

Investigations sur les facteurs en cause du dépérissement de la végétation dans la zone d'emprise de l'activité industrielle de Vale Nouvelle Calédonie



Associate Professor Frank Murray

January 2012



www.murdoch.edu.au

Sommaire

1. Résumé	5
2. Introduction.....	8
3. Localisation géographique.....	8
4.Les facteurs en cause	9
5. Investigations.....	11
6. Expertise des symptômes sur le terrain	14
7.Investigation sur les causes du dépérissement de <i>Nothofagus balansae</i> au Pic du Grand Kaori.....	20
8. Résultats des analyses chimiques des feuilles.....	22
9. Incendies du stock de soufre	24
10. Des orientations nouvelles du programme de surveillance écologique.....	27
10.1 Parcels permanentes de suivi de l'état de santé de la forêt humide	27
10.2 Proposition pour un programme de surveillance écologique ciblant les zones à risque et les indicateurs de risque.....	30
10.3 Suivi des symptômes du dépérissement sur la végétation	31
10.4 Les échantillonneurs passifs	31
11. Conclusions.....	35
12. Références.....	36

Liste des figures

Figure 1. Localisation de la zone de déclin.	8
Figure 2. Arbres au sein de la forêt dégradée.	9
Figure 3. Le pourcentage d'arbres morts le long de transects placés au sein de la zone de déclin.	10
Figure 4. Sites visités pour revue des symptômes	13
Figure 5. Feuilles <i>d'Arillastrum gummiferum</i> montrant une chlorose interveinale caractéristique de l'effet toxique du SO ₂ au site 1	14
Figure 6. Chloroses et attaques d'insectes sur les feuilles <i>d'Arillastrum gummiferum</i> au site 1.	14
Figure 7. Individu <i>d'Arillastrum gummiferum</i> montrant une cime en 'corne de cerf' et une défoliation de la partie de l'arbre faisant face aux installations industrielles de Vale NC.	15
Figure 8. Individu de <i>Gymnostoma deplancheanum</i> mort sur le site 3.	16
Figure 9. Feuilles <i>d'Arillastrum gummiferum</i> montrant des dommages liés à l'attaque d'insectes et montrant une chlorose généralisée à toute la feuille (abattoir : site 4).	17
Figure 10. <i>Arillastrum gummiferum</i> au site 5 montrant des dommages causés par des insectes et une chlorose généralisée sur les feuilles; signes non attribuables aux polluants atmosphériques.	18
Figure 11. Nécrose apicale causée par le SO ₂ et observée au site 6 sur <i>Garcinia sp.</i>	18
Figure 12. Vue de la population de <i>Nothofagus balansae</i> en déprérissement localisé au Pic du Grand Kaori	19
Figure 13. Dommages causés par des insectes sur les feuilles de <i>Nothofagus balansae</i> et observés au Pic du Grand Kaori	20
Figure 14. Défoliation d'un individu mature de <i>Nothofagus balansae</i> au Pic du Grand Kaori	21
Figure 15. <i>Tristaniopsis guillainii</i> : Concentration moyenne de soufre dans les feuilles échantillonnées sur sites impactés et sur site témoin	22
Figure 16. Mesure de la concentration moyenne de SO ₂ (en moyenne heure) à proximité de la forêt riveraine (station AQMS mobile).	24
Figure 17. Teneur en azote des feuilles (%) au Pic du Grand Kaori de 2007 à 2010.	28
Figure 18. Teneur en azote (%) dans la litière provenant de 4 parcelles de Forêt Nord et enregistrée à partir de 2007 jusqu'en 2010.	29
Figure 19. Teneur en Azote (%) dans la litière provenant de 4 parcelles au Pic du Grand Kaori et enregistrée à partir de 2007 jusqu'en 2010.	29
Figure 20. Localisation des sites les plus à risque proposés pour l'emplacement des échantilleurs passifs à 1Km des installations industrielles de Vale Nouvelle Calédonie.	33
Figure 21. Localisation des sites les moins à risque et à forte valeur de conservation proposés pour l'emplacement des échantilleurs passifs à 3-4 Km des installations industrielles de Vale Nouvelle Calédonie	33
Figure 22. Localisation des sites proposés pour l'emplacement des échantilleurs passifs dans la région montant les sites témoins non exposés aux émissions issues de l'activité industrielle de Vale Nouvelle Calédonie.	34

Liste des tableaux

Tableau 1. Statut des investigations de Janvier 2012.	12
Tableau 2. Concentrations foliaires de soufre chez l'espèce <i>Tristaniopsis guillainii</i> échantillonnées sur les sites impactés où cette espèce montre des dommages importants et sur les sites témoins où les espèces ne présentent aucune dégradation.	22
Tableau 3. Concentration de soufre dans les feuilles de <i>Tristaniopsis guillainii</i> collectées sur des sites sélectionnés.	23
Tableau 4. Concentration foliaire de soufre et d'azote sur sites impactés et sur site témoin.	23
Tableau 5. La fréquence des incendies et autres incidents relatifs à l'aire de stockage du soufre entre Février 2009 et Septembre 2011.	25
Tableau 6. Concentrations de SO ₂ ambiant mesurées par la station mobile de suivi de la qualité de l'air.	26
Tableau 7. Résultats des analyses chimiques du sol au Pic du Pin pour N et S (%)	28
Tableau 8. Design du programme de suivi de la concentration de SO ₂ utilisant les échantilleurs passifs.	32
Tableau 9. Résumé des changements proposés au programme de surveillance écologique.	34

1. Résumé

En décembre 2010, Vale Nouvelle-Calédonie a constaté le dépérissement de la formation végétale se trouvant en aval de ses installations industrielles. Plusieurs populations d'espèces endémiques sont concernées bien qu'un dépérissement plus prononcé ait été observé chez la population d'*Arillastrum gummiferum* (ou Chêne gomme). Plusieurs investigations ont alors été initiées par ValeNC dans le but de dater et d'identifier les causes possibles de ce phénomène. L'objectif de ce rapport est de résumer les éléments de réponses apportés par ces investigations et de proposer des actions permettant de comprendre les facteurs mis en cause et de les contrôler.

Un diagnostic de l'état de la végétation a été réalisé tout autour des installations industrielles de ValeNC au niveau de sites sélectionnés. Il s'agissait de décrire les symptômes apparents et d'en déterminer les causes probables. Cette opération a permis de différencier les sites directement impactés par les émissions atmosphériques des autres sites affectés par des facteurs non liés à l'activité de Vale NC. C'est le cas du site du Pic du Grand Kaori où la formation végétale est sévèrement attaquée par des insectes.

Au Pic du Grand Kaori, la population de l'espèce forestière *Nothofagus balansae* a subi un dépérissement étendu. L'inspection par ValeNC de cette formation a montré que ce dépérissement se traduit par une défoliation totale des individus matures (diamètre des troncs > 30cm). Cela serait dû à un niveau anormalement élevé de dégradations causées par des insectes sur les feuilles. En parallèle, l'étude de l'Institut Agronomique Néo Calédonienne (IAC) a investigué sur les causes du dépérissement de *N. balansae* au niveau de 5 sites distinctement dispersés dans le Grand Sud Néo Calédonien. L'étude a conclu que ce phénomène était probablement lié à une stratégie de régénération de l'espèce. Les investigations de ValeNC et de l'IAC écartent donc clairement un dépérissement de *N. balansae* causé par une pollution atmosphérique et met en évidence l'importance des attaques d'insectes pouvant engendrer une défoliation totale et causer ainsi la mort de vieux arbres.

Des analyses chimiques ont été réalisées sur les feuilles de *Tristaniopsis guillaumini* et d'*Arillastrum gummiferum*. Ces feuilles ont été échantillonnées sur les sites impactés et non impactés par la pollution atmosphérique. Les analyses de *T. guillaumini* révèlent une concentration presque doublement élevée de soufre dans la zone impactée. En revanche la concentration de soufre dans les feuilles d'*Arillastrum gummiferum* n'augmente que de 15% dans la zone impactée. Concernant la concentration en azote, les deux espèces présentaient des concentrations très similaires dans les zones impactées et non impactées. Il y a donc plus de probabilités que l'émission de soufre soit responsable du dépérissement de la végétation.

