6		55
	Maquis ligno-herbacé dense	Ouvert	NNW	27		1		1	1		1		1	1	1		7		64
LOIN	Maquis ligno-herbacé sur gabbro	Ouvert	SSE	2			1		1				1	1	4	34	36	52	
	Maquis arbustif ouvert	Ouvert	NNW	16			1	1	1		1	1		1	6		55		
	Maquis arbustif dense	Ouvert	ESE	22			1	1	1			1		1	5		45		
	Maquis arbustif ouvert	Ouvert	WNW	23			1	1		1	1	1	1	1	7		64		
	Maquis ligno-herbacé dense	Ouvert	N	26				1	1		1		1	1	1		6		55
	Maquis arbustif dense	Ouvert	NNW	25	1	1	1	1						1	1		6		55

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

2.3.3 Echantillonnage trimestriel et analyse chimique foliaire

Un échantillonnage de feuilles est réalisé tous les trois mois sur 27 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). Les éléments majeurs recherchés dans les analyses sont le soufre et l'azote total. Les analyses sont réalisées par le laboratoire des moyens de l'IRD de Nouméa (LAMA). Les résultats obtenus sont ceux des campagnes d'échantillonnage des mois de mai, aout et novembre.

3. Présentation des résultats

3.1 Campagne d'échantillonnage passif de la concentration en SO₂ et NO₂ de l'air

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

Quatorze campagnes de prélèvement ont été réalisées entre le 16 Février 2012 et le 27 mars 2013. Le Tableau 5 présente les différentes campagnes d'échantillonnages :

Campagne		Echantillonnage NO ₂	Echantillonnage SO ₂	Date de début	Date de fin
1	Février	Oui	Oui	16/02/2012	05/03/2012
2	Mars	Oui	Oui	05/03/2012	26/03/2012
3	Avril	Oui	Oui	02/04/2012	20/04/2012
4	Mai	Oui	Oui	07/05/2012	26/05/2012
5	Juin	Oui	Oui	26/05/2012	19/06/2012
6	Juillet	Oui	Oui	03/07/2012	30/07/2012
7	Août	Non	Oui	30/07/2012	27/08/2012
8	Septembre	Oui	Oui	10/09/2012	03/10/2012
9	Octobre	Non	Oui	03/10/2012	07/11/2012
10	Novembre	Oui	Oui	07/11/2012	07/12/2012
11	Décembre	Non	Oui	07/12/2012	08/01/2013
12	Janvier	Non	Oui	08/01/2013	04/02/2013
13	Février	Non	Oui	04/02/2013	04/03/2013
14	Mars	Non	Oui	04/03/2013	27/03/2013

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 d'azote (NO2)	Dioxyde de soufre (SO2)
<i>Objectif de qualité</i>	Moyenne annuelle : 40 µg/m3	Moyenne annuelle : 50 µg/m3
<i>Seuil de recommandation et d'information</i>	Moyenne horaire : 200 µg/m3	Moyenne horaire : 300 µg/m3
<i>Seuil d'alerte</i>	Moyenne horaire : 400 ou 200 µg/m3 le jour ou le lendemain d'un dépassement du seuil de recommandation	Moyenne horaire : 500 µg/m3 (3 heures consécutives)
<i>Valeurs limites pour la protection de la santé humaine</i>	- Centile 99,8 : 200 µg/m3 moyenne horaire. - Moyenne annuelle : 40 µg/m3.	- Centile 99,7 : 350 µg/m3 moyenne horaire. - Centile 99,2 : 125 µg/m3 moyenne journalière.
<i>Valeurs limites pour la protection de la végétation /des écosystèmes</i>	-Moyenne horaire : 400 µg/m3. -Moyenne annuelle : 30 µg/m3.	-Centile 99,9 : 570 µg/m3 moyenne horaire. - Moyenne horaire : 230 µg/m3. - Moyenne annuelle : 20 µg/m3.

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

❖ *Concentration moyenne 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 février 2012 et mars 2013.

Les résultats, en date de mars 2013, montre que les points d'échantillonnage ayant présenté les teneurs moyennes les plus élevées sont les points PS 11 et PS 18 ainsi que les points PS 17, PS 03 à PS 13 (Figure 2). La représentation spatiale des teneurs moyennes en SO₂ de l'air montre que ces points d'échantillonnage sont situés entre 200 et 1200 m par rapport à l'usine et sous l'influence des vents dominant (Figure 3).

A titre indicatif, deux stations d'observation ont présenté des concentrations moyennes supérieures à la valeur moyenne annuelle pour la protection de la végétation et des écosystèmes¹ avec 22,8 µg/m³ pour PS 11 et 21,4 µg/m³ pour PS 18 (Figure 2, Figure 3). Le détail des résultats des mesures réalisées sur les différentes périodes d'exposition est présenté en annexe 2.

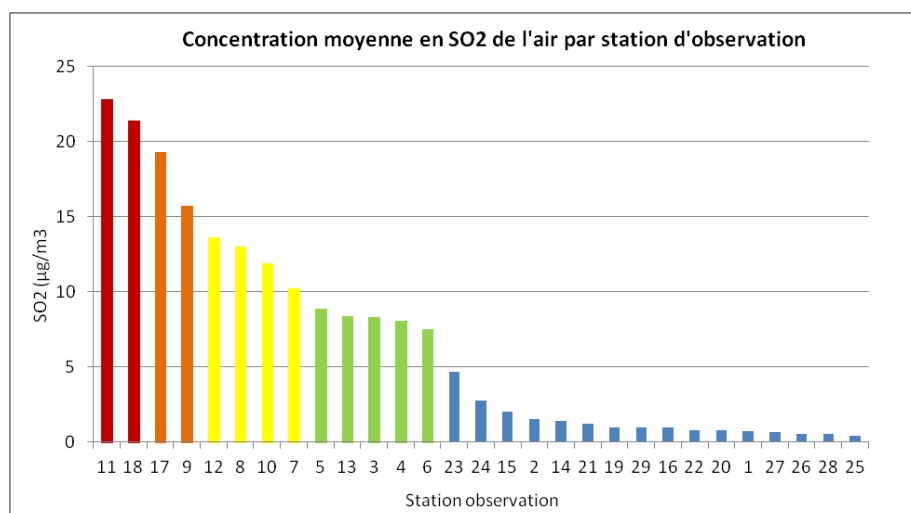


Figure 2: Concentration moyenne en SO₂ de l'air par station. Moyenne de février 2012 à mars 2013.

¹ Arrêté d'autorisation sur les installations classées pour la protection de l'environnement n°14 67-2008/P S du 9 Octobre 2008 : Valeurs limites pour la protection de la végétation /des écosystèmes : Moyenne annuelle (SO₂) : 20 µg/m³.

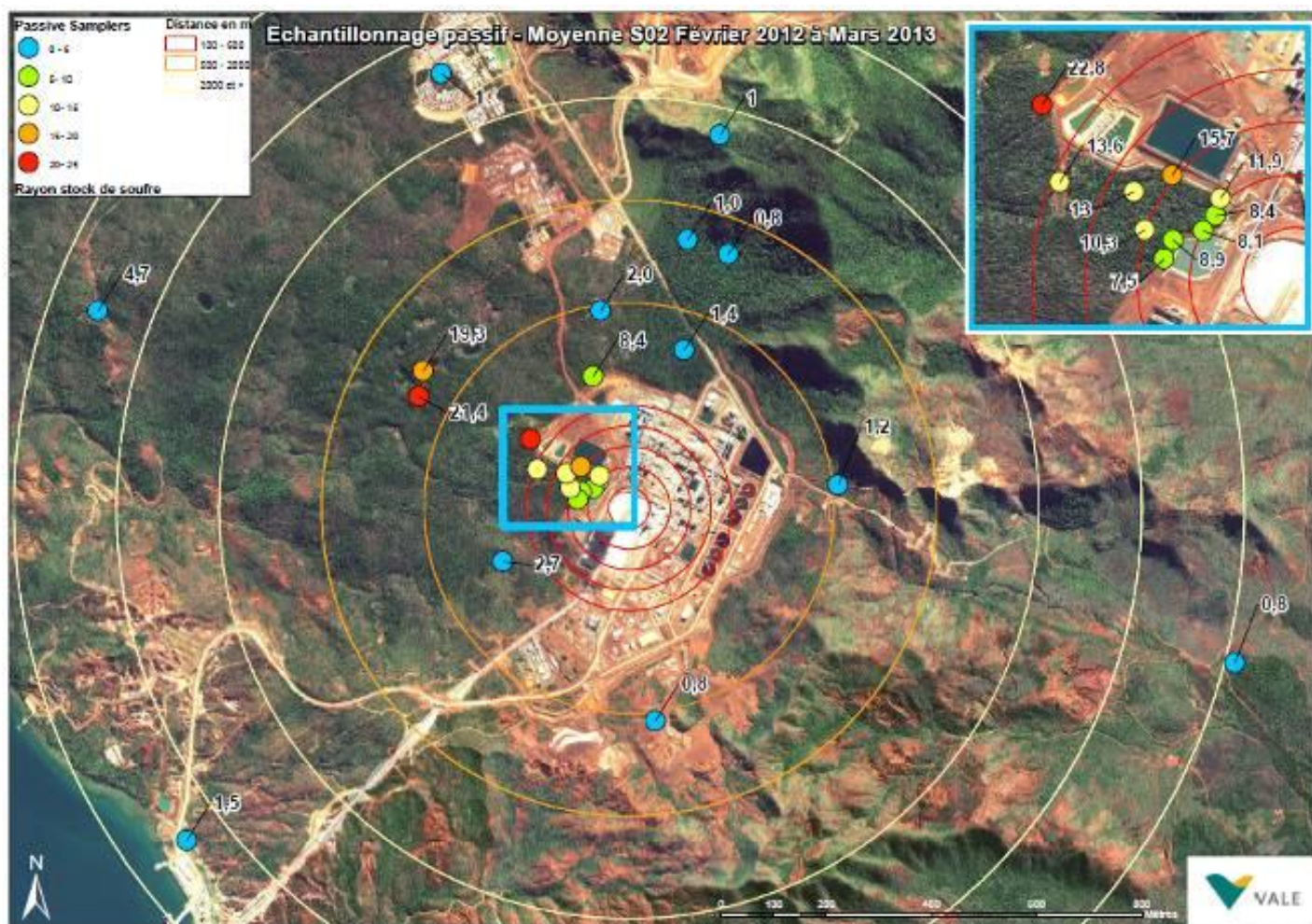


Figure 3 : Représentation spatiale des concentrations moyennes de SO2 mesurées par station entre février 2012 et mars 2013

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

Les campagnes de février 2012 et février 2013 ont donné lieu aux mesures des concentrations moyennes mensuelles en SO₂ de l'air les plus importantes (Figure 4). Les teneurs les plus basses ont été enregistrées entre mars et octobre 2012.

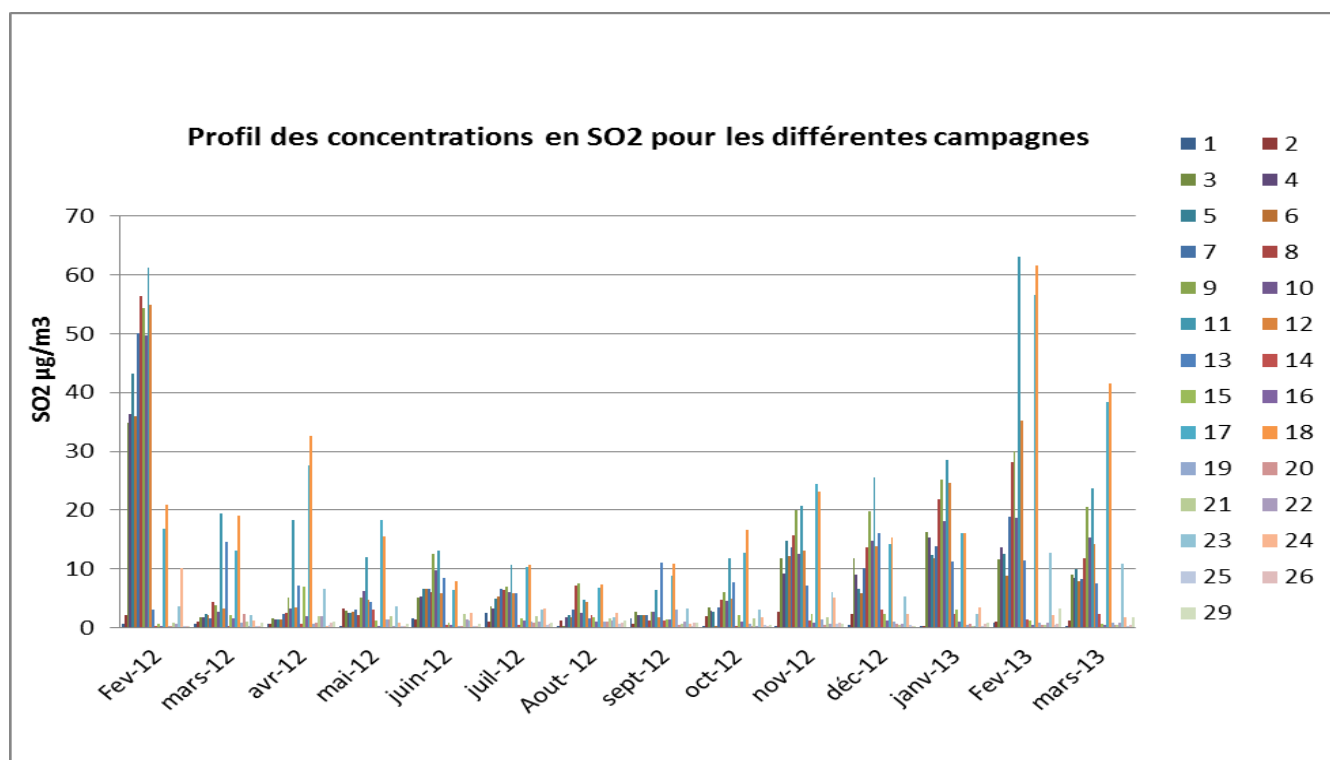


Figure 4 : Profil des teneurs moyennes mensuelles relevées pour les différentes campagnes entre février 2012 et mars 2013.

Les résultats détaillés des mesures de SO₂ montrent que 12 stations ont enregistré, à titre indicatif, des teneurs mensuels supérieures à la valeur limite annuelle pour la protection de la végétation et des écosystèmes entre Février 2012 et mars 2013 (Annexe 2). Il s'agit de PS 17, PS 18 et PS 03 à 12.

Parmi les stations n'ayant pas présenté de dépassement de la valeur limite annuelle pour la protection de la végétation, on notera :

- Les stations PS 13, 23, 15, 24, 2, 14, 21 qui ont présenté une teneur moyenne en SO₂ significativement supérieure aux stations témoins.
- Les stations PS 20, 25, 26, 22, 16, 29, 19, 01 qui ont présenté des teneurs moyennes en SO₂ comparable voir inférieures aux stations témoins (Annexe 3).

3.1.4 Résultat des mesures en NO2 de l'air

❖ Concentration moyenne en NO2 de l'air par station

Les mesures par échantillonnage passif permettent de connaître les valeurs moyennes des concentrations en NO2 de l'air relevées au niveau des 27 stations d'observation entre février et novembre 2012.

Les points d'échantillonnage ayant relevé les teneurs les plus élevées sont les points PS17 et PS18 ainsi que les points PS03 à PS13 (Figure). Ces points ont également présenté les teneurs les plus importantes en SO2. Il convient de noter que les concentrations moyennes annuelles mesurées sont faible et, à titre indicatif, largement inférieures à la valeur limite pour la protection de la végétation et des écosystèmes². Une moyenne maximale de 9.1 µg/m3 a été enregistrée pour l'échantillonneur PS 17.

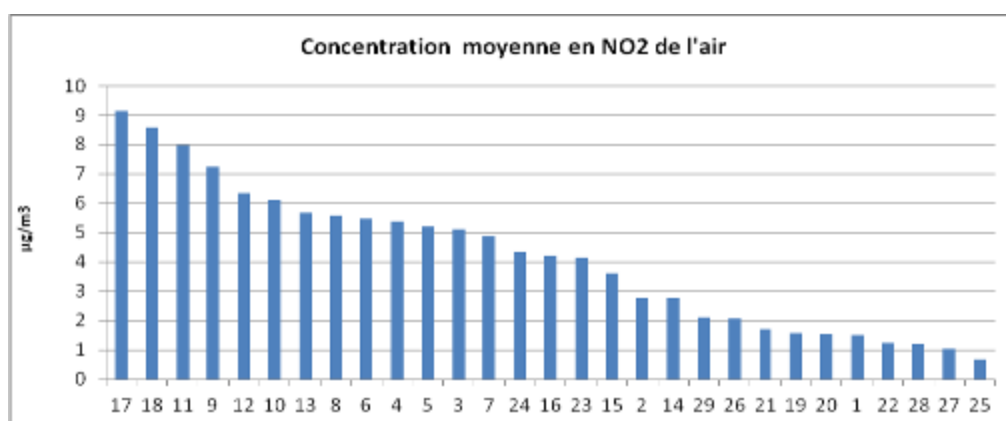


Figure 5 : Concentration moyenne en NO2 de l'air par station relevées entre février 2012 et mars 2013.

² 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 (NO2) : 30 µg/m3.

❖ *Profil des concentrations mensuelles en NO₂ de l'air pour les différentes campagnes*

Le profil des mesures de NO₂, ne révèle rien de remarquable. La figure 6 montre que les teneurs moyennes mensuelles en NO₂ de l'air ont peu varié entre février et novembre 2012.