Au sein des installations industrielles de Vale NC, les principales sources de dioxyde de soufre (SO₂) sont la centrale électrique, l'usine d'acide et les chaudières. Les enregistrements de concentration en SO₂ dans l'air ambiant montrent des teneurs inférieures aux valeurs limites pour la protection de la végétation. En revanche, il existe une

autre source sporadique d'émission de SO₂. Il s'agit de la combustion accidentelle de soufre élémentaire au niveau de la zone de stockage de soufre. Une station mobile de contrôle de la qualité de l'air a permis de mettre en exergue les concentrations atteintes lors de ce type de combustion et qui pourraient être à l'origine du dépérissement de la végétation.

La concentration maximale de SO₂ mesurée par la station mobile s'élève à 7687 µg/m³ en moyenne horaire. Cette valeur a été enregistrée le 18 Novembre 2011 durant un feu au niveau du stock de soufre. Or la valeur limite pour la protection de l'écosystème autorisée en Nouvelle-Calédonie est de 570 µg/m³ en moyenne horaire. Il ne fait aucun doute qu'une végétation sensible exposée à une telle concentration, même pour une durée de quelques minutes, développerait des symptômes sévères de dépérissement. La station mobile de contrôle de qualité de l'air étant placée à environ 100 mètres de la formation végétale la plus affectée, il est possible que les concentrations réelles d'exposition aient été moins élevées que ces concentrations mesurées ; néanmoins, il est probable que les concentrations d'exposition soient suffisamment élevées pour endommager la végétation sensible.

Les études préliminaires initiées par Vale NC investiguant sur les causes du dépérissement des forêts à l'ouest et au Nord-ouest des installations industrielles considéraient plusieurs facteurs potentiels. Pour des raisons citées dans un rapport précédent et dans celui-ci, les indices disponibles soutiennent la responsabilité du SO₂ comme étant le premier facteur de risque.

Les caractéristiques visuelles des symptômes du dépérissement suggèrent fortement une exposition aigue à des concentrations élevées de SO₂ pendant de courtes durées. Ce constat vient corroborer les résultats issus de la station mobile de contrôle de la qualité de l'air placé à proximité de la formation végétale en déclin, aillant enregistré une concentration moyenne horaire maximale de 7687 µg/m³ lors d'un incendie du stock de soufre.

L'actuel programme de surveillance écologique est mené sur des parcelles à forte biodiversité situées dans la Forêt Nord et au Pic du Grand Kaori et cela depuis 2007. Il consiste en l'enregistrement de paramètres de suivi indiquant l'état de santé de ces formations végétales. L'analyse des données de suivis révèle qu'il y a une légère variation des paramètres par site et en fonction de l'altitude et démontre aussi que ces formations n'ont subi aucun changement entre 2007 et 2010. Il faut quand même noter une légère augmentation de la teneur en azote dans les échantillons de feuilles, de litière et de sol échantillonnés à la Forêt Nord et au Pic du Grand Kaori, bien que ce changement n'ait eu aucun effet sur la santé de la végétation.

Ce programme de surveillance constitue une base de référence écologique permettant ainsi de mesurer et d'évaluer tout changement dans cet écosystème à forte valeur de conservation. Cependant maintenant que cette référence a été établie et que les espèces sensibles ainsi que les signes avant-coureurs de risques d'impact sont connus, il est nécessaire de se concentrer sur les zones identifiées comme étant à risque potentiel de dépérissement de la végétation. Le programme de surveillance devrait désormais être axé sur les sites les plus à risque c'est-à-dire à l'ouest et au nord-ouest des installations

industrielles. Il devrait également prendre en compte des paramètres de contrôle plus susceptibles de fournir un avertissement précoce des risques accrus d'impacts potentiels.

Le programme devrait donc passer d'une surveillance des processus écologiques fondamentaux à une évaluation des risques et symptômes les plus attendus accompagnée d'analyses chimiques révélant la teneur en soufre dans les feuilles d'espèces indicatrices sélectionnées. Le nouveau programme doit impérativement intégrer le suivi de la qualité de l'air à l'aide d'échantillonneurs passifs placés au sein des zones à risques. En résumé, les modifications qui sont proposées devraient fournir une meilleure couverture géographique de la zone et prévenir plus rapidement les risques accrus d'impacts permettant une intervention rapide.

2. Introduction

Le but de ce rapport est de résumer les progrès réalisés avec quelques-unes des diverses études et informations recueillies à ce jour et de proposer ainsi des actions pertinentes pour comprendre les facteurs de causalité et de les contrôler.

Vale Nouvelle-Calédonie a observé une détérioration des conditions de plusieurs espèces végétales endémiques, en particulier *Arillastrum gummiferum*, le chêne gomme, en Décembre 2010. En réponse à cette problématique, diverses enquêtes ont été lancées pour identifier les facteurs susceptibles de causer ce dépérissement et pour mettre en place un système de contrôle de ces facteurs en cause.

3. Localisation géographique

L'emplacement de la végétation forestière impactée est une zone adjacente à la limite ouest d'installations industrielles de Vale NC à proximité du creek Baie Nord. L'emplacement et l'étendue de la zone de déclin de la végétation a été évaluée par des levés au sol comme le montre la figure 1. L'étendue de la zone de déclin a été évaluée à environ 55 hectares.

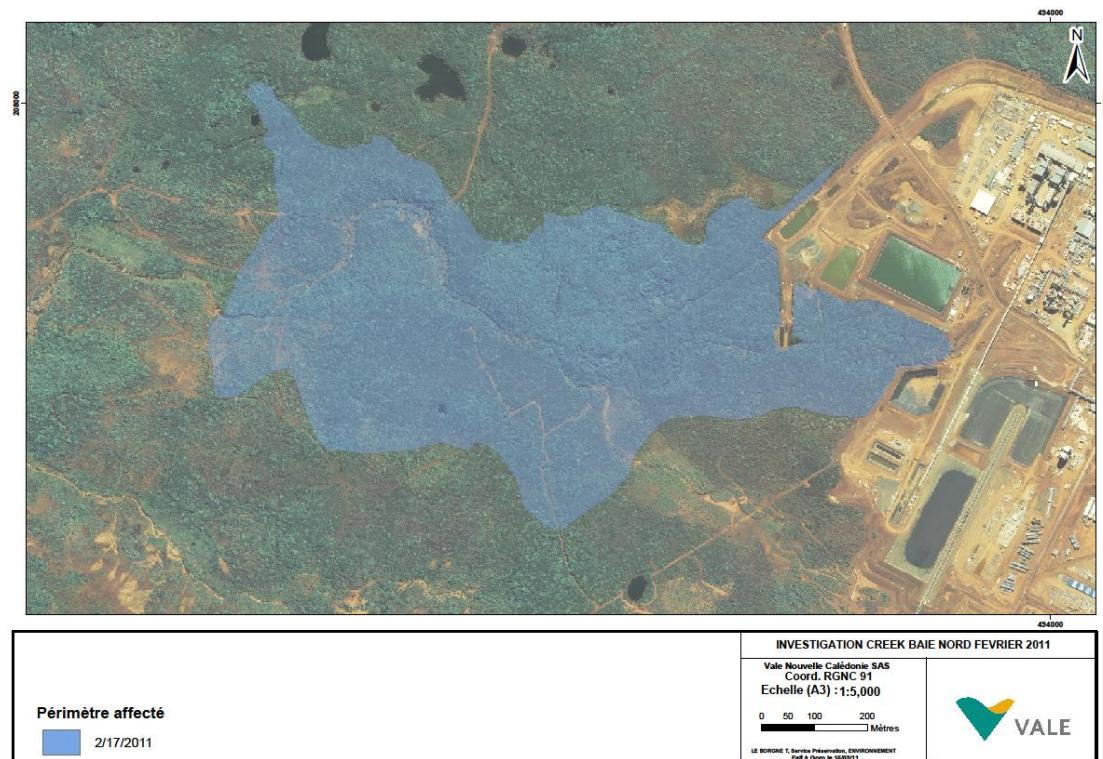


Figure 1. Localisation de la zone de déclin.

Les symptômes les plus sévères du dépérissement sont observés en majorité sur l'espèce *Arillastrum gummiferum* et légèrement sur d'autres espèces telles que *Findersia fournieri* et *Gymnostoma deplancheanum*. Sur les arbres ayant de larges feuilles et sur les arbustes, les symptômes apparents consistent en une nécrose de l'apex de la feuille ou de la périphérie du limbe. Cette nécrose se traduit par une coloration rouge-marron du tissu foliaire mort ou

une coloration marron-noir sur les feuilles juvéniles. Sur certaines espèces la nécrose pouvait être en périphérie du limbe causant ainsi une déformation incurvée de la feuille. L'infection au niveau du métabolisme de la feuille engendre une sénescence précoce et la chute des feuilles. Cela explique la présence d'un tas de feuilles à la base des arbres affectés et une ouverture anormalement grande de la canopée. Les hautes branches mortes d'un arbre affecté peuvent avoir l'apparence de 'corne de cerf' alors qu'une repousse des branches sur la partie basse ou moyenne du tronc peut apparaître.

L'écosystème le plus touché par ce dépérissement est la forêt riveraine et les flancs des vallées adjacentes au creek de la Baie Nord (Figure 2). Certaines zones de cet écosystème forestier sont dominées par l'espèce *Arillastrum gummiferum*.



Figure 2. Arbres au sein de la forêt dégradée.

4. Les facteurs en cause

En prenant conscience de ce phénomène, Vale Nouvelle-Calédonie a initié plusieurs enquêtes pour identifier les risques de certains facteurs qui contribuerait à la dégradation de la formation forestière. Cela inclue la cartographie de la zone affectée (figure 3), le diagnostic des symptômes apparents et l'analyse chimique des échantillons de feuilles et de sol. Un certain nombre de facteurs possibles pourrait être la cause ou contribuerait à ce dépérissement de la forêt. Ceux-ci ont été séparément analysés et discutés dans un précédent rapport (Murray, 2011).

Ces facteurs analysés étaient :

1. Les variations de l'hydrologie du milieu
2. La pollution de l'eau
3. Les maladies ou attaques d'insectes
4. Le changement de la quantité disponible d'éléments nutritifs
5. La dérive des biocides
6. Les oxydes d'azote ou ammoniac

7. Le dioxyde de soufre ou les particules de soufre.

Ces enquêtes donnent à penser qu'un polluant atmosphérique, sans doute le dioxyde de soufre serait le facteur en cause le plus vraisemblable. Ce constat est basé sur :

- La répartition spatiale de la formation forestière dégradée. Elle est adjacente aux installations industrielles et la sévérité des symptômes apparents diminue avec l'éloignement (Figure 3);
- Le positionnement de la zone affectée dans le paysage. La formation dégradée est localisée à l'ouest de la zone industrielle et la partie la plus sévèrement impactée se situe sur les crêtes qui font face aux installations industrielles ; la partie de basse altitude présente des signes légers du dépérissement ;
- La diversité des espèces affectée et de leur réponse face à la perturbation. Par exemple *Arillastrum gummiferum* est sévèrement impacté alors que d'autres espèces sont moins voire pas du tout impactées ;
- L'absence de preuves solides soutenant d'autres facteurs de causalité ;
- Les concentrations élevées de soufre dans les feuilles originaire de la zone dégradée et l'absence de teneurs élevées d'autres facteurs chimiques possibles;
- Les preuves d'émissions de dioxyde de soufre de manière épisodique et à des concentrations élevées susceptibles d'endommager la végétation dans la zone dégradée, et
- Les symptômes observés sur la végétation. La majorité de ces symptômes tels que la nécrose de l'apex et de la périphérie du limbe des feuilles ou encore les rejets au niveau de la base du tronc ou l'apparence en 'corne de cerf' sont caractéristiques d'une toxicité du dioxyde de soufre sur la plante.

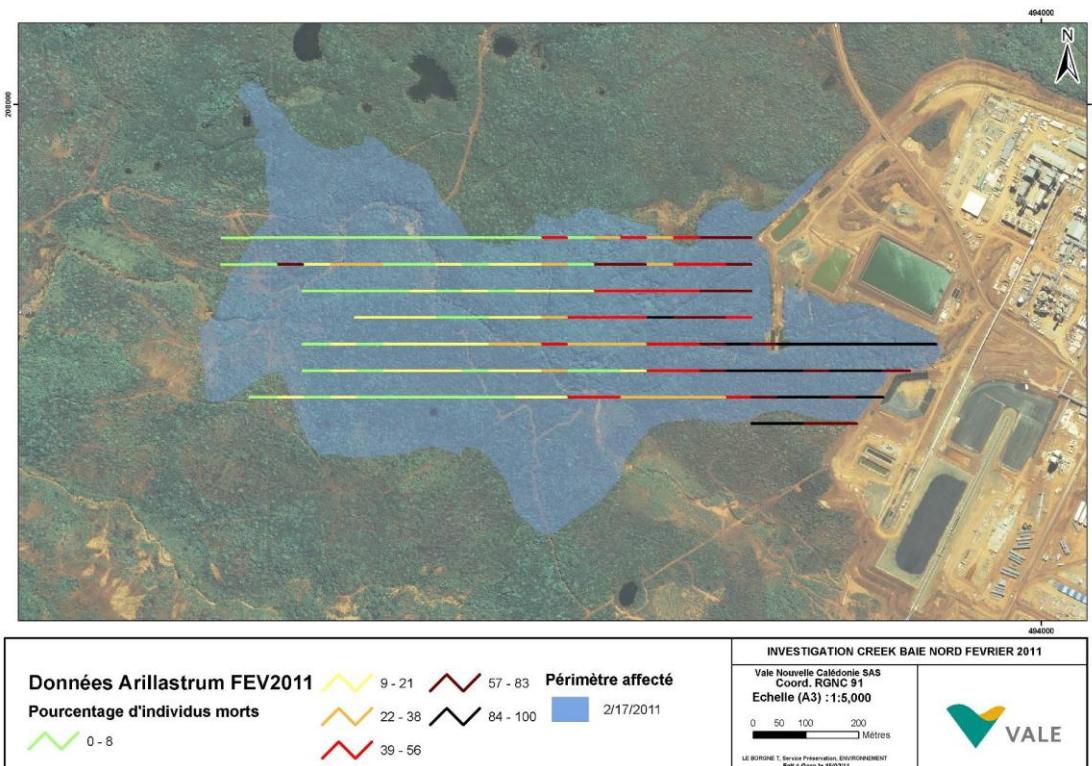


Figure 3. Le pourcentage d'arbres morts le long de transects placés au sein de la zone de déclin.

5. Investigations

L'observation des dommages visibles sur la végétation a permis à Vale NC de développer un plan d'action dont les objectifs sont de :

- Localiser la zone impactée et décrire l'évolution de la zone dans le temps
- Evaluer la sévérité de l'impact
- Identifier les facteurs responsable ou contribuant au dépérissement

Le guide symptomologique

Un guide est en cours de préparation. Il décrit les symptômes observés sur un certains nombres d'espèces clés sélectionnées et évalue la sévérité de l'impact. Cet outil sera utiliser pour suivre le phénomène sur le terrain et permettra de mieux cartographier les symptômes.

Un certain nombre de sites seront visités. Ceux-ci seront situés à des distances variables du site industriel et dans différentes directions. A chaque site une série de symptômes caractéristiques sera évaluée sur les espèces clé sélectionnées, y compris la chlorose marginale et interveinale, la nécrose marginale et interveinale, l'abscission prématurée des feuilles, la déformation des feuilles, l'apparence de 'corne de cerf' et d'autres encore.

L'évaluation du dépérissement de la forêt

Des parcelles permanentes seront installées au sein de la formation forestière en dépérissement. Cela permettra de suivre de près les changements écologiques dans le temps. Cette évaluation est détaillée dans la section 10.

L'analyse chimique des feuilles

Des feuilles ont été échantillonnées au niveau de la zone impactée et dans des zones témoins très éloignées de la source d'émission. L'opération sera répétée afin d'aider à identifier toute contamination chimique et les concentrations qui peuvent être associées aux dommages présents dans la formation forestière. L'analyse est discutée en détail dans la section 8.

Les analyses par télédétection

Les photos satellite ont été utilisées pour mieux cartographier la surface de la formation forestière dégradée, pour dater le début du dépérissement et pour suivre l'évolution du phénomène dans le temps. Vale NC a mandaté la société Blue Cham pour analyser ces données satellitaires (Blue Cham 2011). Cette étude est en cours de validation des données et analyses.

Expertise sur le terrain

Les résultats issus de l'analyse des photos satellite par Blue Cham, en particulier l'étendue géographique et la sévérité de l'impact sont en cours de vérification sur le terrain.

La modélisation de la pollution atmosphérique

La modélisation des concentrations de divers polluants atmosphériques au niveau du sol est en cours de mise à jour. Cette nouvelle modélisation sera plus affinée puisqu'elle utilisera des données d'émissions atmosphériques et des données météorologiques plus précises et à jour.

Le suivi de la qualité de l'air

Une station mobile de contrôle de la qualité de l'air a été placée à proximité de la formation forestière dégradée. L'objectif est de mieux suivre les concentrations de polluants atmosphériques émis en informant à la fois sur les pics de concentrations et sur les concentrations moyennes à long terme dans la zone la plus impactée. Une attention plus particulière sera portée aux données de dioxyde de soufre et d'oxydes d'azote.