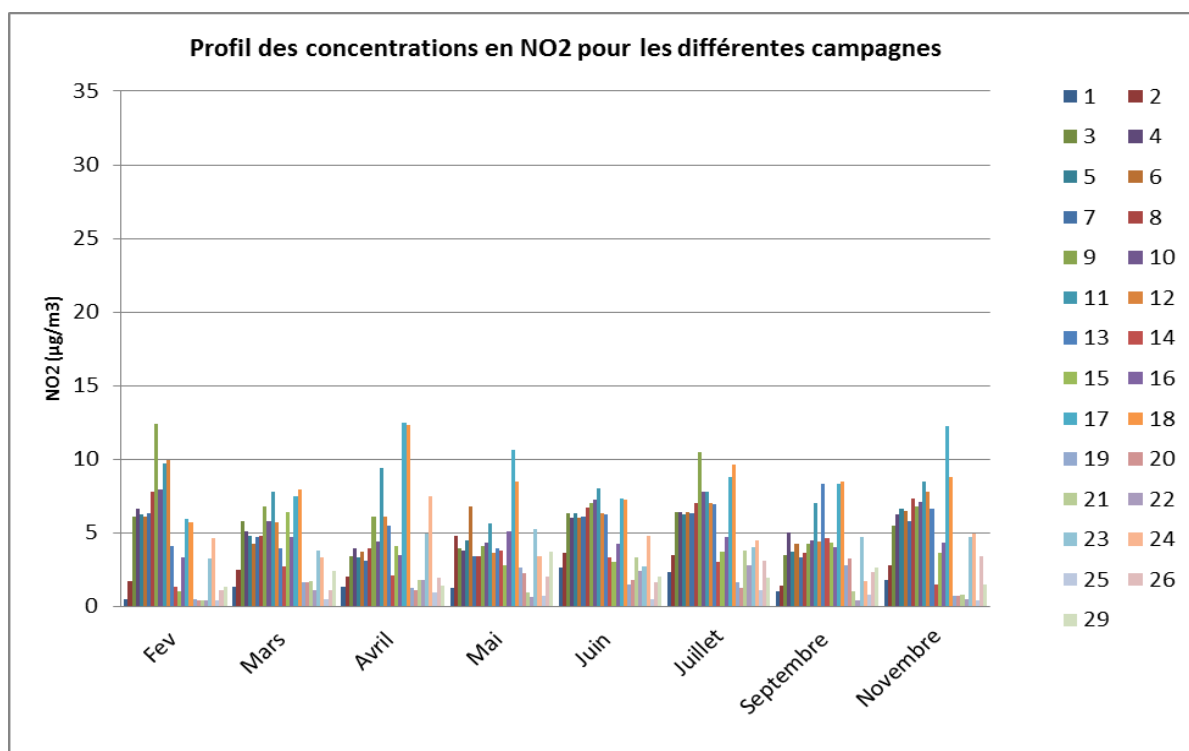


Figure 6 : Profil des concentrations moyennes mensuelles en NO₂ de l'air pour les différentes campagnes entre février et novembre 2012.

3.2 Activité de l'usine

❖ Conditions de marche durant la campagne

Depuis Février 2012, les conditions de fonctionnement des différentes unités présentent sur le site ont été variables et ponctuées de périodes d'arrêt (**Figure**).

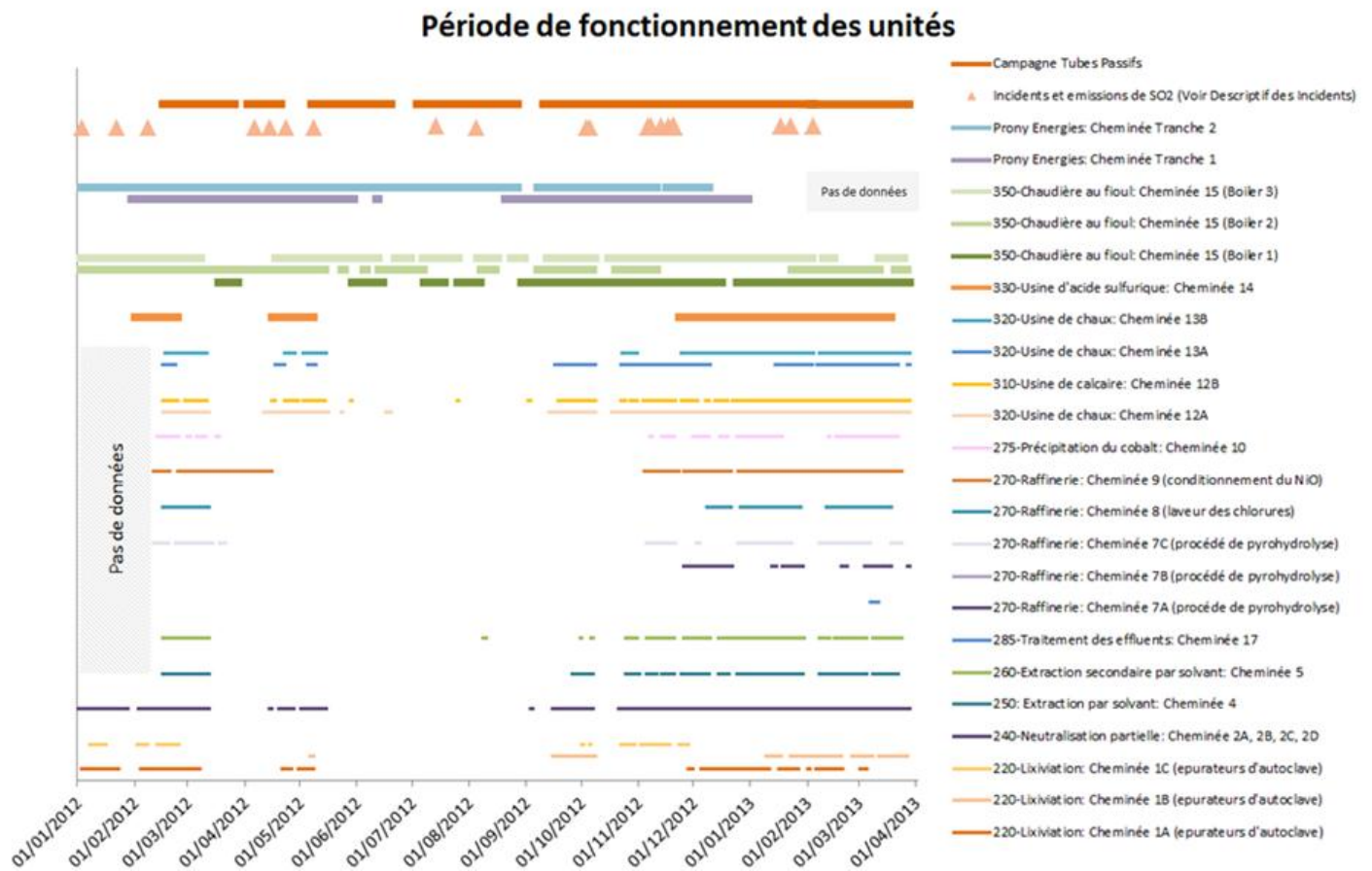


Figure 7 : Période de fonctionnement des différentes unités.

❖ Incidents recensés durant la campagne

L'année 2012 a été ponctuée de quelques événements susceptibles d'avoir un impact direct sur les concentrations de SO₂ présentes dans l'air ambiant (Figure 8).

Date	Descriptif incident et dégagement de SO ₂
22/01/2012	Fuite de gaz après le démarrage de l'usine d'acide sulfurique (Unité 330)
03/01/2012	Départ d'un feu de soufre au niveau d'une cuve (Unité 330)
08/02/2012	Dégagement de SO ₂ détecté dans les salles des soufflantes (Unité 330)
09/02/2012	Départ incendie au niveau de la zone de stockage de soufre (zone 545)
06/04/2012	Fuite de SO ₂ au niveau de l'unité de liquéfaction lors de la purge d'une conduite (unité 330)
14/04/2012	Départ de feu au niveau du stockage de soufre (unité 545)
23/04/2012	Fuites de SO ₂ /SO ₃ au niveau de l'unité 330
08/05/2012	Fuite de SO ₂ au niveau de l'unité 330
14/07/2012	Départ de feu de soufre à l'intérieur de la cuve TNK-104 (Unité 330).
04/08/2012	Léger dégagement de fumée sur zone de rejet de soufre au 545
03/10/2012	Départ de feu à la 330, déclenchement d'alarme SO ₂
05/10/2012	Emmanation de SO ₂ à la 330
11/11/2012	Départ de feu à la 330 dans la TNK-101 fusion/filtration . Déclenchement de l'alarme SO ₂
13/11/2012	Fuite mineure de SO ₂ sur SKID1 (unité 330)
19/11/2012	Départ de feu à l'intérieur du filtre - presse 101 (unité 330)
24/11/2012	Fuite de SO ₂ au niveau des sondes d'analyseur oxygène de la 330
27/11/2012	Emission de SO ₂ au niveau des four à chaux. (unité 310)
28/11/2012	Détection de SO ₂ par un détecteur de zone (zone 330).
24/01/2013	Départ de feu au niveau du stockage du gateau de soufre (zone 545).
24/01/2013	Dépassement du seuil de rejet au niveau de la cheminée de l'usine d'acide sulfurique, pic à 546 ppm (zone 330).
31/01/2013	Dépassement du seuil de rejet au niveau de la cheminée de la 330.
15/02/2013	Dégagement d'une fumée blanche au niveau de la cuve de fusion TNK-101 (zone 330).

Figure 8 : Date des incidents recensés entre janvier 2012 et mars 2013. Les incidents surlignés en vert se sont déroulés hors périodes d'exposition des échantillonneurs passifs et n'ont pas été enregistrés par les échantillonneurs passifs. La durée d'exposition des échantillonneurs a été ajustée au cours de l'année 2012 afin d'obtenir un taux de couverture temporel maximum.

❖ Activité du site durant la campagne

Les principales sources de dioxyde de soufre identifiées au sein des installations industrielles de Vale NC sont la centrale électrique, l'usine d'acide, les chaudières et la combustion accidentelle du soufre élémentaire au niveau de l'aire de stockage du soufre (Vale, 2011). Cette dernière source de SO₂ peut être classée comme une source d'émission de SO₂ non négligeable malgré son caractère irrégulier et sporadique. Les résultats de l'expertise réalisée en 2012 ont mis en évidence que ce type de combustion accidentelle pouvait émettre des concentrations élevées en SO₂ et supérieures à la valeur limite pour la protection des écosystèmes (Murray, 2012).

En 2012, le fonctionnement des différentes unités de l'usine a été perturbé par l'arrêt de l'unité de production d'acide sulfurique. L'évolution de la teneur moyenne en SO₂ de l'air montre que les teneurs les plus basses ont été enregistrées durant cette période d'arrêt entre mars et octobre 2012 avec un léger pic en avril correspondant probablement en partie à sa remise en fonctionnement (Figure 4).

L'usine d'acide ne peut toutefois expliquer à elle seule les fortes fluctuations de la teneur en SO₂ de l'air. Malgré cinq incidents relevés au niveau l'unité de production d'acide sulfurique en novembre 2012 et deux dépassements du seuil de rejet au niveau de la cheminée de cette unité en Janvier 2013, les teneurs enregistrées durant les campagnes d'échantillonnage passif de novembre et de janvier ne dépassent pas les fortes teneurs relevées en février 2012 et février 2013.

Il convient de noter que deux départs de feu au niveau du stock de soufre enregistrés en avril et en janvier ont également pu participer à l'augmentation des teneurs en SO₂ dans l'air. Le départ de feu enregistré au mois d'août n'a, quant à lui, pas été accompagné d'une augmentation des teneurs mensuelles en SO₂ témoignant probablement de l'efficacité des mesures correctives mises en place par Vale NC afin d'optimiser le système de gestion du stock de soufre.

Le profil des mesures de NO₂ ne révèle rien de remarquable (Figure).

3.3 Suivi mensuel des symptômes foliaires

3.3.1 Mise en évidence des stations d'observation avec symptômes

On considère qu'une « station avec symptômes » est une station ayant présenté au moins deux espèces avec des symptômes généralisés (Chlorose, nécrose ou déformation) sur l'ensemble de leurs individus au cours du suivi réalisé entre février 2012 et mars 2013. Le seuil de deux espèces a été pris en compte afin de limiter la prise en compte de stations qui présenteraient des symptômes non attribuables à une pollution atmosphérique.

Le suivi des symptômes foliaires a montré que 14 stations d'observations sur les 24 suivies ont présenté au moins deux espèces indicatrices avec des symptômes de chlorose, nécrose ou déformation généralisés. Les stations concernées sont les stations PS 15, 01, 17, 18, 23 ainsi que PS 03 à PS 13 hors PS 07 et PS 08. Toutes ces stations sont situées entre 200 et 2750 m à l'Ouest de l'usine à l'exception de la station PS 01 située à 1050 m au Sud de l'usine (Figure 9). La station impactée la plus éloignée, soit localisée à 2750 m, est située à l'WNW par rapport à la source de SO₂ alors que les stations impactées les plus éloignées situées au NNW et WSW sont respectivement localisées à une distance de 1000 m et de 300 m par rapport à la source de SO₂ atmosphérique.

Le pourcentage d'espèces suivies ayant présenté des symptômes par station varie entre 44 et 88 % pour ces stations (Tableau 7).

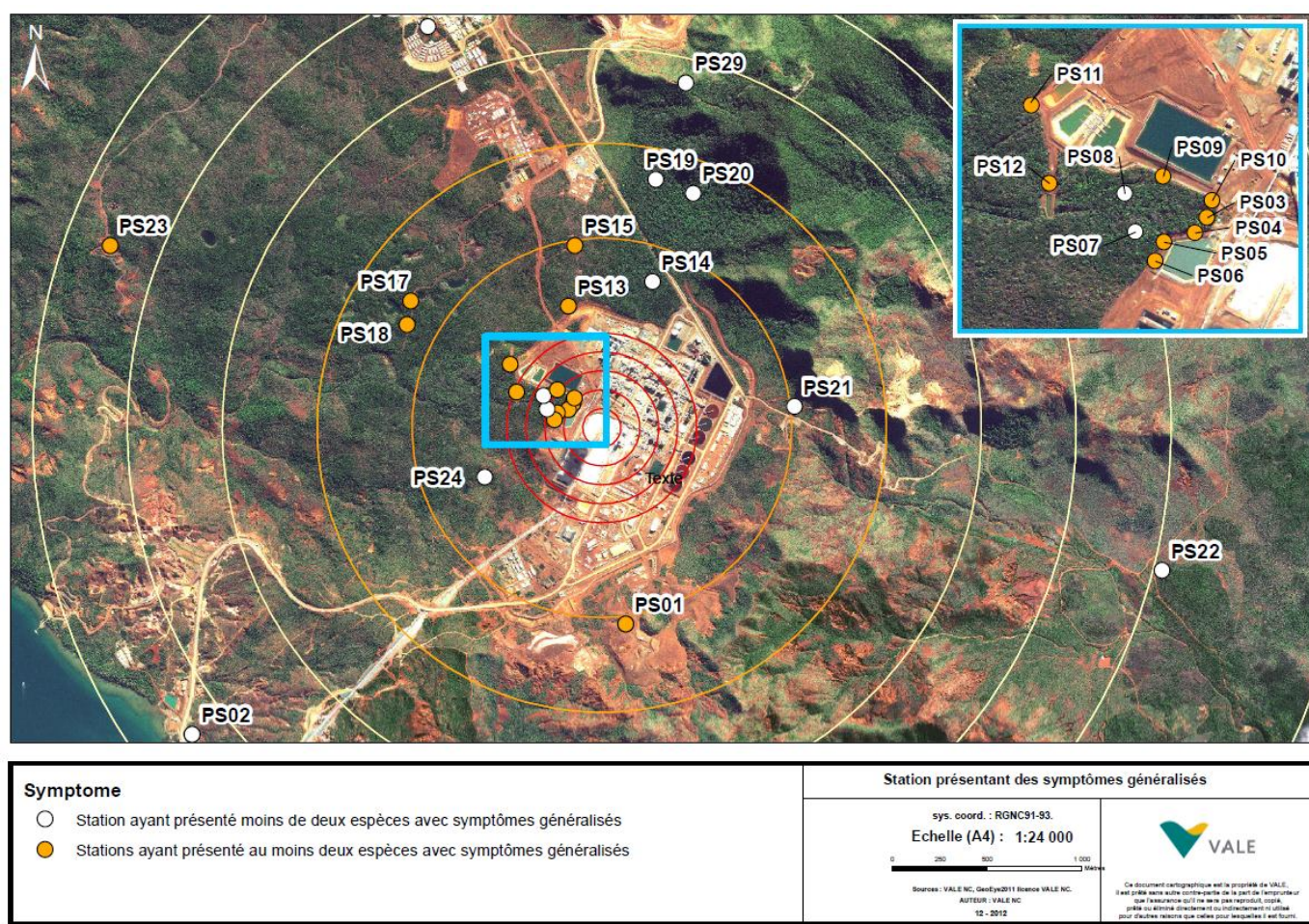


Figure 9 : Représentation spatiale des stations d'observation ayant présenté au moins deux espèces avec des symptômes généralisés entre mai 2012 et mars 2013.

Neuf espèces sur les onze espèces indicatrices suivies sur l'ensemble des stations ont présenté des symptômes. L'analyse par classe de station montre que le nombre d'espèces avec symptômes diminue avec la distance à la source de SO₂ atmosphérique (Tableau 7). Les suivis réalisés sur les stations « Proche », soit situés entre 200 et 800 m à la source d'émissions, ont mis en évidence que neuf espèces ont présenté des symptômes contre cinq espèces pour la station impactée la plus éloignée soit située à 2750 m.

Lomandra insularis, *Arillastrum gummiferum*, *Styphelia sp.* et *Codia sp.* ont présenté des symptômes sur toute des stations impactées suivies. *Montrouzieria sphaeroidea*, *Garcinia sp.* et *Tristaniopsis guillainii*, *Alphitonia neocaledonica* ont présenté des symptômes sur respectivement 67 et 63, 60 % des stations impactées suivies. Ces résultats suggèrent que ces espèces présentent une sensibilité plus importante au SO₂ atmosphérique (Tableau 7). *Guioa glauca* a quant à lui présenté des symptômes sur seulement 43 % des stations impactées suivies et n'a présenté aucun symptôme sur les stations suivies situées à moyenne et longue distance par rapport à la source de SO₂ atmosphérique suggérant ainsi que cette

espèce soit moins sensible au SO₂ atmosphérique. Seul *Machaerina deplanchei* et *Gymnostoma deplancheanum* n'ont pas présenté de symptômes. Il convient de souligner que des difficultés ont été rencontrées concernant l'évaluation des symptômes foliaires sur ces espèces. Aucun cas de mortalité n'a été constaté sur les plantes suivies durant la période de surveillance entre Février 2012 à Mars 2013.

Distance à la source	Station	Orientation par rapport au source	Espèces suivies											Pourcentage d'espèces suivies ayant présenté des symptômes par station (%)	Nombre d'espèces avec symptômes par catégorie de station
			<i>Arillastrum gummiferum</i>	<i>Garcinia spp</i>	<i>Gymnostoma deplancheanum</i>	<i>Alphitonia neocaledonica</i>	<i>Codia spatulata</i>	<i>Tristanlopsis guillainii</i>	<i>Guioa glauca</i>	<i>Lomandra insularis</i>	<i>Montrouzieria sphaeroidea</i>	<i>Styphelia spp</i>	<i>Machaerina deplanchei</i>		
PROCHE	3	W				X		X		X		X		57	9
	4	W				X	X			X		X		67	
	5	WSW		X			X		X	X		X		71	
	6	WSW		X		X	X			X		X		71	
	8	W												0	
	9	W		X			X			X		X		67	
	10	W					X			X	X	X		44	
	11	WNW		X		X	X		X	X		X		75	
	13	NNW						X		X	X	X		80	
	14	NNE												0	
	24	WSW												0	
	12	W	X				X		X	X		X		56	
MOYENNE	1	S				X	X			X		X		57	7
	15	NNW					X			X		X		50	
	17	NW		X			X	X		X		X		71	
	18	NW		X			X	X		X	X	X		75	
	21	E												0	
	27	NNW												0	
LOIN	2	SSE												0	5
	16	NNW												0	
	22	ESE												0	
	23	WNW				X		X		X	X	X		71	
	26	N												0	
	25	NNW												0	
Pourcentage de stations impactées suivies avec symptômes sur l'espèce considérée (%)			100	67	0	60	100	63	43	100	67	100	0		

Tableau 7 : Résultats du suivi des symptômes foliaires. Les cases vertes correspondent aux stations où l'espèce est suivie. Les case cochées correspondent aux stations l'espèce a présenté des symptômes. Les stations orange correspondent aux stations impactées.

3.3.2 Expertise des symptômes sur le terrain

Des difficultés ont été rencontrées concernant l'appréciation des symptômes sur certaines espèces du guide choisies pour leur large répartition. L'observation visuelle des symptômes foliaires par espèce montrent plusieurs tendances :

- Les symptômes de chlorose et de nécrose des feuilles d'*Arillastrum gummiferum* et de *Guioa glauca* sont discrets et parfois difficile à distinguer des symptômes liés à des phénomènes naturels de vieillissement ou de stress hydrique (Photographie 1). Des difficultés majeures ont été rencontrées concernant l'appréciation des symptômes de chlorose et de nécrose des cladodes de *Gymnostoma deplancheanum* (Photographie 2) et des feuilles de *Machaerina deplanchei*.



Photographie 1 : Feuilles d'*Arillastrum gummiferum* présentant une chlorose interveinale diffuse difficilement distinguable et une nécrose des bordures du limbe. **Photographie 2:** Cladodes de *Gymnostoma* présentant des symptômes de chlorose et nécrose apicale.

- Les symptômes de nécrose et de chlorose observés sur *Styphelia sp.*, *Garcinia sp.* et sur *Alphitonia neocaledonica*, sont bien remarquables et se distinguent facilement de symptômes qui seraient liés à des phénomènes d'origine naturelle (Photographie 3, Photographie 4, Photographie 5, Photographie 6).



Photographie 3: Feuilles de *Styphelia* présentant une nécrose apicale associée à une légère chlorose.



Photographie 4 : Symptômes de chlorose et de nécrose observés sur *Alphitonia neocaledonica*. Photographie 5 : Nécrose apicale observée sur des feuilles de *Garcinia*.

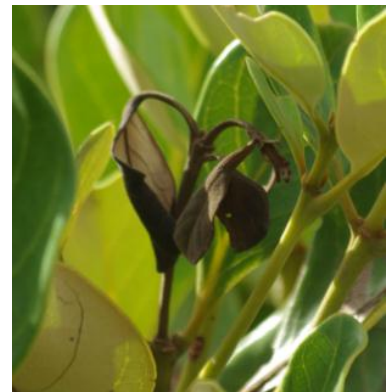
- Les chloroses relevées sur *Codia spatulata* et *Tristaniaopsis guillainii* sont particulièrement bien marquées et représentent un bon indicateur d'une exposition aigue au SO₂ atmosphérique (Photographie 7, Photographie 8).



Photographie 6: Chlorose marquée des bordures du limbe des feuilles de *Codia*. Photographie 7 : Chlorose des bordures du limbe des feuilles de *Tristaniaopsis guillainii*

L'observation visuelle des nouvelles pousses par espèce montre plusieurs tendances :

- *Gymnostoma deplancheanum* et *Machaerina deplanchei* produisent un nouveau feuillage très discret ne permettant pas d'évaluer les symptômes avec précision.
- *Tristaniopsis guillainii*, *Arillastrum gummiferum*, *Montrouzieria sphaeroidea* ont produit des jeunes feuilles pendant la période de surveillance. Cependant les symptômes de nécrose ou de chlorose observés sur ces nouvelles feuilles sont parfois difficilement distinguables des symptômes liés à des facteurs naturels (ravageurs, maladie, carences, stress).
- *Styphelia*, *Garcinia*, *Codia*, *Guioa glauca* et *Alphitonia neocaledonica* produisent de nouvelles feuilles bien distinctes qui permettent clairement d'apprécier l'apparition de nouveaux symptômes.
- Les jeunes feuilles semblent présenter une sensibilité plus marquée au SO₂ atmosphérique. Des symptômes de nécroses sont apparus occasionnellement sur les jeunes feuilles des espèces suivies alors que les vieilles feuilles ne présentaient parfois aucun symptôme (Photographie 9, Photographie 10). Les symptômes de nécrose observés sur les jeunes feuilles de *Garcinia* et de *Codia* ont parfois aboutit à une nécrose complète des jeunes feuilles (Photographie 11).



Photographie 8 : Nécrose quasi complète de jeunes feuilles de *Garcinia* et vieilles feuilles indemnes de symptômes. Photographie 9 : Nécrose des bordures du limbe de jeunes feuilles de *Codia*. Photographie 10 : Nécrose complète de jeunes feuilles de *Codia* alors que les vieilles feuilles ne présentent aucun symptôme.

- Les espèces suivies présentant des symptômes sur leurs vieilles feuilles ont produit ponctuellement de nouvelles feuilles saines indemnes de symptômes (Photographie 12).



Photographie 11 : Jeunes feuilles saines et vieilles feuilles présentant des symptômes de nécrose sur *Tristaniopsis*.

3.4 Résultat des analyses chimiques foliaires trimestrielles

3.4.1 Concentration en soufre foliaire

❖ Concentration moyenne en soufre foliaire par station

Les résultats des analyses chimiques foliaires réalisées en Mai, aout et novembre montrent que cinq stations, PS 08, 04, 05, 06, 10 ont présenté des concentrations moyennes en soufre foliaire supérieures à 2500 mg/kg. La station 8 a présenté une concentration moyenne beaucoup plus élevée que le reste des stations avec une teneur particulièrement élevée pour *Pagianta cerifera* (Apocynaceae) (Figure 10). Des teneurs élevées ont également été enregistrées pour cette espèce lors du suivi de l'état de santé de la flore sur Forêt Nord depuis 2007 (Vale NC, 2013). Ce suivi ayant débuté avant la mise en service de l'usine suggère que cette espèce possède des teneurs naturellement élevées en soufre.

La représentation spatiale des concentrations moyennes en soufre foliaire montre que ces cinq stations sont situées entre 200 et 350 m en contrebas de l'usine (Figure 11). Le détail des résultats est présenté en annexe 6.

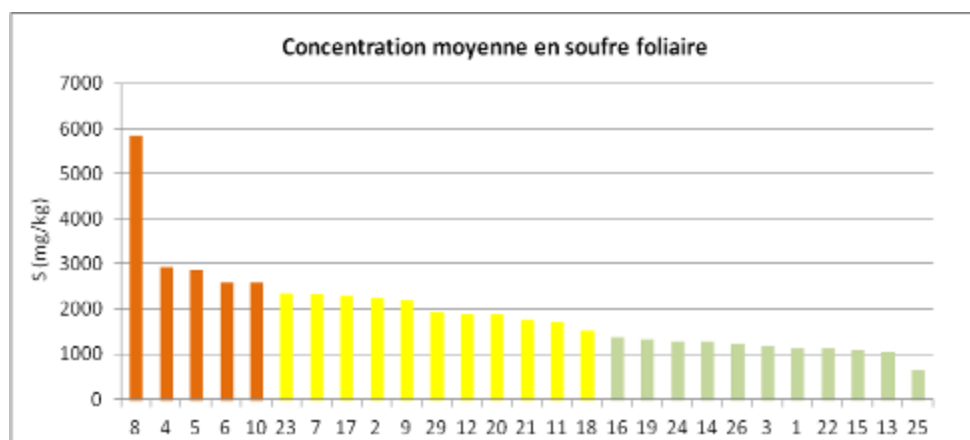


Figure 10: Concentration moyenne en soufre foliaire par station. Moyenne réalisée sur les trois campagnes d'échantillonnage (mai, aout et novembre)

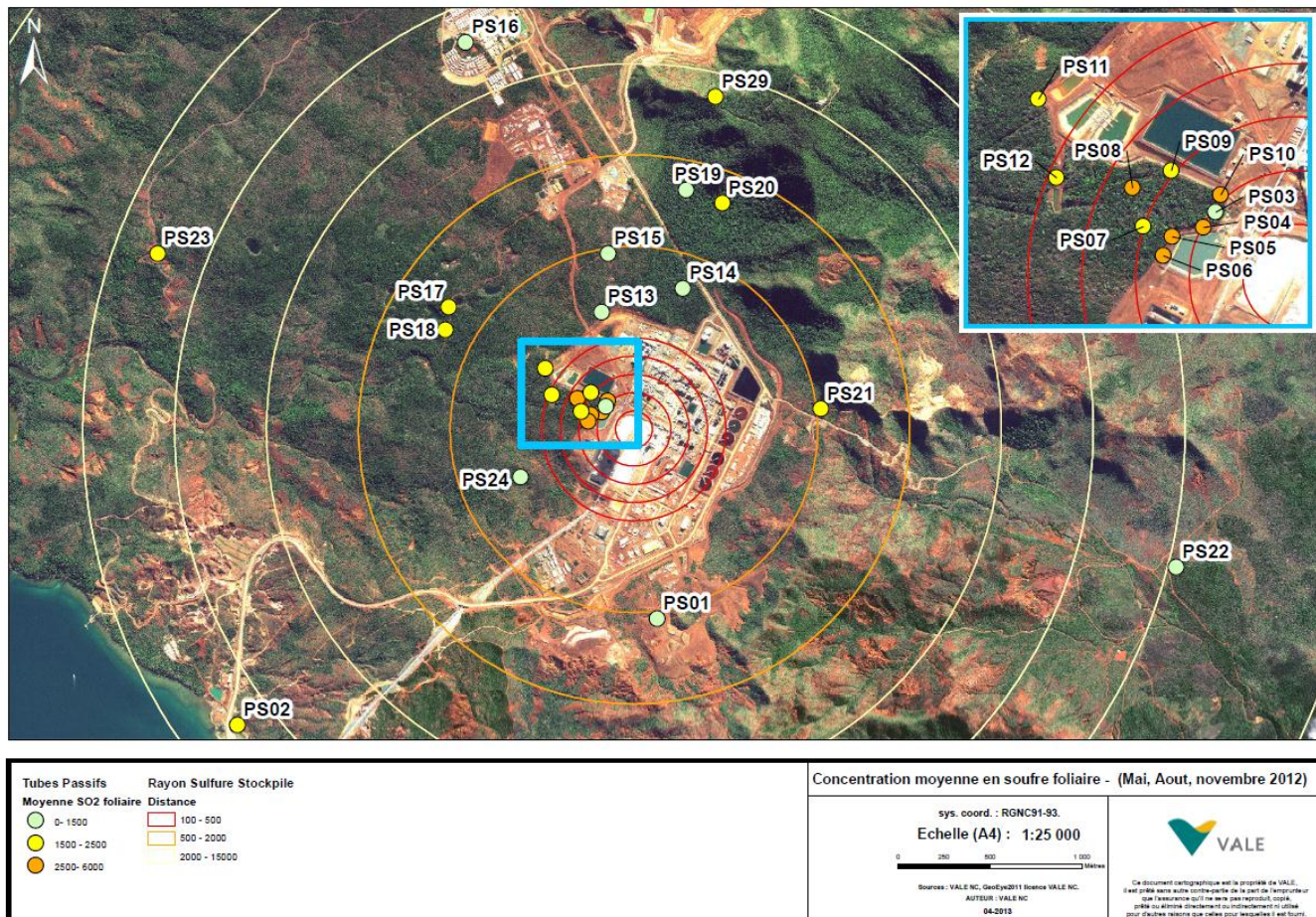


Figure 11: Représentation spatiale des concentrations moyennes en soufre foliaire par station. Moyenne réalisée sur les trois campagnes d'échantillonnage : mai, aout, novembre.

❖ Evolution des concentrations moyennes en soufre foliaire

Aucune différence significative n'a été mise en évidence entre les concentrations moyennes en soufre foliaire mesurées en mai, en aout et en novembre (Figure 12). La valeur maximale a été mesurée en novembre avec 1939 mg/kg.

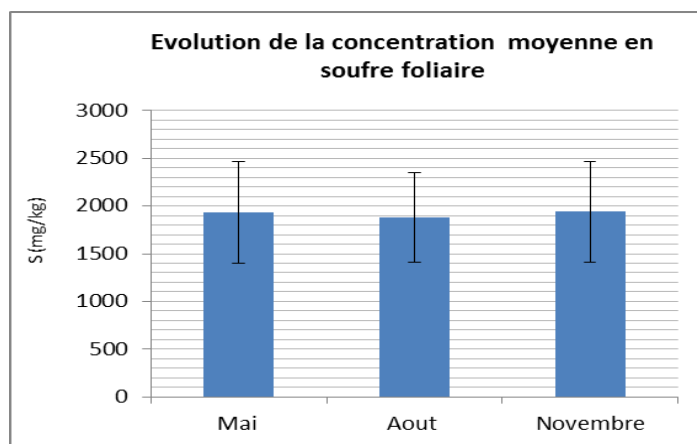


Figure 12 : Comparaison des concentrations moyennes en soufre foliaire mesurée en mai, aout et novembre.

3.4.2 Concentration en azote foliaire

❖ *Concentration moyenne en azote foliaire par station*

Les résultats des analyses chimiques foliaires ont montré que les cinq stations ayant présenté les concentrations en azote les plus élevées, soit supérieures à 1 % en azote total, sont toutes des stations forestières (Figure 13). Les stations concernées sont PS 08, 20, 14, 07 et 09.

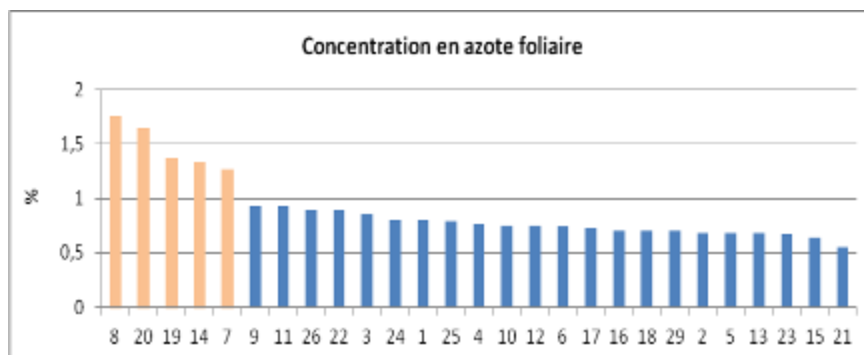


Figure 13 : Concentration moyenne en azote foliaire par station. Moyenne réalisée pour les trois campagnes d'échantillonnage : mai, aout, novembre

❖ *Evolution de la concentration moyenne en azote foliaire*

Aucune différence significative n'a été mise en évidence entre les teneurs en azote total mesurées en mai, aout et novembre (Figure 14). La teneur moyenne minimale a été mesurée en aout avec 0.88 % et la teneur maximale a été mesurée en mai avec 0.90 % d'azote.

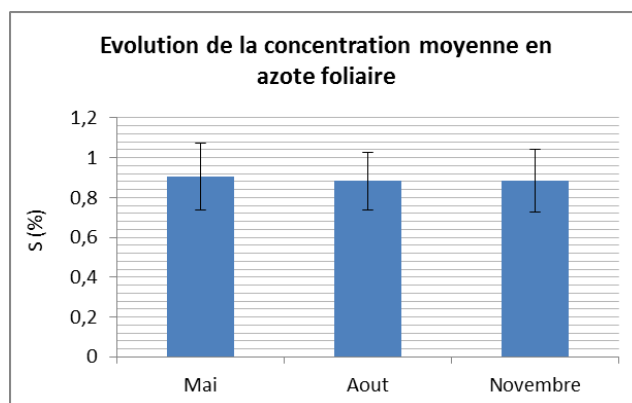


Figure 14 : Comparaison des teneurs moyennes en azote foliaire mesurées en mai, aout et novembre.

4. Mise en relation des résultats pour l'azote

4.1 Concentration en NO₂ de l'air et symptômes foliaires

La concentration moyenne en NO₂ de l'air relevée au niveau des 14 stations avec symptômes apparaît significativement plus élevée qu'au niveau des stations sans symptômes (Figure 15).