De plus, des échantilleurs passifs seront installés au sein de la forêt dégradée. Ceux-ci mesureront les concentrations de dioxyde de soufre (et oxydes d'azote) pour mieux définir la concentration moyenne mensuelle et l'étendue géographique de ces concentrations. Les échantilleurs passifs seront plus largement discutés dans la section 10.4.

L'étude de fumigation

La priorité est d'évaluer les effets du dioxyde de soufre sur la végétation endémique. Les espèces utilisées pour l'étude de fumigation seront celles pour lesquelles les symptômes du dépérissement sont les plus accentués. L'objectif de l'étude sera donc de caractériser les réponses de ces espèces sensibles à différentes concentrations de dioxyde de soufre.

Les espèces sélectionnées seront fumigées au SO₂ dans des chambres à ciel ouvert. Ces chambres consistent en des cylindres de 2.4m de hauteur et de 3m de diamètre. Le SO₂ sera libéré quotidiennement à l'intérieur de la chambre pour une durée de 4 heures pendant deux ou trois mois. L'étude comprendra un traitement témoin et une gamme de concentrations de SO₂. L'étude de fumigation a fait l'objet d'un rapport détaillé de Vale NC (2011).

Tableau 1. Statut des investigations de Janvier 2012

Investigation	Statut actuel
Guide symptomologique	En cours
Evaluation du dépérissement de la forêt	En planification
Analyse chimique des feuilles	En cours
Etude de télédétection	En cours
Expertise sur le terrain	Fait
Modélisation de la pollution atmosphérique	En cours
Suivi de la qualité de l'air	Opérationnel
Etude de fumigation	En planification
Echantilleurs passifs	En cours

6. Expertise des symptômes sur le terrain

Des investigations basées sur des observations de terrain et datant du 13 et 14 Décembre 2011 ont été réalisées sur des sites sélectionnés aux alentours des installations industrielles de Vale NC. Leur objectif était d'évaluer l'état de la végétation par l'observation de ses symptômes visibles et d'identifier les facteurs en cause possible. Ces investigations de terrain ont concernés des sites :

- déjà étudiés en Octobre 2011
- identifiés par l'étude symptomologique
- d'autres localisés au sein des parcelles permanentes de la Forêt Nord et du Pic du Grand Kaori suivis depuis 2007.

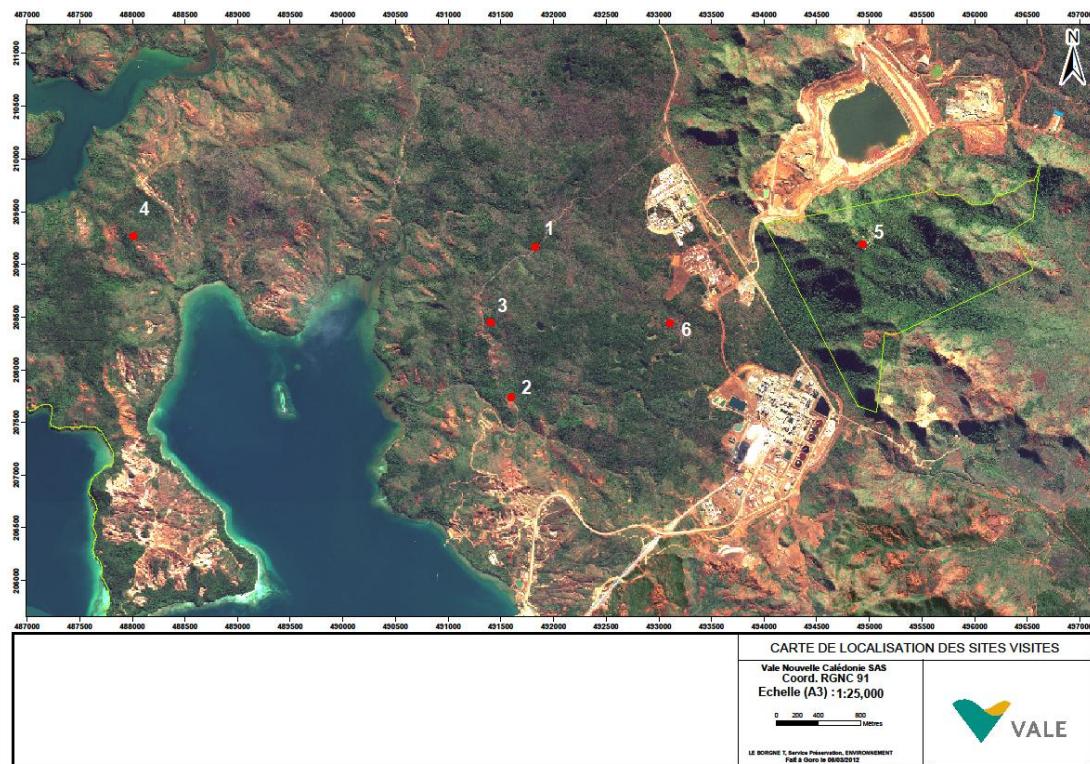


Figure 4. Sites visités pour revue des symptômes

Voici différentes descriptions des symptômes vus sur certains de ces sites.

Site 1

Localisation S22.31803; E166.89137

Ce site est situé à 3 Km au Nord-Ouest des installations industrielles et consiste en un maquis dense à paraforestier d'environ 6 à 8 m de hauteur. Sur ce site, les branches de l'espèce *Arillastrum gummiferum* prennent la forme de 'corne de cerf' et de manière prononcée de sorte que certaines branches sont totalement dépourvues de terminaisons apicales. De plus, les feuilles *d'Arillastrum gummiferum* étaient recouvertes d'une quantité considérable de poussières et présentaient des symptômes tels que la chlorose interveinale et la nécrose marginale du limbe. De plus, des signes sévères d'attaque d'insectes apparaissent sur les feuilles.

Les feuilles de *Codia sp.* sont sévèrement endommagées par les insectes 'foreurs'. Non seulement ce site est menacé par la pollution atmosphérique mais les feuilles subissent également des attaques d'insectes.



Figure 5. Feuilles *d'Arillastrum gummiferum* montrant une chlorose interveinale caractéristique de l'effet toxique du SO₂ au site 1

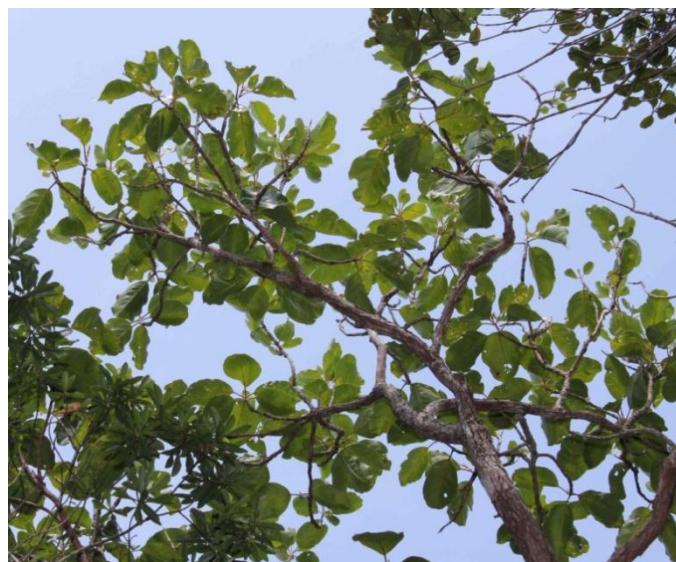


Figure 6. Chloroses et attaques d'insectes sur les feuilles *d'Arillastrum gummiferum* au site 1

Site 2

Localisation S22.33076; E166.88840

Ce site est situé sur une ligne de crête exposant ainsi directement la population d'*Arillastrum gummiferum* aux rejets atmosphériques de Vale NC. Les branches de la cime des arbres d'*A. gummiferum* sont complètement dénudées et prennent ainsi l'apparence de 'cornes de cerf' en revanche de nouvelles branches se développent sur les branches latérales et sur le vieux bois. Les feuilles présentent de la chlorose interveinale et une nécrose apicale. Les symptômes sont nettement plus prononcés sur la partie de l'arbre faisant face aux installations industrielles de Vale NC.

A l'opposé, les individus d'*A. gummiferum* situés sur les zones les moins exposées aux rejets industriels atmosphériques présentent des symptômes légers (à quelques dizaines de mètres de ce site, de l'autre côté de la crête par exemple).