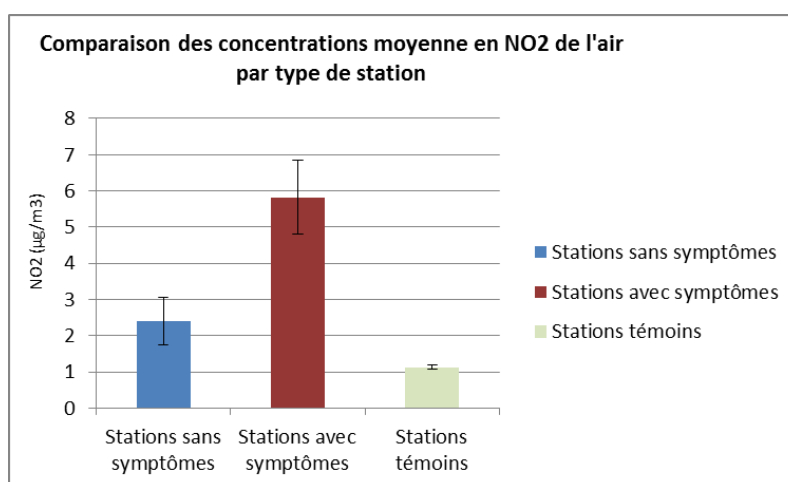


Figure 15 : Comparaison des concentrations moyennes en NO₂ de l'air mesurées par type de station : Stations avec symptômes, sans symptômes et stations témoins.

4.2 Relation entre les symptômes foliaires et l'azote foliaire

Aucune différence significative n'a été mise en évidence entre le pourcentage moyen d'azote foliaire des sites avec symptômes et la teneur des sites sans symptômes (Figure 16).

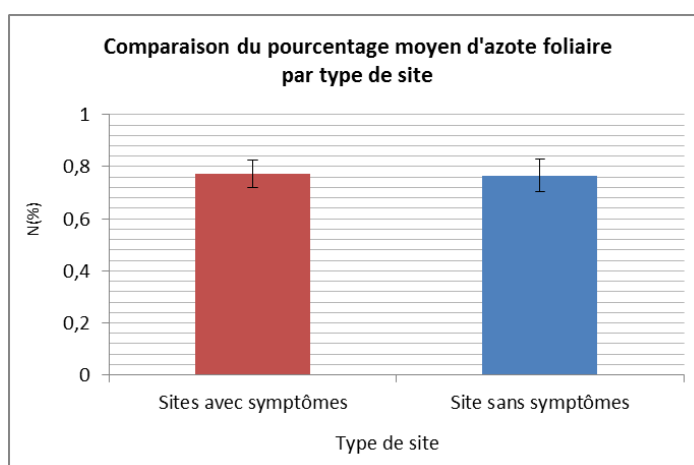


Figure 5: Comparaison du pourcentage moyen d'azote foliaire mesuré par type de station : Station avec symptômes et sans symptômes. Moyenne réalisée sur les mois de mai, aout et novembre.

5 Mise en relation des résultats pour le soufre

5.1 Concentration en SO₂ de l'air et symptômes foliaires

La concentration moyenne en SO₂ de l'air relevée au niveau des 14 stations avec symptômes apparaît significativement plus élevée qu'au niveau des stations sans symptôme (Figure).

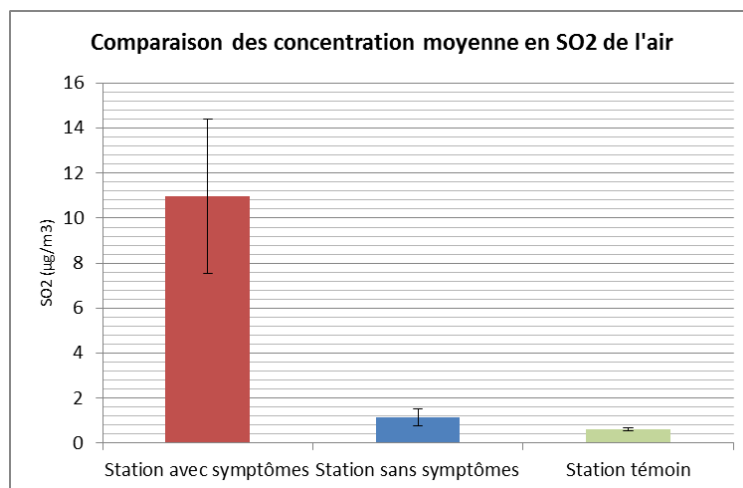


Figure 17 : Comparaison des concentrations moyennes en SO₂ de l'air par type de station : Stations avec et sans symptômes et stations témoins.

Douze des quatorze stations avec symptômes font parties des stations qui ont présenté les concentrations moyennes en SO₂ de l'air les plus élevées (Figure 18). Les stations concernées sont les stations PS 17, 18, 23 ainsi que PS 03 à PS 13 hors 07 et 08. Seule la station avec symptômes PS 01 a présenté une concentration moyenne comparable aux stations témoins.

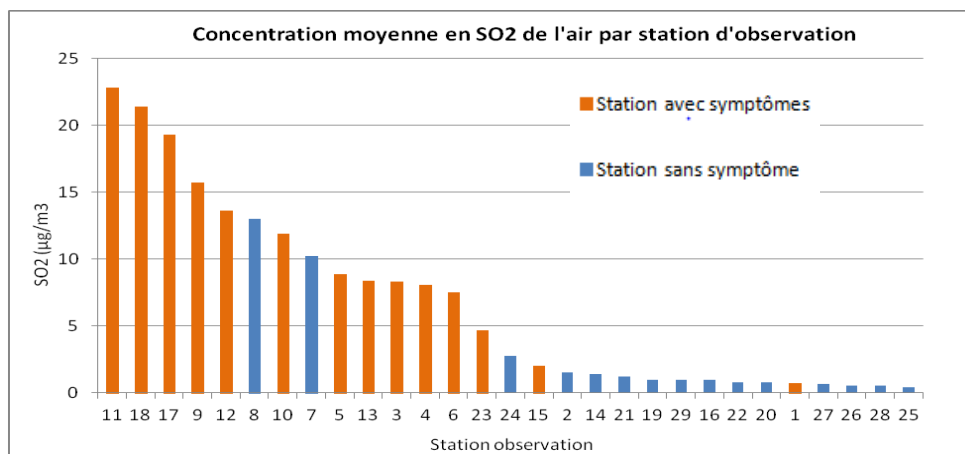


Figure 18 : Concentration moyenne en SO₂ de l'air relevée par station d'observation

5.2 Relation entre les symptômes foliaires et le soufre foliaire

L'analyse des concentrations foliaires en soufre des plantes a permis de mettre en évidence une tendance, avec une teneur en soufre foliaire plus élevée pour les sites avec symptômes (Figure 19). Cette différence n'est toutefois pas significative entre les stations avec symptômes et les stations sans symptômes.

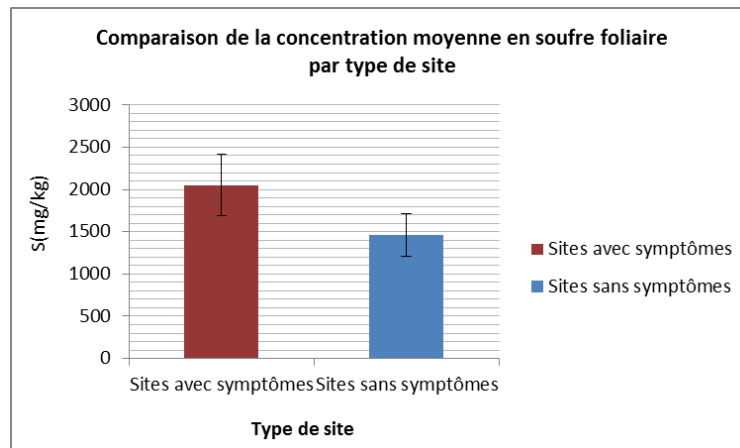


Figure 19 : Comparaison de la concentration moyenne en soufre foliaire mesurée par type de station : Stations avec et sans symptômes. Cinq espèces communes à ces deux sites ont été sélectionnées pour la comparaison.

Aucune différence significative de la teneur moyenne en soufre foliaire n'a été mise en évidence pour les stations sans symptômes entre les mois de mai, août et novembre. On note une variation de la teneur en soufre foliaire pour les stations avec symptômes avec une teneur moyenne significativement plus élevée en mai et en novembre. Les stations avec symptômes ont présenté une teneur moyenne en soufre foliaire significativement plus élevée que les stations sans symptômes au mois de mai (Figure 20). On note également une tendance avec une teneur en soufre foliaire plus élevée pour les sites avec symptômes au mois d'août et de novembre.

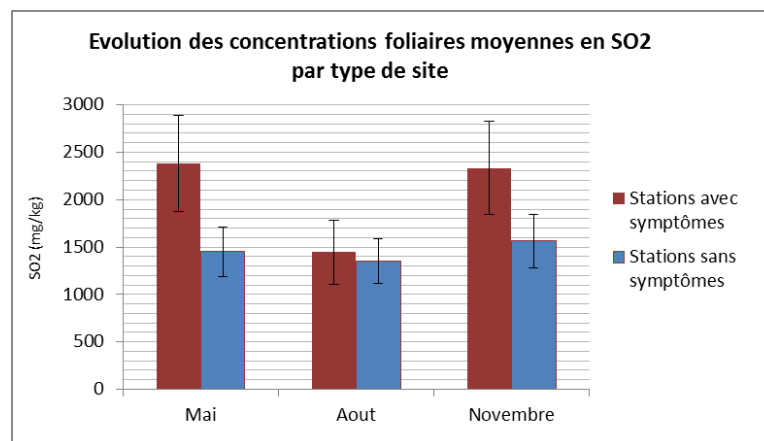


Figure 20 : Comparaison de la concentration moyenne en soufre foliaire mesurée par type de station (stations avec et sans symptôme) au mois de mai, aout et novembre.

L'analyse par espèce montre que les espèces *Alphitonia neocaledonica*, *Codia spatulata*, *Garcinia spp.* et *Styphelia spp.* ont présenté des teneurs en SO₂ significativement plus élevées pour les sites avec symptômes que pour les sites sans symptômes (Figure 21).

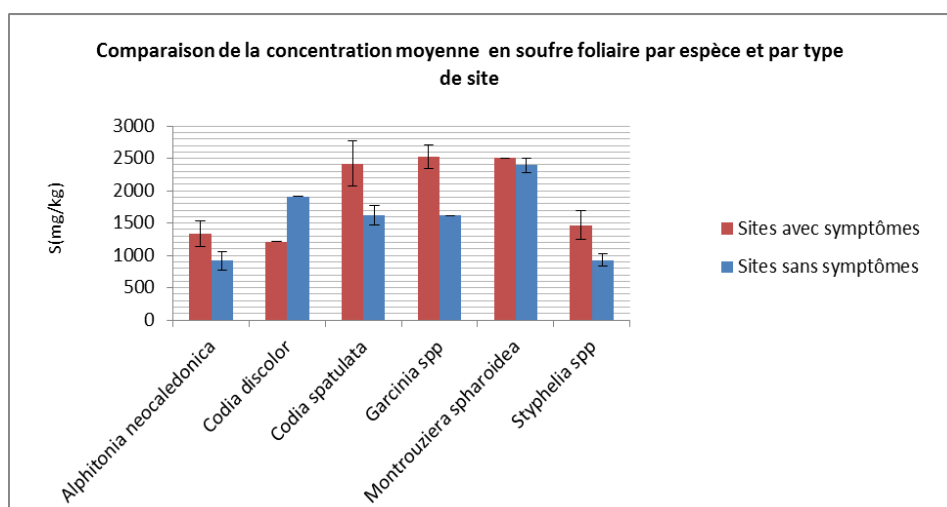


Figure 21 : Comparaison de la concentration moyenne en soufre foliaire mesurée par espèce et par type de station : Stations avec et sans symptôme.

6. Conclusion :

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

L'ensemble des stations avec symptômes situées à l'ouest de l'usine sous l'influence des vents dominants ont présenté une teneur moyenne en SO₂ et NO₂ de l'air significativement plus élevée que les stations sans symptômes soulignant ainsi une exposition plus importante aux émissions atmosphériques.

Les stations avec symptômes ont été soumises à des fluctuations importantes de la teneur mensuelle en SO₂ de l'air. Les teneurs mensuelles en NO₂ relevées au niveau des stations avec symptômes sont, quant à elles, apparues très faibles et ont peu varié entre février 2012 et mars 2013 suggérant ainsi que l'exposition au SO₂ atmosphérique est à l'origine de l'apparition des symptômes observés sur la végétation et que le NO₂ n'est pas le facteur premier à l'origine du dépérissement.

Les résultats des analyses chimiques foliaires ont mis en évidence plusieurs tendances avec notamment une teneur en soufre foliaire plus élevée pour les stations avec symptômes que pour les stations sans symptômes. Aucune différence significative n'a été mise en évidence entre la teneur moyenne en azote foliaire des stations avec symptômes et celle des stations sans symptômes.

Les résultats issus du suivi des symptômes foliaires ont mis en évidence que neuf espèces indicatrices sur les onze suivies ont présenté des symptômes et que le nombre d'espèces indicatrices avec symptômes diminue avec la distance à la source de SO₂ atmosphérique. Aucun cas de mortalité n'a été relevé durant la période de surveillance. *Lomandra insularis*, *Arillastrum gummiferum*, *Codia* et *Styphelia* semblent présenter une sensibilité plus importante au SO₂ atmosphérique avec des symptômes bien remarquables pour *Codia* et *Styphelia*. Ces dernières ont présenté des teneurs en soufre foliaire sur les stations avec symptômes supérieures aux teneurs relevées sur les stations sans symptômes. Ces résultats confirment que les symptômes relevés sur les espèces indicatrices sont liés à une exposition aigue au SO₂ atmosphérique.

L'ensemble de ces résultats ont permis de mettre en évidence une zone d'impact se situant à une distance comprise entre 200 m et 2750 m à l'ouest de la zone industrielle de l'usine avec une prépondérance d'espèces indicatrices touchées entre 200 et 800 m, secteur correspondant à la zone dépérissement des chêne gommés identifiée en 2011. Un autre secteur, situé au sud à 1050 m par rapport à la source de SO₂ est perceptible, notamment concernant les individus présentant des symptômes.

Il convient de rester prudent quant à l'interprétation des résultats de cette étude. Plusieurs limites ont été identifiées dans le protocole actuel et le paragraphe suivant

présente ses limites ainsi que les modifications et compléments qui seront apportés pour y remédier.

Par ailleurs, Vale NC prévoit de développer une approche globale complémentaire qui permettra de caractériser l'évolution spatio-temporelle du dépérissement. A ce titre Vale NC a mandaté Bluecham pour la réalisation d'un suivi opérationnel de l'évolution de la végétation par télédétection. Cette étude intègre également un suivi de massif forestier d'intérêt prioritaire (Annexe 9). En complément, une étude symptomologique des effets du SO₂ par fumigation sur des espèces endémiques sera initiée par Vale NC et permettra de caractériser leurs seuils de tolérance ou de toxicité ainsi que les durées d'exposition générant des symptômes.

7. Limites et perspective d'amélioration du protocole

Ce protocole de suivi des symptômes foliaires, vise uniquement à décrire de manière rapide et qualitative, l'évolution des symptômes foliaires liée à des effets directs des émanations industrielles de SO₂. Cependant plusieurs limites ont été mises en évidence et les mesures proposées pour y remédier sont les suivantes :

Une note qualitative de l'état de santé globale des stations

L'approche utilisée est centrée sur l'observation de symptômes au niveau de quelques espèces indicatrices sélectionnées par station mais ne prend pas en compte l'état de santé global de la formation végétale. Afin de hiérarchiser les stations selon l'importance du dépérissement et préciser l'état de santé globale des différentes formations végétales suivies, une note qualitative globale témoignant de l'importance/sévérité du dépérissement pourra être affectée mensuellement aux différentes stations.

Standardiser le nombre d'espèces suivies par station

Le nombre d'espèces suivies pour l'observation visuelle des symptômes varie entre 4 et 9 espèces par station d'observation. Un nombre fixe d'espèces suivies par station doit être établi en se concentrant sur les espèces présentant des symptômes évidents en cas d'exposition afin de réduire le biais lié aux relevés de symptômes qui seraient liés à des facteurs d'origine naturelle. Cela permettra d'obtenir des données comparables pour l'évaluation du dépérissement au niveau des différentes stations et ainsi d'éviter de surestimer ou sous-estimer l'importance du dépérissement.

A ce titre, le nombre d'espèces suivies par station sera réduit à trois espèces indicatrices. Du fait des difficultés rencontrées pour l'évaluation des symptômes foliaires de *Gymnostoma deplancheanum*, *Machaerina deplanchei* et *Guioa glauca*, l'évaluation mensuelle des symptômes ne sera plus réalisée pour ces trois espèces.

Optimiser l'évaluation des symptômes pour une même espèce

L'évaluation des symptômes pour une même espèce ne se base pas sur un nombre d'individus fixe et balisés par station. Il conviendra de déterminer un nombre d'individus à suivre par espèce et par station. Ces individus seront balisés afin de faciliter l'évaluation de l'étendu des symptômes sur une même espèce (Symptômes présent sur un individu, sur plusieurs individus ou sur l'ensemble des individus suivis).

Une réduction du nombre de stations suivies

Afin d'améliorer le protocole de surveillance symptomologique, il est proposé d'établir deux protocoles complémentaires au protocole existant :

- Un protocole adapté au suivi des stations forestières
- Un protocole de suivi complémentaire pour les stations impactées afin de caractériser l'évolution des symptômes du dépérissement détectés sur ces stations

La mise en œuvre de deux protocoles de suivi complémentaire nécessite de réduire le nombre de stations d'observation suivies afin de continuer à pouvoir assurer une surveillance optimale sur trois jours mensuellement. Les stations qui pourraient être supprimées sans engendrer de pertes d'informations sont les suivantes :

- PS 03
- PS 04
- PS 06
- PS 17
- PS 16
- PS 22
- PS 19

Un protocole de suivi adapté aux stations forestières

Deux stations d'observation impliquent un suivi symptomologique de formations forestières. Les techniques d'observation visuelles des symptômes restent limitées pour les milieux forestiers, la canopée pouvant dépasser 15 m. Par conséquent, seule une espèce est suivie pour ces stations entraînant une sous-évaluation de l'impact potentiel relevé au niveau de ces stations. Des échantillons foliaires sont prélevés sur deux espèces communes de ces stations forestières afin de mettre en évidence un lien entre la concentration chimique foliaire et la teneur en polluants atmosphériques dans l'air. Une réflexion est en cours afin d'élaborer un protocole adapté au suivi des stations forestières.