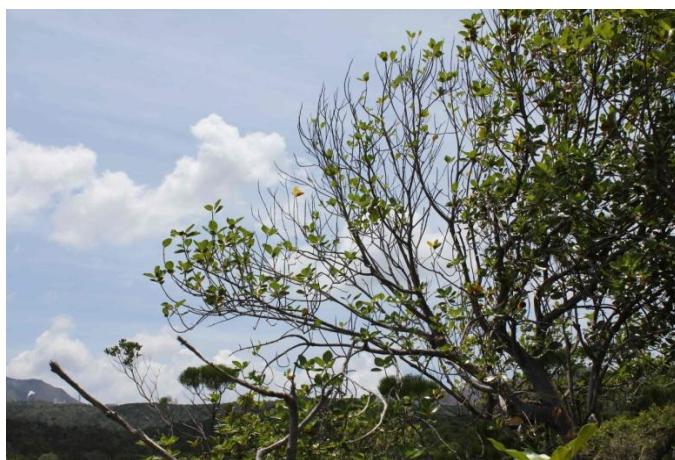


Figure 7 : Individu d'*Arillastrum gummiferum* montrant une cime en 'corne de cerf' et une défoliation de la partie de l'arbre faisant face aux installations industrielles de Vale NC. On peut voir les installations de Vale NC à gauche en arrière-plan.

Site 3

Localisation S22.32467; E166.88722

Ce site est situé sur un versant faisant face aux installations industrielles de Vale NC et à environ 2 Km au sud du site 1. Sur ce site de 20 m x 20 m plusieurs individus de *Gymnostoma deplancheanum* sont morts ou montrent des dommages sévères au niveau des branches les plus hautes. Aussi, de nouvelles branches apparaissent sur les branches les plus basses. Plusieurs individus de *Lomandra insularis* présentent des symptômes spécifiques à une toxicité du SO₂. Les dommages présents sur ce site sont sans aucun doute attribuables à une émission de SO₂ dans l'atmosphère.



Figure 8 : Individu de *Gymnostoma deplancheanum* mort sur le site 3

Site 4 : Pointe de l'abattoir

Localisation S22.30857; E166.85756

Ce site est situé en ligne de crête à environ 6 Km des installations industrielles de Vale NC. Les individus *d'Arillastrum gummiferum* ont été sévèrement attaqués par les insectes mais ne présentent pas de symptômes liés aux émissions atmosphériques. En revanche, il y a bien une chlorose apicale et une chlorose généraliste, mais les symptômes caractéristiques tels que chlorose des bordures et interveinaires ou encore nécrose des pointes du limbe, typiques des zones impactées, n'ont pas été vu ici.



Figure 9 : Feuilles *d'Arillastrum gummiferum* montrant des dommages liés à l'attaque d'insectes et montrant une chlorose généralisée à toute la feuille. Ces signes sont de ce fait non attribuable à une pollution atmosphérique (abattoir : site 4).

Site 5: La tour Telecom

Ce site est situé au Nord-Est des installations industrielles de Vale NC. Il n'y a aucun signe de dommages attribuables aux polluants atmosphériques. Les symptômes présents sont couramment observés sur les espèces végétales endémiques de la NC et témoignent d'attaques d'insectes comme sur *Codia spatulata* ou de carence nutritive du sol marqué par une chlorose généralisée de la feuille.



Figure 10. *Arillastrum gummiferum* au site 5 montrant des dommages causés par des insectes et une chlorose généralisée sur les feuilles; signes non attribuables aux polluants atmosphériques.

Site 6: Station de traitement des eaux usées

Ce site est localisé à proximité de la station de traitement des eaux usées. Au niveau de la zone la plus élevée, la végétation montre des signes caractéristiques d'une toxicité du dioxyde de soufre atmosphérique. Il s'agit de nécrose apicale et de chlorose interveinale. En revanche, sur la zone la plus basse le long du creek de la baie Nord, des dommages sont observés sur les grands arbres uniquement alors que la végétation basse ne présente aucun signe de dégradation. Cependant les causes de ces dommages n'ont pu être observées de près et restent indéterminées.

Les symptômes présents sur ce site ne semblent pas s'aggraver depuis la dernière inspection en octobre 2011.



Figure 11. Nécrose apicale causée par le SO₂ et observée au site 6 sur *Garcinia* sp.

7. Investigation sur les causes du dépérissement de *Nothofagus balansae* au Pic du Grand Kaori

En Avril 2011, Vale NC a initié des investigations pour tenter de déterminer les causes du dépérissement de la population de *Nothofagus balansae* située au Pic du Grand Kaori. Il s'agissait d'observations de la zone affectée (Figure 12). Celle-ci correspond à une grande forêt dense localisée à proximité du site PGK1. Les investigations montrent que les arbres matures dont les troncs mesurent plus de 30cm de diamètre sont victimes d'une défoliation presque généralisée à l'individu. En revanche quelques plantules présentent aussi des signes d'une attaque d'insecte bien que la majorité semble être en bonne santé. A partir de ces observations, Vale NC conclue que les dommages présents sur les feuilles de *Nothofagus balansae* témoignent d'une attaque sévère par des insectes (Figure 13). Aussi il ne fait aucun doute que les symptômes observés sur cette espèce ne sont pas causés par une pollution atmosphérique.



Figure 12. Vue de la population de *Nothofagus balansae* en dépérissement localisé au Pic du Grand Kaori

Les observations de Vale NC ont été vérifiées et validées avec et par l'Institut agronomique Néo-Calédonien qui a également enquêté sur la même problématique du *Nothofagus balansae*. Cette problématique a en effet fait l'objet d'une étude détaillée de l'IAC puisque le problème s'est posé simultanément sur 5 sites distincts du Sud de la NC et pour la majorité dans des régions très éloignés de la zone d'emprise de Vale NC (Carriconde et Maggia, 2011). Sur ces 5 sites, l'IAC a aussi observé une défoliation et la mort d'individus matures de *N. balansae*. En revanche, d'autres espèces du genre *Nothofagus* présents dans ces

formations concernées par l'étude ne montraient aucun signe de dépérissement. L'étude conclue alors que ce problème presque synchronisé de ces populations dispersées est un phénomène de mortalité en masse probablement orchestrée par des facteurs environnementaux ou physiologiques propre à l'espèce. De plus Carriconde et Maggia (2011) citent que ce phénomène a déjà été observé et étudié en Papouasie Nouvelle Guinée mais les causes n'ont pas été identifiées.



Figure 13. Dommages causés par des insectes sur les feuilles de *Nothofagus balansae* et observés au Pic du Grand Kaori



Figure 14. Défoliation d'un individu mature de *Nothofagus balansae* au Pic du Grand Kaori

8. Résultats des analyses chimiques des feuilles

L'analyse de la composition chimique des feuilles est un outil de contrôle efficace pour identifier les facteurs chimiques associés aux dommages sur la végétation et pour évaluer les concentrations à partir desquelles la végétation montre des symptômes.

Les analyses chimiques ont été réalisées sur des échantillons foliaires de *Tristaniopsis guillainii* puisque cette espèce présente des signes évidents de dégradation sur le terrain. Les feuilles de 4 individus sur zone impactée et 4 autres sur zone témoin ont été échantillonnées. Les analyses révèlent une augmentation de la concentration foliaire de soufre d'environ 50% dans la zone impactée (Tableau 2 et Figure 14).

Table 2. Concentrations foliaires de soufre chez l'espèce *Tristaniopsis guillainii* échantillonnées sur les sites impactés où cette espèce montre des dommages importants et sur les sites témoins où les espèces ne présentent aucune dégradation

	Moyenne S (par mg/kg)	Ecart-type
Moyenne site Témoin	883	105,522115
Moyenne site Impacté	1343	160,254745

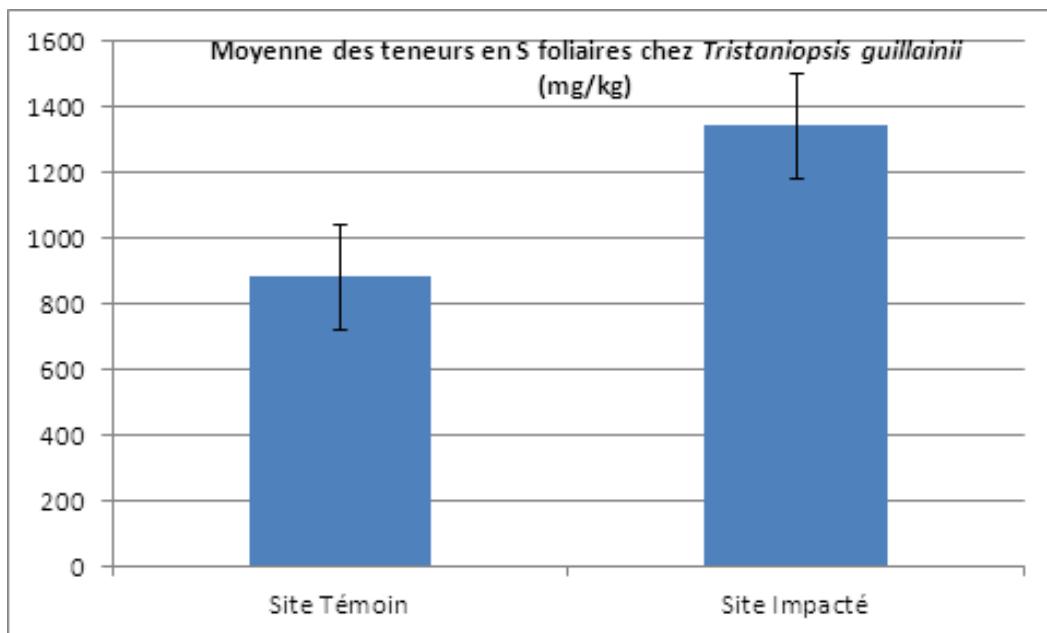


Figure 15. *Tristaniopsis guillainii* : Concentration moyenne de soufre dans les feuilles échantillonnées sur sites impactés et sur site témoin

Les tableaux 3 et 4 montrent que la concentration foliaire de soufre augmente avec une exposition croissante aux rejets atmosphériques issus des installations de Vale NC. En effet le Tableau 3 révèle que la concentration de soufre chez *Tristaniopsis guillainii* est deux fois plus élevée sur zone impactée que sur zone témoin. Chez *Arillastrum gummiferum*, la

tendance est la même avec une augmentation de seulement 15%. En revanche, la concentration foliaire d'azote n'augmente que très légèrement sur zone impactée par rapport à la zone témoin. Celle-ci ne varie que de + 7% chez *Tristaniopsis guillainii* et de +1% chez *Arillastrum gummiferum*. Ces analyses démontrent que l'émission de dioxyde de soufre a plus de probabilité d'être le facteur causant le dépérissement.

Tableau 3. Concentration de soufre dans les feuilles de *Tristaniopsis guillainii* collectées sur des sites sélectionnés. Les échantillons ont été collectés en Octobre 2011 puis analysés par l'IRD Nouméa.

Lieux d'échantillonage	Moyenne S (par mg/kg)
Zone Témoin 1 Pont creek Pernod	842
Zone Témoin 2 Route Station de Pompage	829
Zone Témoin 3 Marais Kiki	1041
Zone Témoin 4 Station pompage/Barrage Yaté	821
Zone impactée 1	1185
Zone impactée 2	1565
Zone impactée 3	1329
Zone impactée 4	1292
Embranchement Madeleine SUP	917

Tableau 4. Concentration foliaire de soufre et d'azote sur sites impactés et sur site témoin. Les échantillons ont été collectés en Octobre 2011 puis séchés et broyés avant la digestion.

Espèce et lieu d'échantillonage	Azote Moyenne (par %)	Kj	Moyenne S (par mg/kg)
<i>Tristaniopsis guillainii</i> site témoin	0.62		634
<i>Tristaniopsis guillainii</i> site affecté	0.69		1242
<i>Arillastrum gummiferum</i> site témoin	0.8		654
<i>Arillastrum gummiferum</i> site affecté	0.81		756

9. Incendies du stock de soufre

Un précédent rapport de Vale Nouvelle-Calédonie (2011) avait identifié les principales sources de dioxyde de soufre au sein des installations industrielles de Vale NC comme étant la centrale électrique, l'usine d'acide et les chaudières à vapeur. Les mesures de concentrations de SO₂ dans l'air ambiant indiquent que les seuils de protection pour la végétation ne sont pas dépassés même si des pics de concentration aient été enregistrés durant la surveillance de la qualité de l'air (figure 15). Un de ces pics de concentration peut être expliqué par le lancement de l'usine d'acide et des chaudières de vapeur de Vale NC.

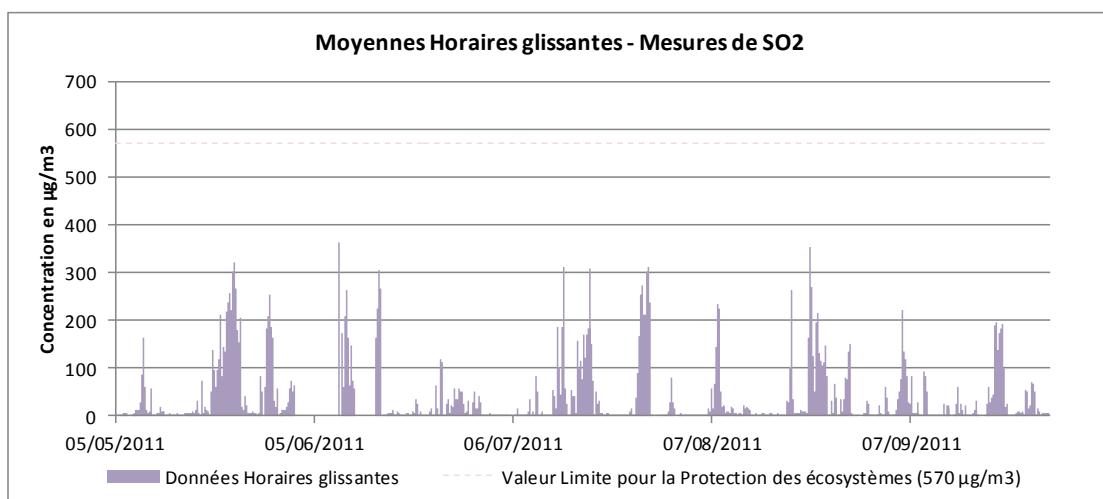


Figure 16. Mesure de la concentration moyenne de SO₂ (en moyenne heure) à proximité de la forêt riveraine (station AQMS mobile).

Une source irrégulière d'émission de SO₂ provient de la combustion du soufre élémentaire au niveau de l'aire de stockage du soufre. Les enregistrements reportent que ces incendies accidentelles sont sporadiques (tableau 5).

Tableau 5. La fréquence des incendies et autres incidents relatifs à l'aire de stockage du soufre entre Février 2009 et Septembre 2011