Les investigations terrain initiées en 2011 dans la zone de dépérissement des chênes gommés ont montré que les premiers signes du dépérissement de la strate forestière supérieure due à la pollution atmosphérique seraient une abscission des feuilles causant une défoliation partielle des espèces sensibles et augmentant ainsi l'intensité de la lumière dans la forêt. Dès lors, la mesure de l'intensité lumineuse au sein des formations forestières pourrait être prise en compte dans le suivi afin de prévenir d'un changement écologique de manière simple et précoce. En complément, un suivi

des symptômes foliaires pourrait être mis en œuvre sur les espèces du sous-bois. Les stations sélectionnées pour ce suivi des milieux forestier sont les stations PS 08, 14 et 20. Une nouvelle station d'observation sera rajoutée dans la zone de dépérissement des chênes gommés afin de mieux caractériser évaluer l'évolution du dépérissement au niveau de cette formation forestière.

Vale NC a mandaté Bluecham pour la réalisation d'un suivi de massifs forestiers d'intérêt prioritaire par télédétection (Annexe 9). Cette étude apportera des informations complémentaires quant à l'évolution de l'activité photosynthétique, du stress hydrique et de la structure de la canopée.

Deux méthodes peuvent être envisagées pour la mesure de l'intensité lumineuse sous la canopée et sont présentées dans le tableau 8 :

	Descriptif	Avantage	Contrainte	Matériel
Photographie hémisphérique	Estimation du pourcentage d'ouverture de la canopée > Calcul des paramètres de structure de la canopée et des indices de radiations solaires Estimation du rayonnement solaire filtrant au-dessous de la canopée	> Méthode rapide et adaptée au forêt (Welles et al., 1996 ; Soudania et al., 2001)	> Méthode indirecte ne permettant pas de détecter précocement l'apparition de symptômes foliaires > Utilisation limitée par l'intensité lumineuse : Utilisation par temps couvert afin d'éviter les biais liés aux taches ou rayons lumineux dus au soleil et aux réflexions provoquées par le feuillage > Durée minimum requise pour la prise en main du logiciel d'exploitation	> Appareil photographique digitale ou numérique > Un système de nivellement avec trépied > Une lentille type fish eye > Un Logiciel d'exploitation (Gap Light Analyser, Hemiview...)
Enregistreurs miniatures autonomes de luminosité de type HOBO®.	Mesure la luminosité au dessous de la canopée	> Méthode peu contraignante : Installation possible des capteurs en forêt pour une durée d'un an > Taille réduite > Programmation possible de la date et de l'heure de démarrage, l'intervalle de mesure (Alignier A., 2010) > Faible coût	> Etalonnage et correction individualisée nécessaire (Alignier A., 2010)	> Mini capteur U-12012 > Tube PVC > Piquet > Un logiciel d'exploitation PC > Navette de transport U-Shuttle > Câble de liaison USB

Tableau 8 : Comparaison de deux méthodes pour la mesure de la luminosité sous la canopée.

Un protocole de suivi complémentaire pour les stations présentant des symptômes

Le protocole actuel ne permet pas de détecter le niveau de dépérissement des différentes espèces au niveau d'une station d'observation. Une note de 2 est affectée aux espèces présentant des symptômes généralisés à l'ensemble de leurs individus (annexe 8). Cette note ne permet donc pas d'évaluer le degré de sévérité d'un symptôme ni de suivre l'évolution d'un symptôme pour une même espèce (ex : Evolution d'une chlorose légère en chlorose sévère).

Un protocole complémentaire sera mis en œuvre pour six des stations ayant présenté des symptômes entre février 2012 et mars 2013 afin de mieux caractériser l'évolution du dépérissement au niveau de chacune de ces stations.

Ce protocole consistera à suivre le degré de sévérité des symptômes chez une espèce indicatrice dominante ou co-dominante par station tous les trois mois.

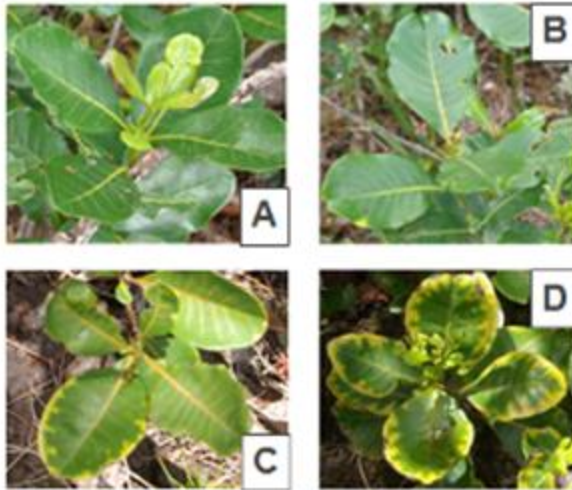
Deux transects de 20 m seront mis en place par station avec un transect en lisière et un transect à l'intérieur de la formation végétale. Six stations ont été sélectionnées pour ce protocole complémentaire : Trois stations, PS 05, 11 et 12 ont été sélectionnées en lisière de la zone de dépérissement des chênes gommés, une station PS 18 au niveau du groupe 2, ainsi que PS 13 et 23. 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 discolor</i>	<i>Codia discolor</i>
23	<i>Tristaniopsis guillainii</i>	x

Le degré de sévérité des symptômes sera relevé sur quinze individus identifiés par transect. Cinq classes de degré de sévérité des symptômes seront prises en compte pour chaque espèce. Cinq individus présentant les différentes classes de symptômes seront photographiés par transect. Les mêmes individus seront photographiés tous les trois mois. Les classes de symptômes sont présentées ci-dessous :

Degrés de sévérité des symptômes	
A	Rien
B	Léger
C	Sévère
D	Très sévère
E	Mort

Codia spatulata



Tristaniopsis guillainii



Styphelia pancheri



RIFN



LEGER



SEVERE



TRES SEVERE

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.
- 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,N)

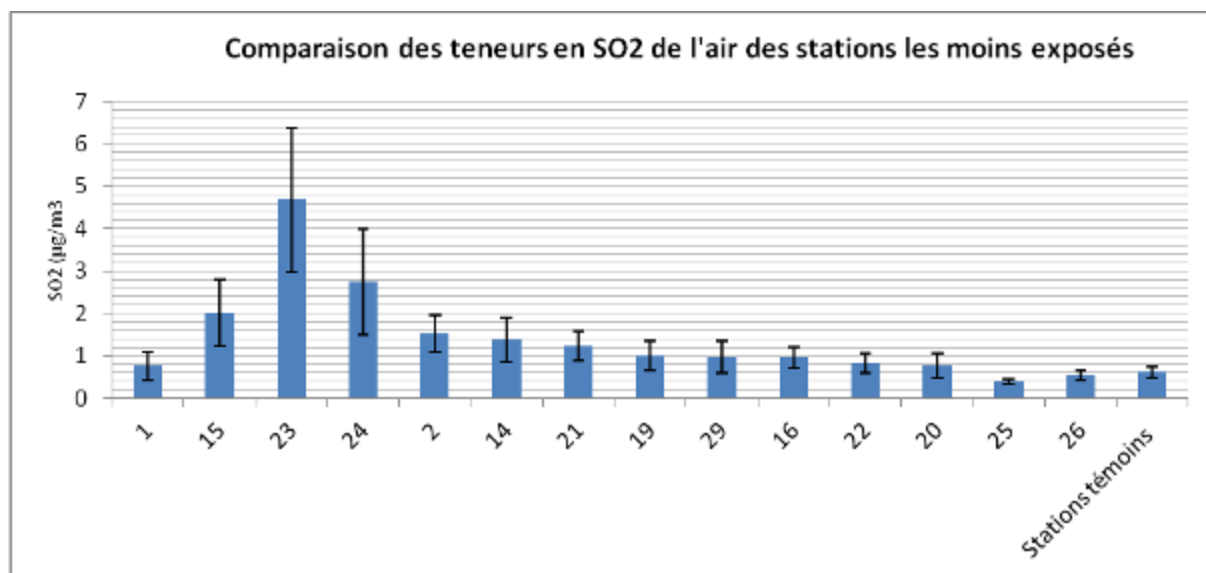
Site N°	Echantillon N°	Espèces
1	1	Alphitonia neocaledonica
	2	Codia discolor
2	1	Montrouzieria spharoidea
	2	Codia spatulata
3	1	Tristaniopsis guillainii
	2	Alphitonia neocaledonica
4	1	Garcinia spp
	2	Codia spatulata
5	1	Codia spatulata
	2	Garcinia spp
6	1	Tristaniopsis guillainii
	2	Codia spatulata
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	Montrouzieria 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	Montrouzieria spharoidea
	2	Codia spatulata

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

Point observation	Fev-12	mars-12	avr-12	mai-12	juin-12	juil-12	Aout- 12	sept-12	oct-12	nov-12	déc-12	janv-13	Fev-13	mars-13	Moyenne (n=14)	Min	Max
1	0,6	0,6	0,6	0,3	1,6	2,5	0,3	1,6	0,3	0,3	0,5	0,3	0,8	0,3	0,8	0,30	2,5
2	2,2	1	0,7	3,3	1,5	1	1,2	0,7	2	2,8	2,4	0,3	1,1	1,2	1,5	0,30	3,3
3	34,8	1,8	1,6	2,9	5,2	3,6	0,3	2,7	3,5	11,9	11,8	16,2	11,6	9	8,4	0,30	34,8
4	36,3	1,7	1,4	2,5	5,4	3,3	1,7	2,2	2,9	9,3	9	15,4	13,7	8,4	8,1	1,40	36,3
5	43,2	2,3	1,4	2,6	6,6	5	2,1	2,2	2,8	14,7	6,7	12,4	12,6	9,9	8,9	1,40	43,2
6	35,9	2,1	1,5	2,7	6,6	5,3	1,7	2,1	0,3	12,1	5,9	11,8	8,9	8	7,5	0,30	35,9
7	50,0	1,6	2,4	3,1	6,6	6,7	3	2,1	3,4	13,7	10,1	13,8	18,9	8,2	10,3	1,60	50,0
8	56,3	4,3	2,6	2,2	6	6,4	7,2	1,2	4,7	15,8	13,7	21,9	28,1	11,9	13,0	1,20	56,3
9	54,4	3,8	5,2	5,1	12,6	7	7,6	2,7	6	19,9	19,8	25,2	30,1	20,5	15,7	2,70	54,4
10	49,6	2,8	3,2	6,2	9,8	6,1	2,5	2,8	4,6	12,5	14,8	18,2	18,6	15,3	11,9	2,50	49,6
11	61,2	19,5	18,3	12	13,1	10,7	4,8	6,5	11,9	20,8	25,6	28,6	63,1	23,7	22,8	4,80	63,1
12	54,9	3,2	3,5	4,8	5,9	5,9	4,4	1,8	4,9	13,2	13,9	24,7	35,2	14,3	13,6	1,80	54,9
13	3,0	14,6	7,2	4,3	8,5	5,8	1,6	11,1	7,8	7,2	16,1	11,2	11,4	7,5	8,4	1,60	16,1
14	0,3	0,3	0,6	3	0,5	0,4	2,2	1,2	0,3	1,2	3,1	2,4	1,5	2,4	1,4	0,30	3,1
15	0,6	2,1	6,9	1,3	0,9	1,6	1,7	1,5	2,1	2,3	2,4	3	1,2	0,7	2,0	0,60	6,9
16	0,3	1,6	1,9	0,3	0,5	1,3	1	1,5	1,1	0,8	1,2	1	0,5	0,5	1,0	0,30	1,9
17	16,9	13,1	27,6	18,3	6,5	10,4	6,8	8,8	12,8	24,4	14,2	16,1	56,5	38,3	19,3	6,50	56,5
18	21,0	19,1	32,6	15,6	8	10,7	7,3	10,8	16,7	23,2	15,3	16	61,6	41,6	21,4	7,30	61,6
19	0,3	0,8	0,6	1,5	0,3	1	1	3,1	0,6	1,5	1,1	0,4	0,9	0,9	1,0	0,30	3,1
20	0,3	2,4	0,9	1,5	0,3	0,9	1,1	0,5	0,3	0,5	0,6	0,7	0,4	0,4	0,8	0,30	2,4
21	0,8	1	1,9	2	2,3	2	1,6	0,7	1,6	1,7	0,5	0,3	0,4	0,5	1,2	0,30	2,3
22	0,7	0,3	1,9	0,3	1,4	1,1	1,2	1	0,3	0,6	0,7	0,3	0,8	0,9	0,8	0,30	1,9
23	3,7	2,2	6,7	3,6	1,3	3	1,8	3,2	3	6	5,3	2,3	12,7	10,8	4,7	1,30	12,7
24	10,2	1,2	0,3	0,9	2,6	3,2	2,5	0,7	1,8	5,2	2,4	3,4	2,2	1,8	2,7	0,30	10,2
25	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,4	0,6	0,3	0,4	0,7	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,30	0,7
26	0,3	0,3	0,8	0,3	0,3	0,6	0,9	0,9	0,3	0,9	0,3	0,6	0,6	0,5	0,5	0,30	0,9
27	1,6	0,3	1	0,3	0,3	1	0,7	1,5	0,3	0,8	0,3	0,8	0,4	0,3	0,7	0,30	1,6
28	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	1	1	0,8	0,5	0,6	0,3	0,8	0,6	0,5	0,30	1,0
29	0,3	0,9	1	0,6	0,7	0,9	1,2	0,8	0,4	0,7	0,3	0,8	3,3	1,7	1,0	0,30	3,3

Résultats des mesures par échantillonnage passif du SO2 de l'air réalisées entre février 2012 et mars 2013. Les cases rouge et orange mettent en évidence un dépassement de la valeur moyenne limite annuelle pour la protection de l'environnement (20 µg/m3).

Annexe 3 : Comparaison de teneurs en SO₂ de l'air entre les stations les moins exposées



Les stations les moins exposées correspondent aux stations dont la teneur mensuelle moyenne en SO₂ de l'air qui n'a pas présenté de dépassement de la valeur annuelle limite pour la protection de la végétation et des écosystèmes

Annexe 4 : Résultats détaillés des mesures des teneurs en azote de l'air

Point observation	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Novembre	Moyenne	Min	Max
1	0,5	1,3	1,3	1,2	2,6	2,3	1	1,8	1,5	0,5	2,6
2	1,7	2,5	2	4,8	3,6	3,5	1,4	2,8	2,8	1,4	4,8
3	6,1	5,8	3,4	3,9	6,3	6,4	3,5	5,5	5,1	3,4	6,4
4	6,6	5,1	3,9	3,8	6	6,4	5	6,2	5,4	3,8	6,6
5	6,2	4,8	3,3	4,5	6,3	6,2	3,7	6,6	5,2	3,3	6,6
6	6,1	4,2	3,7	6,8	6	6,4	4,2	6,5	5,5	3,7	6,8
7	6,3	4,7	3,1	3,4	6,1	6,3	3,3	5,8	4,9	3,1	6,3
8	7,8	4,8	3,9	3,4	6,7	7	3,6	7,3	5,6	3,4	7,8
9	12,4	6,8	6,1	4,1	7	10,5	4,2	6,8	7,2	4,1	12,4
10	7,9	5,8	4,4	4,3	7,2	7,8	4,5	7,1	6,1	4,3	7,9
11	9,7	7,8	9,4	5,6	8	7,8	7	8,5	8,0	5,6	9,7
12	9,9	5,7	6,1	3,6	6,3	7	4,4	7,8	6,4	3,6	9,9
13	4,1	3,9	5,5	3,9	6,2	6,9	8,3	6,6	5,7	3,9	8,3
14	1,3	2,7	2,1	3,8	3,3	3	4,6	1,5	2,8	1,3	4,6
15	1,0	6,4	4,1	2,8	3	3,7	4,3	3,6	3,6	1,0	6,4
16	3,3	4,7	3,5	5,1	4,2	4,7	4	4,3	4,2	3,3	5,1
17	5,9	7,5	12,5	10,6	7,3	8,8	8,3	12,2	9,1	5,9	12,5
18	5,7	7,9	12,3	8,5	7,2	9,6	8,5	8,8	8,6	5,7	12,3
19	0,5	1,6	1,2	2,6	1,5	1,6	2,8	0,7	1,6	0,5	2,8
20	0,4	1,6	1,1	2,2	1,8	1,2	3,2	0,7	1,5	0,4	3,2
21	0,4	1,7	1,8	0,9	3,3	3,8	1	0,8	1,7	0,4	3,8
22	0,4	1,1	1,8	0,6	2,4	2,8	0,4	0,5	1,3	0,4	2,8
23	3,2	3,8	4,9	5,2	2,7	4	4,7	4,7	4,2	2,7	5,2
24	4,6	3,3	7,5	3,4	4,8	4,5	1,7	4,9	4,3	1,7	7,5
25	0,4	0,5	0,9	0,7	0,5	1,1	0,8	0,4	0,7	0,4	1,1
26	1,1	1,1	1,9	2	1,6	3,1	2,3	3,4	2,1	1,1	3,4
27	0,4	0,7	1	1,3	0,8	1,8	1,4	0,9	1,0	0,4	1,8
28	0,7	0,9	0,8	0,9	0,8	2,2	1,2	2,2	1,2	0,7	2,2
29	1,3	2,4	1,4	3,7	2	1,9	2,6	1,5	2,1	1,3	3,7

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

Site N°	Espèces	N% Mai 2012	N% Aout 2012	N% Novembre 2012	Moyenne N
8	Pagianta cerifera	2,94	0,69	2,77	2,13
8	Garcinia spp	0,76	2,57	0,78	1,37
6	Tristaniopsis guillainii	0,74	0,71	0,81	0,75
5	Garcinia spp	0,88	0,71	0,60	0,73
7	Garcinia spp	1,25	0,77	0,89	0,97
4	Codia spatulata	0,69	0,87	0,61	0,72
5	Codia spatulata	0,69	0,61	0,61	0,64
23	Tristaniopsis guillainii	0,54	0,73	0,64	0,64
4	Garcinia spp	0,80	0,78	0,80	0,79
10	Codia spatulata	0,76	0,67	0,80	0,74
10	Tristaniopsis guillainii	0,81	0,78	0,69	0,76
17	Garcinia spp	0,71	0,86	0,70	0,76
17	Tristaniopsis guillainii	0,80	0,66	0,65	0,70
2	Codia spatulata	0,63	0,76	0,58	0,66
2	Montrouzieria spharoidea	0,75	0,65	0,73	0,71
9	Alphitonia neocaledonica	1,22	0,8	1,10	1,04
12	Garcinia spp	0,72	0,87	0,70	0,76
11	Codia spatulata	0,85	0,81	0,79	0,82
23	Montrouzieria spharoidea	0,75	0,66	0,69	0,70
6	Codia spatulata	0,69	0,8	0,68	0,72
16	Codia spatulata	0,74	0,64	0,61	0,66
20	Morierina Montana	2,26	2,17	2,01	2,15
12	Styphelia spp	0,76	0,68	0,76	0,73
7	Guettarda eximia	1,58	1,4	1,74	1,57
9	Codia spatulata	0,69	1,04	0,75	0,83
29	Montrouzieria spharoidea	0,65	0,61	0,95	0,74
29	Codia spatulata	0,61	0,73	0,66	0,67
20	Macaranga alchorneoides	1,15	1,07	1,24	1,15
21	Garcinia spp	0,47	0,5	0,55	0,51
21	Codia discolor	0,54	0,65	0,63	0,61
14	Gardenia aubryi	1,41	1,49	1,33	1,41
18	Tristaniopsis guillainii	0,70	0,67	0,71	0,69
26	Alphitonia neocaledonica	1,27	0,67	1,10	1,01
18	Codia spatulata	0,74	0,76	0,66	0,72
19	Sparattosysce dioica	1,48	1,19	1,59	1,42
22	Codia spatulata	0,74	0,79	1,15	0,89
19	Macaranga alchorneoides	1,25	1,5	1,20	1,32
3	Tristaniopsis guillainii	0,75	0,76	0,71	0,74
24	Codia spatulata	0,89	0,84	0,65	0,79
11	Alphitonia neocaledonica	1,03	1,12	0,99	1,05
1	Alphitonia neocaledonica	0,86	0,68	0,93	0,82
3	Alphitonia neocaledonica	1,21	0,87	0,89	0,99
1	Codia discolor	0,70	1,01	0,60	0,77
13	Styphelia spp	0,68	0,67	0,76	0,70
24	Styphelia spp	0,69	0,91	0,80	0,80
15	Tristaniopsis guillainii	0,77	0,57	0,64	0,66
14	Alphitonia neocaledonica	1,24	1,3	1,25	1,26
15	Codia spatulata	0,57	0,71	0,59	0,62
26	Codia spatulata	0,64	1,01	0,69	0,78
13	Tristaniopsis guillainii	0,69	0,59	0,70	0,66
22	Alphitonia neocaledonica	0,76	0,94	0,99	0,90
16	Styphelia spp	0,78	0,8	0,67	0,75
25	Alphitonia neocaledonica	0,95	0,87	0,88	0,90
25	Arrilastrum gummiferum	0,65	0,67	0,76	0,69

Annexe 6 : Résultats détaillés des mesures des teneurs en soufre foliaire

Site N°	Espèce	mai-12	Aout-12	nov-12	Moyenne
8	Pagianta cerifera	9882	2259	10375,64	7506
8	Garcinia spp	2433	8179	1990,26	4201
6	Tristaniopsis guillainii	1222	5126	1161,02	2503
5	Garcinia spp	3352	2788	2428,9	2856
7	Garcinia spp	3693	2140	1821,83	2552
4	Codia spatulata	3025	2609	4175,86	3270
5	Codia spatulata	2922	2686	2976,47	2861
23	Tristaniopsis guillainii	894	4630	1052,37	2192
4	Garcinia spp	2606	2805	2422,57	2611
10	Codia spatulata	3920	1285	3856,39	3020
10	Tristaniopsis guillainii	1151	3946	1273,8	2124
17	Garcinia spp	3911	1160	2881,36	2651
17	Tristaniopsis guillainii	1152	3566	1143,75	1954
2	Codia spatulata	1619	3016	1292,69	1976
2	Montrouzieria spharoidea	3128	1486	3051,88	2555
9	Alphitonia neocaledonica	1279	3261	1279,93	1940
12	Garcinia spp	2886	1518	1635,4	2013
11	Codia spatulata	2451	1939	2333,85	2241
23	Montrouzieria spharoidea	3551	722	3255,83	2510
6	Codia spatulata	3175	1030	3732,09	2646
16	Codia spatulata	2173	1935	1774,77	1961
20	Morierina Montana	1936	2128	2279,94	2115
12	Styphelia spp	1674	2263	1401,06	1779
7	Guettarda eximia	1720	2188	2397,49	2102
9	Codia spatulata	2417	1145	3790,16	2451
29	Montrouzieria spharoidea	2066	1471	3148,09	2228
29	Codia spatulata	1498	1992	1430,23	1640
20	Macaranga alchorneoides	1544	1921	1479,62	1648
21	Garcinia spp	1693	1522	1626,55	1614
21	Codia discolor	1953	1225	2560,06	1913
14	Gardenia aubryi	1659	1509	1448,65	1539
18	Tristaniopsis guillainii	890	2134	1278,73	1434
26	Alphitonia neocaledonica	1161	1648	921,41	1243
18	Codia spatulata	1661	1038	2158,06	1619
19	Sparattosysce dioica	1273	1418	1189,34	1293
22	Codia spatulata	1323	1348	1597,48	1423
19	Macaranga alchorneoides	1363	1251	1460,03	1358
3	Tristaniopsis guillainii	1287	1302	1131,04	1240
24	Codia spatulata	1587	943	1944,61	1492
11	Alphitonia neocaledonica	1205	1283	1167,31	1218
1	Alphitonia neocaledonica	687	1653	799,92	1047
3	Alphitonia neocaledonica	1354	975	1070,21	1133
1	Codia discolor	1508	818	1312,88	1213
13	Styphelia spp	1353	896	1213	1154
24	Styphelia spp	876	1365	959,51	1067
15	Tristaniopsis guillainii	818	1338	745,83	967
14	Alphitonia neocaledonica	1014	1136	886,21	1012
15	Codia spatulata	1379	743	1635,94	1253
26	Codia spatulata	1162	798	1687,44	1216
13	Tristaniopsis guillainii	867	907	1022,21	932
22	Alphitonia neocaledonica	840	813	851	835
16	Styphelia spp	757	798	828,81	795
25	Alphitonia neocaledonica	698	660	662,93	674
25	Arrilastrum gummiferum	539	539	735,04	604

Annexe 7 :

Annexe 8 : Fiche de relevée des symptômes sur le terrain

Date _____

OBS: "0" rien; "1" Jeune feuille saine et anciennes feuilles atteintes; "2" jeune feuille atteinte et vieille feuille saine; "3" jeunes feuilles et vieilles feuilles atteintes. "NA" quand pas de distinction possible.

Espèces

Signification et codification: "CHL" = Chlorose foliaire; "NEC" = Nécrose foliaire; "DEF" = Déformation foliaire

Valeurs: "0" = aucun symptôme SO2 notable; "1" = symptôme présent de façon significative sur un individu; "2" = symptôme sur tous les individus de l'espèce présent sur le point de suivi; "s" = symptôme légers; "i" = symptômes apparents d'attaques d'insectes .

"N" = causes naturelles; "RC" = ramifications courtes

[illegible]

27 remplacé par 29 = tube passif au col de l'antenne

Annexe 9 : Proposition technique – Projet VEGUSINE

SYNTHESE METHODOLOGIE VEGUSINE

Suivi régulier de la végétation au NO de l'usine

Résultats et suivi opérationnel

Ce document est strictement confidentiel, à destination exclusive de l'Oeil.

Il fait état de résultats établis dans le cadre d'une collaboration sur plusieurs années entre VALE et Bluecham.

Les résultats obtenus et les données utilisées sur le Grand Sud sont propriétés de VALE.
La méthodologie est propriété intellectuelle de Bluecham, fait partie de son savoir-faire et de son fond de commerce, elle n'est transmise qu'à titre d'information à des décideurs ou des clients potentiels.

Toute utilisation, reproduction ou transmission de ce document à des tiers, même partiellement, est interdite et ne peut s'opérer sans l'accord de VALE et de Bluecham.

Version V 1.1
Du 01/10/2013

Fichier : VEGUSINE-Synthèse-Résultats
Contact : Jean-Michel N'Guyen, Yann Vesselier, Stephan McCoy, Jean-Daniel Cieslak, VALE
Suivi du dossier : Rémi Andreoli , Bluecham SAS



Bluecham SAS

1 rue Gabriel Laroque
98800 Nouméa – Nouvelle-Calédonie
RIDET : 886 408.001

☎ (687) 28 97 96

✉ bluecham@bluecham.net
www.bluecham.net

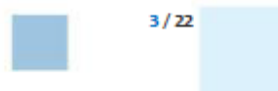


SUIVI DU DOCUMENT				
Titre du document : SYNTHESE METHODOLOGIE VEGUSINE				
Version	Révision	Date		Description
1	0	04/09/2013	Rémi Andreoli Bluecham	Rédaction du document
1	1	11/09/2013	Didier Lille Bluecham	Validation
1	2	09/09/2013	Jean-Michel N'Guyen Jean-Daniel Cieslak Stéphane McCoy VALE NC	Validation



TABLE DES MATIERES

1	OBJECTIFS DU SUIVI	4
2	INDICATEURS	6
2.1	Définition	6
2.2	Paramètres mesurés	7
3	SUIVI OPERATIONNEL	8
3.1	Suivi global de l'état de la végétation avec identification des changements	8
3.2	Surveillance de Massifs Forestier d'Intérêt Prioritaire (MFIP)	9
4	ANNEXE 1 : ETUDE MULTI-TEMPORELLE DES PEUPELEMENTS DE CHENES GOMME ENTRE JUILLET 2009 ET JUIN 2011	11
4.1	Données satellitaires de l'étude	11
4.2	Données terrain de référence	12
4.2.1	Relevés GPS	12
4.2.2	Vue d'ensemble	13
4.2.3	Individu sain	13
4.2.4	Individu atteint	13
4.2.5	Individu mort	13
4.3	Détermination des signatures des chênes gomme de référence	13
4.4	Changements observés entre 2009 et 2011 au sein de la population de chênes gomme	14
4.4.1	Activité globale de la végétation sur la période juillet 2009 – juillet 2011	14
4.4.2	Détection de l'évolution de la végétation à chêne gomme	14
4.4.3	Végétation globale	15
4.4.4	Contrôle qualité	17
4.5	Analyse spatio-temporelle des changements	17
4.5.1	Analyse spatiale	17
4.5.1.1	Topographie	17
4.5.1.2	Distance à l'installation industrielle	17
4.5.1.3	Azimut par rapport à l'installation industrielle	17
4.5.2	Analyse temporelle	18
4.5.2.1	Végétation à chêne gomme	18
4.5.2.2	Evolution de l'activité photosynthétique de la végétation (hors groupement à chêne gomme)	18
4.5.2.3	Chronogramme	19
4.6	Conclusions	20
5	ANNEXE 2 : LES PRODUITS SEPSAT	21
5.1	Qu'est-ce que SEPSAT	21
5.2	Les avantages des produits SEPSAT	21
5.3	Les références RDI SEPSAT	21
5.3.1	Agences Spatiales	21
5.3.2	Instituts de recherche	22

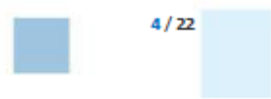
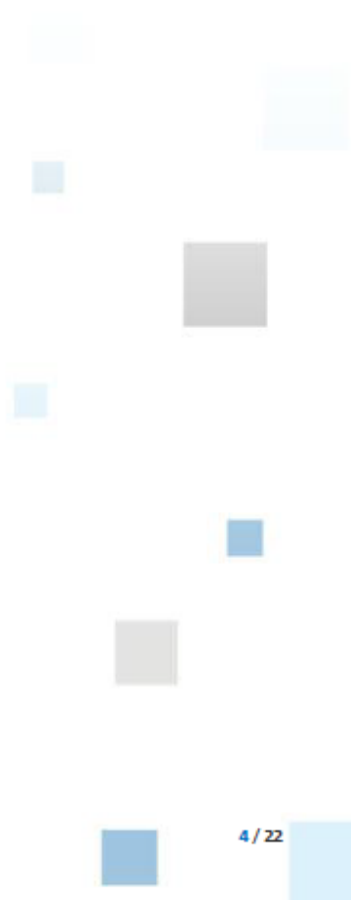




*
Note liminaire
*

Ce dispositif de suivi ne peut être mené à bien que grâce aux paramètres ci-dessous aujourd'hui réunis :

- La disponibilité de nouveaux capteurs THR (Très Haute Résolution) en adéquation avec les objets observés.
- L'anticipation de VALE NC dans la constitution a priori de bases de données de mesures satellitaires régulières calibrées et contrôlées. Une donnée non acquise est en effet une donnée perdue.
- La présence au sein des équipes de VALE NC de botanistes confirmés ayant une connaissance historique précise du terrain dont la végétation est spécifique.
- Le travail en continu de Bluecham en matière de R&D dans les technologies spatiales (cf. Annexe, produits SEPSAT™).
- Une parfaite coordination entre les équipes, notamment dans les contrôles de terrain concomitants avec les acquisitions spatiales, afin de garantir le contrôle qualité.



1 Objectifs du suivi

Les objectifs du suivi opérationnel de l'évolution de la végétation sur la zone NO de l'usine sont de :

- Suivre l'évolution de la végétation de manière globale sur la zone d'étude
- Être informé rapidement d'un phénomène anormal
- Pouvoir communiquer aisément sur des bases compréhensibles, crédibles et validées

Ce suivi sera également appliqué rétrospectivement sur les données satellitaires haute résolution et très haute résolution de la base de données historique capitalisée par VALE NC (cf. tableau ci-dessous).

Date	Capteur	Résolution	Donnée orthorectifiée
15/12/2008	Kompsat-2	1 m	Oui
23/05/2009	SPOT 5	2.5 m	Oui
17/07/2009	Kompsat-2	1 m	Oui
09/06/2010	GeoEye-1	50 cm	Oui
08/08/2010	WorldView-2	50 cm	Oui
23/03/2011	WorldView-2	50 cm	Oui
17/06/2011	GeoEye-1	50 cm	Oui
09/06/2012			
17/06/2012	RapidEye	5 m	Oui
18/06/2012			
27/08/2012	WorldView-2	50 cm	Oui
23/09/2012			
15/11/2012	RapidEye	5 m	Oui
21/12/2012			

** Dans ce tableau ne figurent que les données orthorectifiées pouvant être directement intégrées dans le suivi sans traitement complémentaire. Il est à noter que VALE NC a fait l'acquisition d'une donnée Formosat-2 de juillet 2008 et d'une couverture Ikonos en mai 2009 qui pourraient être également exploitées dans le cadre de ce suivi.*

Ce suivi sera mis en place sur les futures données acquises par VALE NC dans le cadre de la stratégie d'observation mise en place en 2008 et consolidée en 2011 par VALE NC.

2 Indicateurs

2.1 Définition

Indicateur ISEV	
Indicateur	<i>Indicateur Synthétique de l'Evolution de la Végétation</i>
Définition	L'indicateur synthétique de l'évolution de la végétation (ISEV) permet de rapidement identifier les secteurs présentant des changements significatifs. Cet indicateur repose sur des indices quantitatifs validés dérivés des images satellitaires et adaptés à la végétation du Grand Sud de la Nouvelle-Calédonie permettant de mesurer de manière fiable, robuste et reproductible l'évolution des paramètres de l'état de la végétation. Afin de garantir un processus pérenne, l'indicateur ISEV est applicable à des données hétérogènes (résolution, capteurs) sans biais de classification et d'interprétation.
Type de variable	Quantitative
Intervalle de variation de la variable	Continue [-1 ; 1]
Unité de mesure	sans unité
Modalité d'interprétation	Indicateur tend vers -1 : changement de l'activité de la végétation tendant vers une diminution (canopée, photosynthèse) ; Indicateur égale à 0 : pas de modification de l'activité de la végétation ; Indicateur tend vers +1 : changement de l'activité de la végétation tendant vers une augmentation (canopée, photosynthèse) ;
Indices de base	Normalized Difference Vegetation Index Indice Optimisé de Suivi de la Végétation Indice d'Intensité de la canopée Fraction de la Végétation Indice de changement $\Delta_{t,t+1}^0$
Périodicité de la mesure	Tous les 6 mois
Pas de temps de restitution	A chaque acquisition de mesure
Date de publication de la première valeur de la série	15/12/2008
Continuité de la série	Oui
Possibilité de rétro-calcul	Oui
Niveau d'appropriation	Expert
Echelle de restitution	1/5000
Précision spatiale	50 cm
Précision thématique	+/- 0.001
Références bibliographiques	Les documents utiles pour approfondir le sujet traité par l'indicateur sont listés ici.
Généalogie de l'indicateur	
Nature précise des indices de base	Les indices sont optimisés pour être établis à partir des données satellitaires optiques multispectrales très haute résolution et haute résolution (D. Zhao, L. Huang, J. Li, and J. Qi, "A comparative analysis of broadband and narrowband derived vegetation indices in predicting LAI and CCD of a cotton canopy," <i>Isprs J. Photogramm. Remote Sens.</i>, vol. 62, no. 1, pp. 25–33, mai 2007.) comprenant les bandes : • Rouge 640 - 660 μm ; • Proche Infrarouge 800 - 870 μm
Mode de calcul	Les indices utilisés sont ceux définis par : • Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) de Rouse (Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. <i>Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. In Third ERTS Symposium, NASA SP-351;</i>

	NASA: Washington, DC, USA, 1973; Volume 1, pp. 309-317), indicateur sensible à la chlorophylle de la végétation et à l'activité photosynthétique. • L'Indice Optimisé de Suivi de la Végétation (EVI) optimisé en haute et très haute résolution de Huete (Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E.P.; Gao, X.; Ferreira, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sens. Environ. 2002, 83, 195-213.) prenant en compte les facteurs sol et atmosphérique, indicateur prenant en compte la structure de la canopée et le couvert du feuillage. • L'Indice d'Intensité de la canopée (GRVI) de Kanemasu (Kanemasu, E.T. Seasonal canopy reflectance patterns of wheat, sorghum, and soybean. Remote Sens. Environ. 1974, 3, 43-47) permettant de rendre de compte de la fermeture de la canopée. • La Fraction de la Végétation (Fr) de Bi (Bi Y., 2010. Estimation de l'évapotranspiration de surface terrestre à partir des données satellitaires, thèse de l'Université de Strasbourg - ENGEES, 163p) sensible au stress hydrique de la végétation (sécheresse, saturation). • La détection des changements est réalisée à l'aide de l'indice de changement $\Delta I_{t,t+1}^a$ développé par Bluecham avec l'appui de l'IRD et l'agence spatiale Elecnor Deimos (Andreoli R., Marchand C., Pedroia J., 2012. Mangroves monitoring based on DEIMOS data time series in the South West Pacific : application to New Caledonia, Elecnor Deimos - Bluecham SAS Report. 23p) sur la base d'étude antérieure de détection des changements dans le cadre de suivi spatio-temporel régulier multi-sources (Vogelmann J.E., 1988 ; Detection of forest change in the Green Mountains of Vermont using multispectral scanner data, Int. J. Remote Sens. Vol 9, pp 1187-1200 ; Yuan D., Elvidge C.D., 1996 ; Comparaison of relative radiometric normalization techniques, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 51, pp 117-126 ; Andreoli, R.; Yesou, H., "Large scale change detection techniques dedicated to flood monitoring using ENVISAT wide swath mode data," Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007. IGARSS 2007. IEEE International , vol., no., pp.2382,2385, 23-28 July 2007). Cet indice permet de s'affranchir des variations saisonnières. Les valeurs négatives indiquent une diminution du paramètre mesuré durant l'intervalle de temps des 2 observations ; à l'inverse, les valeurs positives indiquent une augmentation du paramètre mesuré durant l'intervalle de temps des 2 observations.
--	---

2.2 Paramètres mesurés

Le processus de suivi de l'évolution de l'état de la végétation est réalisé à partir d'une combinaison d'indices satellitaires permettant de :

- Suivre l'activité photosynthétique de la végétation ;
- Suivre la structure de la canopée et le couvert de feuilles ;
- Suivre le stress hydrique de la végétation (fraction de la végétation).