Date	Heure	Incident (FR)	Incident (EN)	Direction du vent	Force du vent
11/02/2009	13h31	Départ de feu au stockage de soufre zone 545	Start fire at sulfur storage	240	5,5
01/08/2009	13h18	Départ de feu au stockage de soufre zone 545	Start fire at sulfur storage	156	2
03/08/2009	18h09	Départ de feu de soufre en zone 330	Start sulfur fire at acid plant	109	2,5
12/08/2009	17h28	Départ de feu au stockage de soufre zone 545	Start fire at sulfur storage		
16/08/2009	11h49	Départ de feu de soufre en zone 330	Start sulfur fire at acid plant	149	2
30/10/2009	12h54	Départ de feu au stockage de soufre zone 545	Start fire at sulfur storage	96	2,7
19/01/2010	14h25	Départ de feu de soufre en zone 330	Sulfur fire at sulfur acid plant	354	4,86
02/03/2010		Départ de feu de soufre en zone 330	Sulfur fire at sulfur acid plant	52	0,9
08/03/2010		Dégagement de SO2 en zone 330	Realese of SO2 at acid plant	84	3,13
04/04/2010		Fuite de SO2 en zone 330	Leak of SO2 at acid plant	55	0,15
12/05/2010	19h50	Fuite de SO2 en zone 330	Leak of SO2 at acid plant	0	0
02/08/2010	16h19	Détection de gaz de SO2 en zone 330	Gaz detection at acid plant	41	0,7
20/08/2010	15h58	Fumerolles au stockage de soufre zone 545	Fumaroles at sulfur storage	28	1,9
11/09/2010	9h19	Fuite de SO2 en zone 330	Leak of SO2 at acid plant	32	0
20/10/2010	1h09	Détection de gaz de SO2 en zone 330	Gaz detection at acid plant	84	0,9
20/10/2010	4h26	Fuite de SO2 en zone 330	Leak of SO2 at acid plant	84	0,3
20/10/2010	17h40	Fuite de SO2 en zone 330	Leak of SO2 at acid plant	99	0,9
02/11/2010	00h39	Fuite de SO2 en zone 330	Leak of SO2 at acid plant		
05/11/2010	20h57	Fumerolles au stockage de soufre zone 545	Fumaroles at sulfur storage		
22/01/2011	18h20	Feu dans un fut de soufre en zone 330	Cask fire at sulfur acid plant	250	4,1
06/02/2011	15h08	Départ de feu près du tas de soufre zone 545	Start of fire at sulfur storage	130	5
08/02/2011	13h48	Fumerolles au stockage de soufre zone 545	Fumaroles at sulfur storage	130	3,6
16/02/2011	8h50	Fumerolles au stockage de soufre zone 545	Fumaroles at sulfur storage	130	5,6
18/02/2011	10h13	Fumerolles au stockage de soufre zone 545	Fumaroles at sulfur storage	110	7,2
18/02/2011	13h16	Fumerolles au stockage de soufre zone 545	Fumaroles at sulfur storage	110	6,6
27/04/2011	12h58	Départ de feu de soufre au niveau du convoyeur aérien	Start fire at aerial conveyor	200	3,9
28/04/2011	14h36	Départ de feu de soufre au niveau du convoyeur aérien	Start fire at aerial conveyor	120	4,2
03/06/2011	10h52	Fumerolles au stockage de soufre zone 545	Fumaroles at sulfur storage		
03/06/2011	01h40	Départ de feu de soufre au niveau du stockage de soufre zone 545	Start fire at sulfur storage	340	1,1
09/06/2011	22h43	Départ de feu de soufre en zone 330	Start sulfur fire at acid plant	300	2,1
15/07/2011	7h59	Départ de feu au stockage de soufre zone 545	Start fire at sulfur storage	120	4,1
16/07/2011	8h49	Départ de feu de soufre en zone 330	Start sulfur fire at acid plant	130	7
27/09/2011	16h25	Départ de feu de soufre en zone 330	Start sulfur fire at acid plant	250	4,3
06/09/2011	6h42	Fumerolles au stockage de soufre zone 545	Fumaroles at sulfur storage	80	6,8

Afin de mieux appréhender les concentrations de soufre à proximité du milieu impacté, Vale NC a fait installer une station de suivi de la qualité de l'air à proximité de la zone la plus endommagée. Cette nouvelle station a permis de recueillir des données notamment lors d'un incendie sur le stock de soufre.

Tableau 6. Concentrations de SO₂ ambiant mesurées par la station mobile de suivi de la qualité de l'air qui est localisée à l'ouest de l'aire de stockage du soufre et datant du .18 Novembre 2011 durant un incendie au niveau de l'aire de stockage du soufre

Heure d'enregistrement	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
13:30	53
13:45	6 181
14:00	20 524
14:15	3 912
14:30	132
14:45	62
15:00	36

La concentration moyenne horaire maximum enregistrée est de 7687 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Or la valeur limite horaire pour la protection de l'écosystème appliquée en Nouvelle Calédonie est de 570 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Il n'y a pas de doute qu'une végétation sensible exposée à de telles concentrations même pour une durée de quelques minutes montrerait des dommages sévères de dépérissement. Cependant les mesures prises par la station mobile ne sont pas totalement représentatives des concentrations auxquelles la végétation est exposée puisque la station est située à environ 100m de la formation végétale impactée. Il est néanmoins probable que les concentrations réelles soient suffisamment élevées pour endommager une formation végétale sensible.

10. Des orientations nouvelles du programme de surveillance écologique

10.1 Parcelles permanentes de suivi de l'état de santé de la forêt humide

Un programme de suivi de l'état de santé de la flore a été mis en place par Vale NC depuis 2007. Les formations considérées ont été sélectionnées de par leur localisation dans la zone d'influence, leur richesse biologique et leur intérêt patrimonial à l'échelle du Grand Sud. Les formations considérées sont les forêts humides sempervirentes de basse altitude des réserves terrestres suivantes :

- la forêt Nord,
- la forêt du Pic du Grand Kaori et
- la forêt du Pic du pin.

Ce suivi permet d'évaluer la santé de ces formations et de mettre en évidence des changements dans la végétation au regard des émissions gazeuses industrielles. L'étude s'appuie sur une méthodologie développée par l'Université de Murdoch en Australie Occidentale (Murray 2004). Les résultats entre 2007 et 2009 ont déjà fait l'objet d'un rapport de synthèse. Ce rapport conclue que ces formations n'ont subi aucun changement à l'exception d'une légère augmentation de la teneur foliaire d'azote chez 7 espèces végétales échantillonnées au Pic du Grand Kaori de 2007 à 2010 (Figure 16). Les sites suivants ont été inspectés le 14 Décembre 2011:

Forêt Nord Parcelles FN1, FN2, FN3 & FN4

Ces parcelles sont composées d'une strate ligneuse très haute et très dense puis d'une strate moyenne et éparses et enfin d'un sous-bois peu dense et bas. Par cette structure forestière et pour des raisons logistiques, il n'a pas été possible de recueillir des informations au niveau de la strate supérieure. Les observations se focalisent donc sur la strate moyenne.

Les parcelles permanentes FN1, FN2 et FN3 ne montrent aucun signe de dépérissement. En revanche, au sein de FN4 (Forêt McCoy) des évidences caractéristiques du dépérissement dû aux émissions gazeuses industrielles apparaissent au niveau de la strate haute située le long du creek qui longe la parcelle.

Pic du Grand Kaori Parcelles PGK1, PGK2, et PGK3

Ces parcelles ont la même structure forestière que celles de la forêt nord. En conséquence, les limitations au niveau de l'observation se répètent ici. Un dépérissement de l'espèce *Nothofagus balansae* a déjà été constaté sur l'ensemble de la formation forestière du Pic du Grand Kaori et quelques individus morts de *Cerberiopsis candelabra* ont été noté sur PGK1. La problématique de *N.balansae* est longuement décrite dans la section 7 de ce rapport. Le *C. candelabra* est quant à lui une espèce monocarpique signifiant que l'individu meurt après sa première floraison. Ces deux phénomènes de dépérissement ont donc été décrits comme étant totalement indépendants des émissions gazeuses de Vale NC. Ce site est donc considéré comme non impactée et en bonne santé.

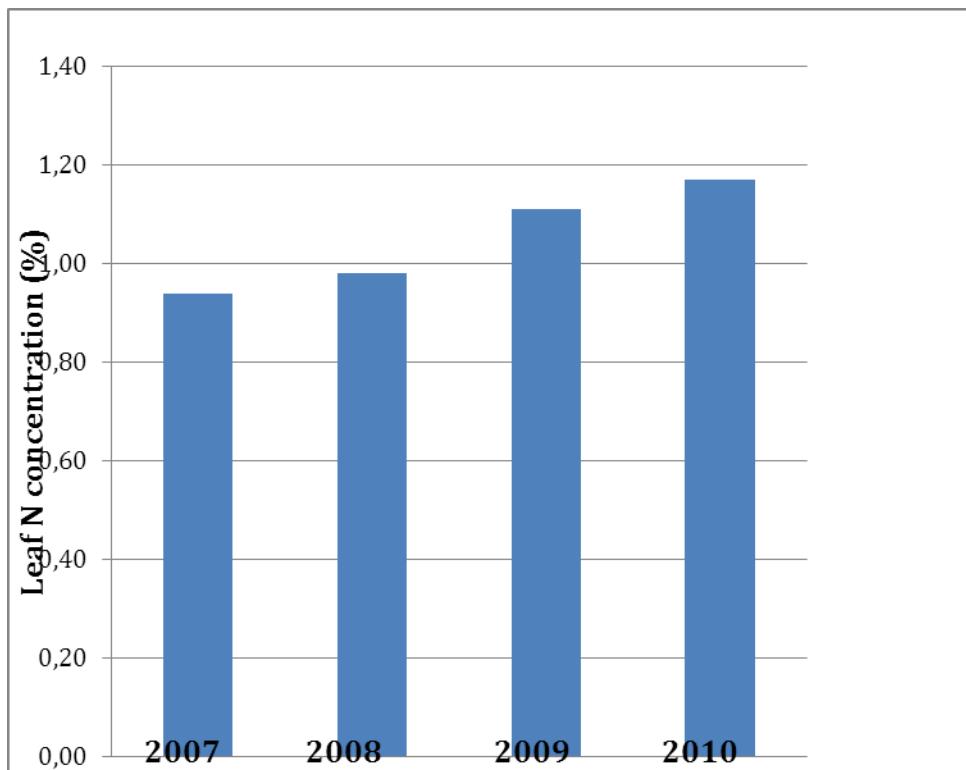


Figure 17. Teneur en azote des feuilles (%) au Pic du Grand Kaori de 2007 à 2010.
Moyenne de 7 espèces échantillonnées.