Les indices requis en entrée sont des indices scientifiquement validés et éprouvés depuis de nombreuses années dans le suivi de la végétation en milieu tropical (cf. tableau précédent). Ces paramètres présentent des variations complémentaires pour la caractérisation de l'état de la végétation permettant une intégration pertinente au sein de l'indicateur ISEV.

Chaque indice est estimé pour chaque pixel des images de la base de données de VALE pour constituer une base de données spatialisées de chaque indice à toutes les dates d'acquisition.

3 Suivi opérationnel

Le suivi se compose de 2 niveaux d'intervention :

- Suivi global de l'état de la végétation avec identification des changements
- Surveillance des Massifs Forestiers d'Intérêt Prioritaire (MFIP)

VALE NC a fait le choix stratégique d'étendre l'étude sur l'ensemble des massifs forestiers et non plus spécifiquement sur les végétations à chêne gomme, rendant ainsi le suivi de la végétation complet.

3.1 Suivi global de l'état de la végétation avec identification des changements

Le suivi global est réalisé à l'aide de l'indicateur *ISEV*. A partir des changements mesurés pour chaque paramètre caractérisant la végétation, l'indicateur synthétique de l'évolution de la végétation *ISEV* permet de mettre en évidence 3 états de la végétation :

ISEV

- Les valeurs centrées autour de 0 correspondent à des zones sans ou à très faible changements ;
- Les valeurs tendant vers + 1 indiquent des changements positifs de l'activité de la végétation (1 = apparition de la végétation) ;
- Les valeurs tendant vers - 1 indiquent des changements négatifs de l'activité de la végétation (-1 = mort ou disparition de la végétation).

L'indicateur synthétique de l'évolution de la végétation ISEV est calculé par ajustement des indices de changements de chaque paramètre à la végétation spécifique du Grand Sud en liaison avec les experts botanistes de VALE.

Cet indicateur ne peut être évalué sans un prétraitement rigoureux des mesures initiales permettant de s'affranchir de toute dérive géométrique et radiométrique. Ceci constitue la seule garantie de pouvoir utiliser l'indicateur dans un cadre d'évolution spatiale, temporelle et multi-capteurs.

EVOLUTION POSSIBLE DU PROTOCOLE

- Densification et/ou évolution des MFIP (cf. 3.2)
- Augmentation de la fréquence temporelle
- Evolution/customisation des fiches de reporting (cf. 3.2)

3.2 Surveillance de Massifs Forestier d'Intérêt Prioritaire : *MFIP*

Le principe est simple, les *MFIP* sont quadrillés par la mise en œuvre de stations de surveillance qualifiées de « virtuelles », c'est-à-dire sans matériel ni opérations sur le terrain, opérées par analyse des signaux satellite. Ces stations sont comparées à des secteurs semblables hors influence du site industriel afin de détecter toute anomalie de comportement. Dans la suite du document, nous appelons ces Stations Virtuelles de Surveillance, des *SVS*.

Les stations sont implantées au sein de zones d'intérêts particuliers de taille supérieure à 1 ha.



Sur le secteur d'intérêt de VALE NC, 27 *MFIP* de superficie supérieure à 1 ha sont identifiés (en jaune sur la figure ci-contre). Chaque *MFIP* est identifié par un code unique afin de pouvoir le suivre individuellement.

Figure 3 : 27 *MFIP* de la zone d'étude

Les *SVS* sont implantées dans chacune des 27 *MFIP* afin d'être représentatives de chacun d'eux. Celles-ci sont implantées selon un échantillonnage systématique sur la détection d'arbre ou groupe d'arbre d'une typologie donnée (adapté au suivi exhaustif de type de végétation d'intérêt particulier).



Chaque *SVS* est référencée en fonction de ses coordonnées géographiques (RGNC9193) et de la zone d'intérêt particulier correspondante.

Figure 3 : Exemple de quadrillage *SVS* systématique associé à un arbre ou groupe d'arbre (tiré du rapport de méthodologie de suivi des mangroves en contexte minier, CNRT 2012)

Le suivi est opéré pour chaque **MFIP** de manière individuelle à partir des mesures des indices relevés pour chaque station. Les indicateurs quantitatifs d'évolution globale pour chaque paramètre mesuré sont fournis pour informer de la tendance de l'évolution constatée entre deux dates d'observations sous forme de fiches individuelles synthétique de 2 pages maximum.

Ces fiches comprennent :

- Les informations d'identification et de localisation géographique du **MFIP** ;
- Les informations quantitatives générales concernant les mesures actuelles et les tendances d'évolution globale afin d'avoir une lecture rapide de l'information essentielle ;
- des graphes d'évolution temporelle de chaque indice à l'échelle de chaque zone ;
- des cartes indiquant de manière visuelle les valeurs mesurées par station ;
- la table des valeurs mesurées à chaque station ;
- l'indicateur **ISEV** du **MFIP**.

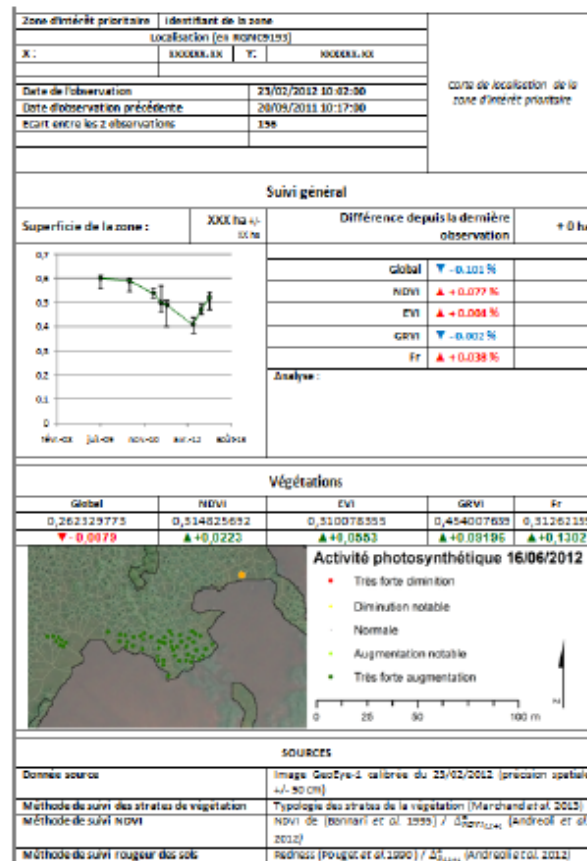


Figure 4 : Exemple de fiche de suivi par **MFIP** (d'après le rapport de méthodologie de suivi des mangroves en contexte minier, CNRT 2012)



4 ANNEXE 1 : Etude multi-temporelle des peuplements de chênes gomme entre juillet 2009 et Juin 2011

4.1 Données satellitaires de l'étude

Depuis 2008, VALE NC a mis en place un protocole d'observation par imagerie satellitaire de l'ensemble de ses zones de surveillance. Ces données sont programmées et acquises pour les besoins spécifiques de VALE NC et sont intégrées dans la base de données de surveillance en assurant :

- Un positionnement géographique précis ;
- La calibration radiométrique fine de chaque donnée.

Cette étape préliminaire garantit une exploitation optimale des données satellitaires de VALE NC pour le suivi spatio-temporel de l'environnement.

Les données d'observations de la terre utilisées sont :

- Une image Komsat-2, 1m de résolution, acquise le 17 juillet 2009
- Une image GeoEye-1, 50 cm de résolution, acquise le 09 juin 2010
- Une image WorldView-2, 50 cm de résolution, acquise le 08 août 2010
- Une image WorldView-2, 50 cm de résolution, acquise le 23 mars 2011
- Une image GeoEye-1, 50 cm de résolution, acquise le 17 juin 2011
- Une série de 92 images MODIS Aqua et Terra, 250 m de résolution, entre juillet 2009 et juillet 2011 a été exploitée afin d'appréhender la dynamique globale de la végétation.



Image Komsat-2
 Resolution : 1 meters
 Acquisition Date/Time: 2007-07-17 23:25 GMT
 Percent Cloud Cover: 0%



Image GeoEye-1
 Resolution : 0.5 meters
 Acquisition Date/Time: 2010-06-09 23:06 GMT
 Percent Cloud Cover: 0%





Image WorldView-2
 Resolution : 0.5 meters
 Acquisition Date/Time: 2010-08-02 23:08 GMT
 Percent Cloud Cover: 6.2%



Image WorldView-2
 Resolution : 0.5 meters
 Acquisition Date/Time: 2011-03-23 23:36 GMT
 Percent Cloud Cover: 2.5%



Image GeoEye-1
 Resolution : 0.5 meters
 Acquisition Date/Time: 2011-06-17 22:54 GMT
 Percent Cloud Cover: 0%

4.2 Données terrain de référence

4.2.1 Relevés GPS

Sur la zone d'étude, 22 relevés GPS concernant des individus « Chêne Gomme » ont été fournis par VALE NC

Les observations photographiques sont fournies par VALE NC, complétée par la photo-interprétation des images satellitaires de la base de données VALE NC ainsi qu'une sortie de terrain réalisée le 14 novembre 2011 avec Thomas Leborgne (VALE NC, Ingénieur Botanique), Jean-Daniel Cieslak (VALE NC, Ingénieur Géomatique) et Rémi Andreoli (Télédétection, Bluecham SAS).

4.2.2 Vue d'ensemble



Photographie aéroportée oblique d'une zone de chêne gomme touchée (Source : bota VALE)



La même zone observée par le satellite GeoEye-1 le 17/06/2011

Description : Les secteurs impactés présentent une canopée hétérogène en texture et en radiométrie. Les individus sains apparaissent globalement dans des teintes vertes pomme et une texture homogène en boule. Les individus atteints ou morts présentent une couleur grisâtre et une texture plus fine de type « coton ». La répartition des individus atteints ou morts est homogène selon les secteurs avec parfois des zones plus denses en individus touchés.

4.2.3 Individus sains

Description : Les individus sains présentent une couronne homogène, la structure de l'arbre (branches, troncs) n'est pas visible. La radiométrie est homogène par individu avec des nuances inter-individus. En couleurs naturelles les individus sains apparaissent vert pomme à vert foncé intense. La texture de la couronne forme des boules, regroupées, donnant une impression de texture en « chou-fleur ».

4.2.4 Individus atteints

Description : Les individus atteints présentent d'abord une coloration jaunâtre à brune atteignant les feuilles par leur contour. Cela entraîne la perte des feuilles sur certaines parties de l'individu et l'apparition des branches mortes (effet « corne de cerf »). Sur les images satellitaires, les individus atteints présentent une décoloration partielle de la couronne de brune à grisâtre (augmentation de radiométrie dans le spectre du rouge) et une diminution de l'activité photosynthétique entraîne une diminution de la mesure de réflectance dans le proche infrarouge. Cette modification partielle de la radiométrie et la perte de feuilles entraîne également une modification de la texture de l'individu.

4.2.5 Individus morts

Description : Les individus morts sont dépourvus de feuilles et laissent largement apparaître les branches et le tronc. Les plus petites branches ont tendance à tomber. Sur les images satellitaires, les individus morts apparaissent gris dans leur totalité (perte de radiométrie dans le vert et dans le proche infrarouge liée à la perte des feuilles). La texture est fine et régulière (effet « coton »).

4.3 Détermination des signatures des chênes gomme de référence

Les signatures ont été déterminées à partir des levés GPS et l'image considérée de référence Kompsat-2 acquise le 17 juillet 2009. Tous les canaux ont été utilisés :

- Bleu [0.45 nm – 0.52 nm]
- Vert [0.52 nm – 0.60 nm]
- Rouge [0.63 nm – 0.69 nm]

- Proche infrarouge [0.76 nm – 0.90 nm]

De plus, les néo-canaux caractérisant la texture ont été introduits afin de déterminer la signature des chênes gomme :

- La variance radiométrique panchromatique calculée sur des fenêtres de 6,5 m de coté ;
- L'écart-type radiométrique panchromatique calculé sur des fenêtres de 6,5 m de coté ;
- L'asymétrie radiométrique panchromatique calculée sur des fenêtres de 6,5 m de coté.

4.4 Changements observés entre 2009 et 2011 au sein de la population de chênes gomme

4.4.1 Activité globale de la végétation sur la période juillet 2009 – juillet 2011

- En juillet 2009, l'activité de la végétation à chêne gomme se situe dans la moyenne observée, correspondant à une végétation active et en bonne santé ;
- En juin 2010, l'activité de la végétation à chêne gomme se situe au dessus des tendances moyennes observées pour l'ensemble de la végétation, indiquant une végétation particulièrement active ;
- En Août 2010, l'activité de la végétation à chêne gomme observée sur les données THR diminue vers des valeurs indiquant une diminution anormale de l'activité photosynthétique.
- Cette chute de l'activité de la végétation est caractéristique de l'ensemble de la végétation du groupement à chêne gomme et peut indiquer un marqueur de changement important dans l'activité de ce type de végétation.
- En 2011 (mars et juin), les valeurs de l'activité de la végétation chêne gomme reste largement en dessous des valeurs enregistrées avant juin 2010 bien que celles-ci remontent légèrement.

4.4.2 Détection de l'évolution de la végétation à chêne gomme

Afin d'identifier les changements intervenus sur la végétation à chêne gomme, différents indices ont été utilisés :

- Indice de l'activité de la végétation et différence d'indice d'activité de la végétation entre chaque date ;
- Variances de la radiométrie dans le panchromatique centrées et normées pour chaque date.

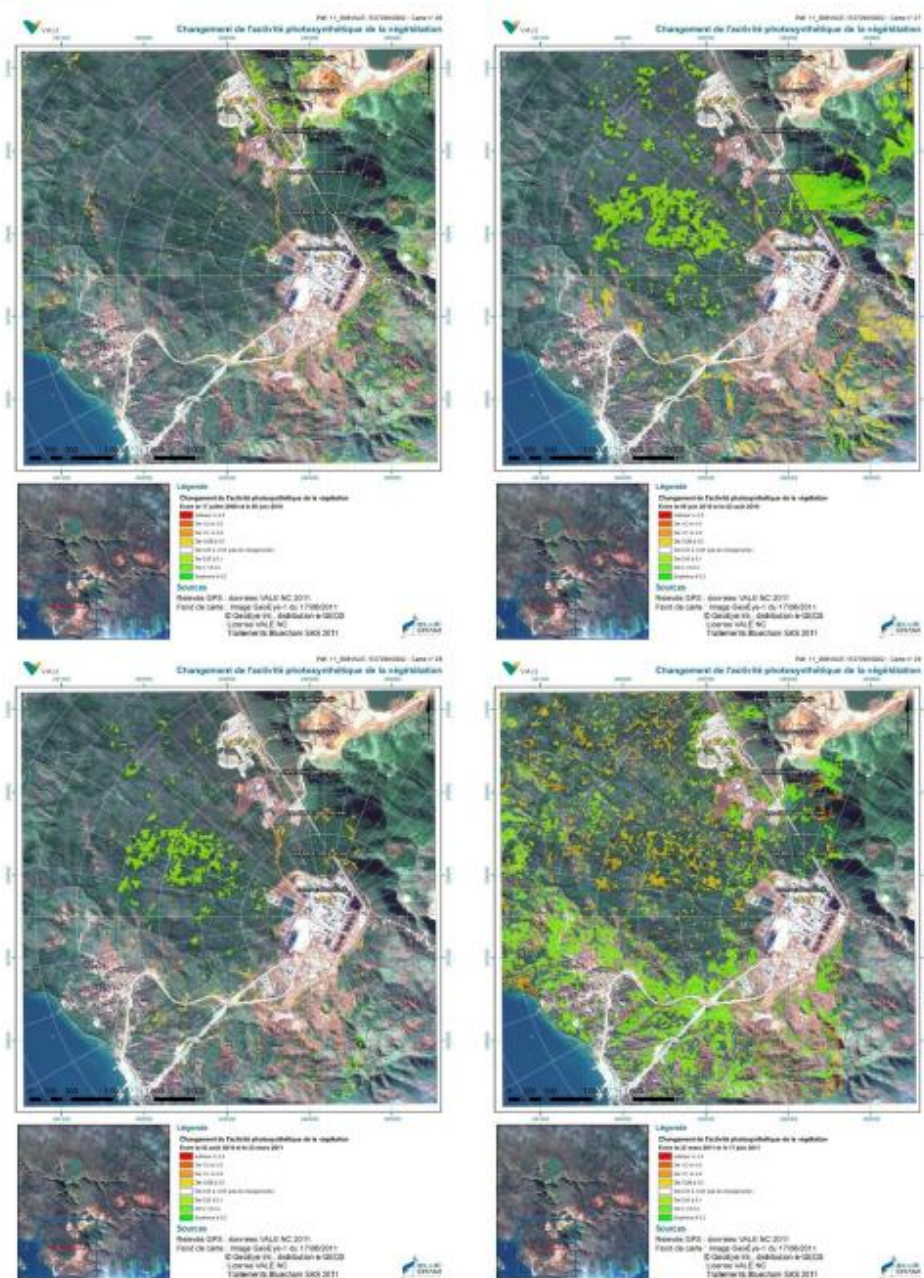
Pour s'affranchir des variations saisonnières de la végétation, chaque indice de l'activité de la végétation a été calibré par rapport à l'indice calculé à la date précédente.



4.4.3 Végétation globale

L'évolution de l'activité photosynthétique de la végétation a été réalisée de manière préliminaire sur les autres type de végétation sans distinction de type. Cette estimation a été réalisée à partir d'indices de l'activité de la végétation à partir des images satellitaires de la base de données de l'étude (données multispectrales). Pour s'affranchir des variations saisonnières de la végétation,

chaque indice de l'activité de la végétation a été calibré par rapport à l'indice calculé à la date précédente.



4.4.4 Contrôle qualité

Le contrôle qualité a été réalisé à partir de l'état des individus observés sur le terrain et relevé par GPS complété par plus d'une centaine de relevés sur les images et dont l'état a été obtenu par photo-interprétation assistée par ordinateur. Réalisée pour chaque date de la base de données, cette couche de référence se compose de 680 relevés pour vérifier la validité des classifications obtenues.

Les états « SAIN » et « MORT » présente une précision respectivement de 90 et 87%.

4.5 Analyse spatio-temporelle des changements

4.5.1 Analyse spatiale

4.5.1.1 Topographie

Deux crêtes d'altitude comprise entre 80 et 150 m respectivement ENE – WSW et WNW – ESE structurent le paysage à l'ouest du site industriel.

- Les secteurs impactés se situent entre les altitudes 0 m et 180 m
- Les individus touchés se localisent majoritairement tout d'abord dans la frange d'altitude 120 m -150 m, puis les classes d'altitude de 0 m à 120 m.

4.5.1.2 Distance à l'installation industrielle

L'analyse des distances par rapport au site industriel a été réalisée en calculant des distances linéaires (sans correction du relief) à partir d'un barycentre estimé dans l'enveloppe restreinte autour des zones de production du site industriel (Vale et Prony Energie).

- Les secteurs touchés en premier se situent majoritairement à une distance comprise entre 3000 m et 3500 m ;
- A partir d'août 2010, les individus touchés augmentent progressivement dans les secteurs plus proches du site industriel (1000 m – 2500 m)
- En juin 2011, deux secteurs se distinguent : 1000 – 2000 m du site industriel et 2500 m – 4500 m de distance du site industriel avec une légère prépondérance d'individus touchés dans les secteurs à 2500 – 3500 m de distance du site industriel.

4.5.1.3 Azimut par rapport à l'installation industrielle

L'analyse de la direction (ou azimut) des individus touchés par rapport au site industriel a été réalisée en calculant l'azimut ou l'angle entre le méridien passant par le barycentre du site industriel et le vecteur réalisé entre le barycentre du site industriel et le barycentre de chaque cluster de végétation analysée. Le Nord (N) géographique correspond à l'angle 0°, l'Est (E) à 90°, le Sud (S) à 180°, l'Ouest (W) à 270°.

2 directions par rapport au site industriel se dégagent très nettement :

- 280° - 290° (W – WNW)
- 310° (NW)

Dans le temps, (août 2010 – mars 2011), des variations peuvent être observées (prépondérance de l'une ou l'autre des orientations principales).

Une troisième direction est perceptible, notamment concernant les individus atteints (atteint et sénescents confondus) : la direction WSW vers 250°.

4.5.2 Analyse temporelle

4.5.2.1 Végétation à chêne gomme

- En juin 2010 :
 - les individus touchés au NW du site se situent à plus de 2000 m du site industriel ;
 - les individus touchés à l'WNW se situent à des distances plus proches du site industriel (de 500 m à 2000 m) ;
 - les individus morts sont observés en majorité entre 209° et 330° à des distances supérieures à 2000 m ;
 - Concernant les individus sénescents, plus l'angle augmente (d'W vers le N), plus la distance au site industriel des secteurs impactés augmente ;
- Entre juin 2010 et août 2010 :
 - les secteurs présentant une augmentation d'individus atteints ou sénescents se répartissent tout autour du site industriel.
 - un secteur N-NW se distingue autour de la base vie où l'augmentation d'individus atteints est similaire ;
 - Seulement deux secteurs présentent une augmentation du nombre d'individus morts ; ces deux secteurs sont localisés à l'W du site industriel ;
- En Août 2010 :
 - On observe une diminution de la distance au site industriel : des individus touchés apparaissent dès 500 m de distance au site à l'azimut 270° et ce, jusqu'à 2000m. Pour l'azimut NW, on observe de même un rapprochement des individus touchés ;
 - Les individus morts apparaissent directement à l'W du site industriel et à proximité du site (500 m – 1500 m)
- Entre Août 2010 et mars 2011 :
 - L'augmentation des individus atteints se localisent au NW, à l'W-NW à proximité du site et au SW en direction du port ;
 - Les secteurs présentant une croissance du nombre de morts sont localisés exclusivement plein W du site industriel.
- En mars 2011 :
 - Deux secteurs touchés s'individualisent : entre 500 m et 2500 m du site industriel et en direction plein W ; entre 1500 m et 2500 m du site au NW du site ;
 - On observe une progression vers l'W et le NW des individus morts à des distances de 1500 m – 2500 m par rapport au site industriel.
- Entre mars 2011 et juin 2011 :
 - Trois secteurs où le nombre d'individus atteints augmentent se distinguent. Le premier est localisé au NW et à plus de 2500 m du site industriel ; le second occupe un quart NW à W entre 1000 et 2500 m du site industriel. Le troisième secteur se situe au sud du site industriel, dans un secteur de collines.
 - L'augmentation du nombre d'individus morts à l'W, au NW et au SW.
- En juin 2011 :
 - Les deux secteurs observés en mars 2011 apparaissent : un secteur W (230° - 290°) où les individus touchés sont observés à des distances comprises entre 500 m et 2500 m. Un secteur NW (290° - 320°) s'individualise présentant des individus touchés entre 2000 m et 3000 m du site industriel ;
 - Les individus morts se répartissent à proximité du site industriel, directement à l'ouest, puis selon un arc NW (entre 290° et 320°) allongé à plus de 2000 m du site industriel.

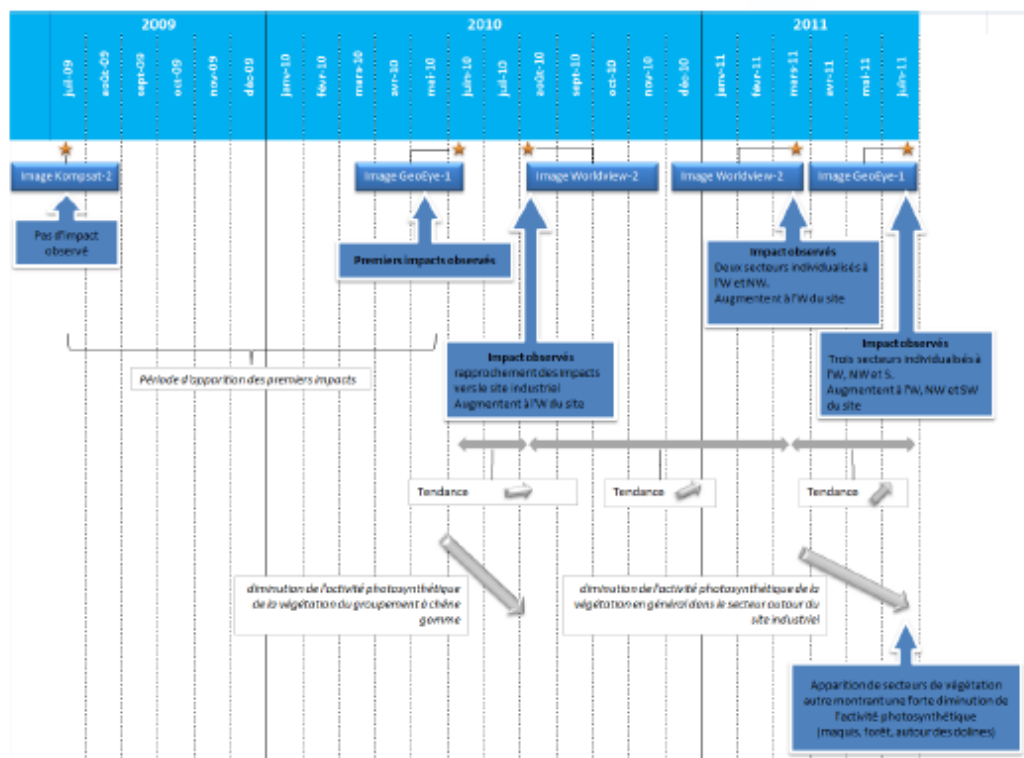
4.5.2.2 Evolution de l'activité photosynthétique de la végétation (hors groupement à chêne gomme)

Ces indices de calibration inter dates mettent en évidence :

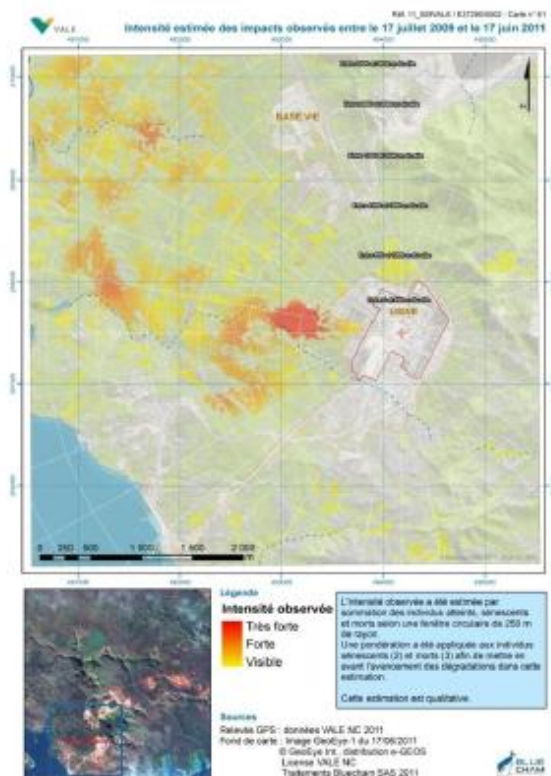
- Une augmentation globale en juin 2010 de l'activité de la végétation ;
- Une diminution globale en août 2010 ;
- Entre août 2010 et mars 2011, l'activité photosynthétique apparaît globalement stable ;

- L'activité photosynthétique indique une diminution globale entre mars 2011 et juin 2011.
- En juin 2010 :
 - L'augmentation de l'activité photosynthétique semble apparaître dans le tiers E de la zone d'étude.
 - Les secteurs présentant une baisse de l'activité de la végétation sont très éparpillés, souvent en bordure de dolines dans le quart NW de la zone d'étude ;
 - Une diminution de l'activité de la végétation est observée à proximité du site de stockage des résidus correspondant à une zone de défrichements ;
- En août 2010 :
 - La végétation présente une légère augmentation dans le quart NW de la zone d'étude et au nord.
 - Les secteurs présentant des diminutions de l'activité photosynthétique sont situés dans la zone de collines au sud de la zone d'étude, sur la crête à l'ouest du site industriel et au nord de la route menant au port ;
- En mars 2011 :
 - La même dynamique qu'août 2010 est observable en mars 2011 ;
- En Juin 2011 :
 - Un secteur orienté WNW – NW du site industriel et à des distances comprises entre 500 m et 3000 m du site industriel présentant des tâches de diminution de l'activité de la végétation apparaît ;
 - Ces secteurs forment des zones homogènes principalement sur les forêts denses ainsi que sur la végétation à bois de fer et en bordure de dolines.

4.5.2.3 Chronogramme



4.6 Conclusions



1. L'analyse de l'image Kompsat-2 à 1 m de juillet 2009 ainsi que de l'activité photosynthétique de la végétation à chène gomme ne met pas en évidence de valeurs ou d'objets anormaux.
2. Des individus touchés sont observés dès juin 2010. Les impacts apparaissent donc avant juin 2010. Sans donnée dans l'intervalle juillet 2009 – juin 2010, il n'est pas possible de déterminer l'apparition des impacts de manière plus fine.
3. On observe une diminution de l'activité de la végétation de l'ensemble des peuplements à chènes gomme entre juin 2010 et août 2010. Cette diminution s'observe également sur l'ensemble de la végétation. Ensuite (mars 2011 – juin 2011), l'activité photosynthétique des peuplements à chène gomme semble globalement stable. L'intervalle juin 2010 – août 2010 semble être une période clé où la végétation à chène gomme

enregistre une diminution de son activité photosynthétique.

4. Les individus détectés atteints ou morts se concentrent selon deux directions à partir du site industriel : W-WNW et NW.
5. Les impacts se rencontrent aux altitudes 120 m – 150 m puis autour de 0 m – 100 m et 150 m – 180 m d'altitude.
6. Les individus impactés sont d'abord observés à des distances de plus de 2 km du site industriel en juin 2010 avant de se rapprocher du site (500 m). Deux zones d'impact se distinguent entre 500 m et 2000 m à l'W du site et entre 2000 m et 3500 m au NW du site ;
7. Le nombre d'individus touchés augmentent sur l'ensemble de la période d'étude pour atteindre près de 30% (environ 100 ha répartis de manière discontinue) des chènes gomme de la zone étudiée ;
8. Les secteurs où l'impact augmente se situent à l'ouest du site industriel, à des distances comprises entre 500 m et 2000 m du site et au NW.
9. L'activité de la végétation autre que les peuplements à chène gomme montre une chute de l'activité photosynthétique sur la zone d'étude entre mars 2011 et juin 2011. On observe également l'apparition de tâches de végétation de type forêt, bois de fer autour des dolines présentant des diminutions de l'activité de la végétation dans un quart WNW – NW à proximité du site industriel.

5 ANNEXE 2 : Les produits SEPSAT

5.1 Qu'est-ce que SEPSAT



SEPSAT, Suivi Environnemental de Précision par SATellites, constitue une gamme de produits à haute valeur ajoutée développés par Bluecham SAS dans le cadre de partenariats RDI avec les agences spatiales et les spécialistes thématiques des instituts de recherche.

5.2 Les avantages des produits SEPSAT

Les produits SEPSAT sont :

- reproductibles dans le temps avec la garantie de résultats comparables ;
- reproductibles sur tout site avec la garantie de résultats comparables ;
- réalisables sur demande avec la même qualité après un événement exceptionnel ;
- précis aux échelles spécifiées pour chaque produit ;
- scientifiquement contrôlés avec des experts thématiques reconnus.

5.3 Les références RDI SEPSAT

Bluecham SAS participe en partenariat avec les instituts de recherche et les agences spatiales à des projets de recherche appliquée en environnement, modélisation, télédétection et traitement de l'information. Ces projets permettent au secteur Recherche, Développement et Innovation (RDI) de Bluecham SAS de garantir pour sa gamme de produits SEPSAT™ des références scientifiques et technologiques à la pointe de la recherche.

5.3.1 Agences Spatiales



Agence Spatiale Américaine
 Leader en imagerie Très Haute résolution

Depuis 2012 - Représentant officiel pour la Région pacifique



Centre National d'études Spatiales

2011/2014 – Projet FOSTER
 2012 - Projet RTU Pléiades
 Membre du CCT du CNES



Elecnor deimos

2011 – Projet Deimos Mangroves



European Space Agency

2010 – Projet BioVision
 2011/2014 – Projet FOSTER

5.3.2 Instituts de Recherche

	Institut de Recherche pour le Développement	2010/2012 – Suivi des mangroves en contexte minier 2011 – Suivi des mangroves à l'aide de données Deimos-1 2012 - Projet RTU Pléiades
	Université de la Nouvelle-Calédonie	2010/2012 – Suivi des mangroves en contexte minier 2011 – Suivi des mangroves à l'aide de données Deimos-1 2011/2014 – Fouille de Données Spatio-temporelles : application à l'Erosion 2012 - Projet RTU Pléiades
	Centre National de Recherche Technologique « Nickel et son Environnement »	2010/2012 – Suivi des mangroves en contexte minier
	L'Agence Nationale de la Recherche	2011/2014 – Fouille de Données Spatio-temporelles : application à l'Erosion
	Laboratoire des Sciences de l'Image, de l'Informatique et de la Télédétection	2011/2014 – Fouille de Données Spatio-temporelles : application à l'Erosion
	Laboratoire d'Informatique Systèmes, Traitement de l'Information et de la connaissance	2011/2014 – Fouille de Données Spatio-temporelles : application à l'Erosion
	Laboratoire d'Informatique en Image et Systèmes d'Information	2011/2014 – Fouille de Données Spatio-temporelles : application à l'Erosion
	Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid	2011 – Suivi des mangroves à l'aide de données Deimos-1
	Service Régional de Traitement d'Image et de Télédétection	2012 – Projet RTU Pléiades 2012 – 2015 – Projet DRAGON 3
	PlanetAction – EADS Astrium	2010 – Projet BioVision