Les résultats des analyses chimiques du sol au Pic du Pin révèlent une augmentation de la concentration en azote du sol de 2009 à 2011 (Tableau 7).

Tableau 7.Résultats des analyses chimiques du sol au Pic du Pin pour N et S (%)

Analyses	Elements	Parcel 1				Parcel 2			
		30-Jun-09		30-Mar-11		1-Jul-09		5-Apr-11	
		Moyenne	Ecartype	Moyenne	Ecartype	Moyenne	Ecartype	Moyenne	Ecartype
		n=10	n =10	n=10	n =10	n=10	n =10	n=10	n =10
CHNS humide	N%	0.28	0.19	2.38	0.57	0.19	0.07	1.90	0.44
	S%	0.08	0.01	0.07	0.01	0.09	0.03	0.09	0.02

Entre 2007 et 2010, une augmentation de la concentration d'azote a également été constatée dans la litière de la forêt Nord (Figure 17) et du Pic du Grand Kaori (Figure 18).

Dans ces écosystèmes particuliers, les concentrations d'azote sont très basses et son cycle est peu connu. Il n'y a donc aucune connaissance sur les conséquences écologiques pouvant être entraînées par une augmentation de la concentration d'azote dans ces écosystèmes. Bien que cette variation d'azote puisse être associée aux émissions atmosphériques de Vale NC, il est certain que de plus amples investigations soient nécessaires.

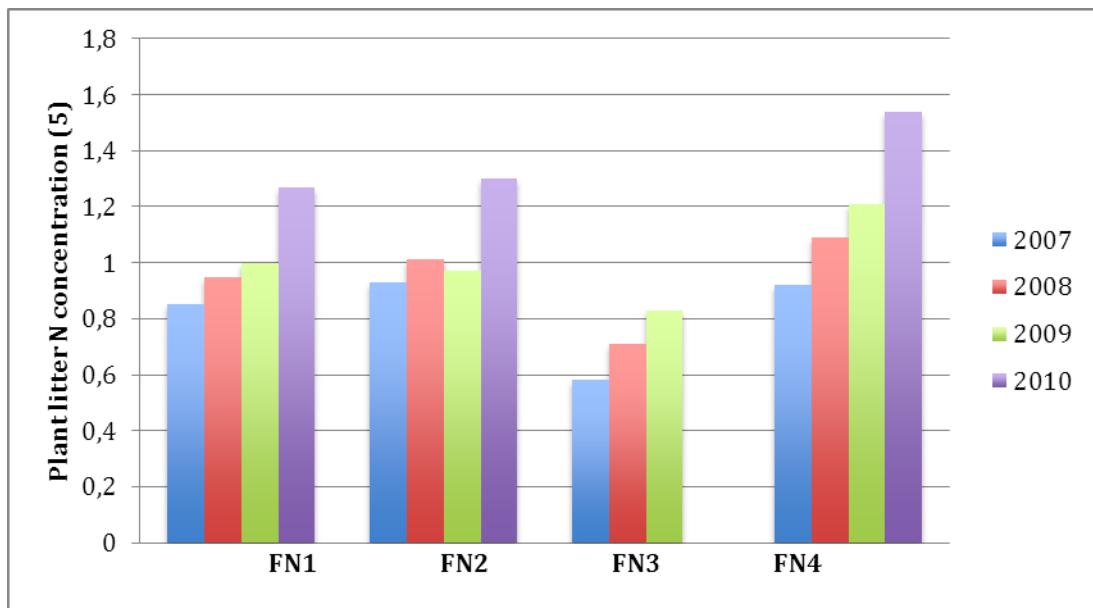


Figure 18.Teneur en azote (%) dans la litière provenant de 4 parcelles de Forêt Nord et enregistrée à partir de 2007 jusqu'en 2010. Moyenne de 10 échantillons par site et par année.

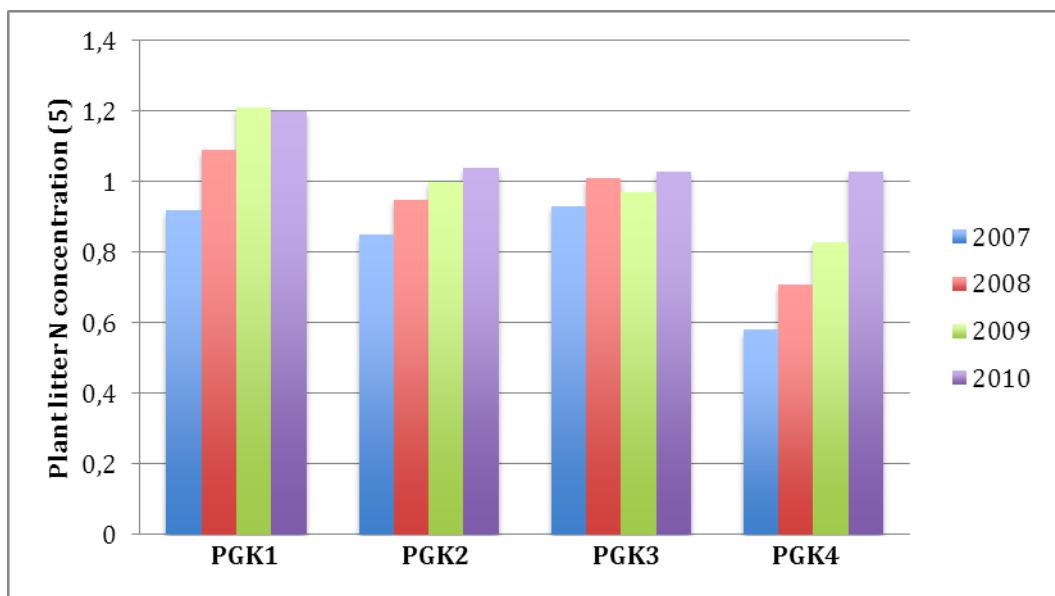


Figure 19.Teneur en Azote (%) dans la litière provenant de 4 parcelles au Pic du Grand Kaori et enregistrée à partir de 2007 jusqu'en 2010. Moyenne de 10 échantillons par site et par année.

10.2 Proposition pour un programme de surveillance écologique ciblant les zones à risque et les indicateurs de risque

L'actuel programme de surveillance écologique est mené sur des parcelles à forte biodiversité situées dans la Forêt Nord et au Pic du Grand Kaori et cela depuis 2007. Il consiste en l'enregistrement de paramètres de suivi indiquant l'état de santé de ces formations végétales. L'analyse des données de suivis révèle qu'il y a une légère variation des paramètres par site et en fonction de l'altitude et démontre aussi que ces formations n'ont subi aucun changement entre 2007 et 2010. Il faut quand même noter une légère augmentation de la teneur en azote dans les échantillons de feuilles, de litière et de sol échantillonnés à la Forêt Nord et au Pic du Grand Kaori, bien que ce changement n'ait eu aucun effet sur la santé de la végétation.

Ce programme de surveillance constitue une base de référence écologique permettant ainsi de mesurer et d'évaluer tous changements dans cet écosystème à forte valeur de conservation. Cependant maintenant que cette référence a été établie et que les espèces sensibles ainsi que les signes précurseurs de risques d'impact sont connus, il est nécessaire de se concentrer sur les zones identifiées comme étant à risque potentiel de dépérissement de la végétation. Le programme de surveillance devrait désormais être axé sur les sites les plus à risque c'est-à-dire à l'ouest et au nord-ouest des installations industrielles. Il devrait également prendre en compte des paramètres de contrôle plus susceptibles de fournir un avertissement précoce des risques accrus d'impacts potentiels.

Le programme devrait donc passer d'une surveillance des processus écologiques fondamentaux à une évaluation des risques et symptômes les plus attendus accompagné d'analyse chimique révélant la teneur en soufre et en azote dans les feuilles d'espèces indicatrices sélectionnées. De plus, pour des raisons logistiques, le suivi doit se focaliser sur les individus de la strate moyenne et du sous-bois. Selon les premières constatations faites sur le terrain, 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 est à prendre en compte dans le suivi afin de prévenir d'un changement écologique de manière simple et précoce.

Le nouveau programme doit impérativement intégrer le suivi de la qualité de l'air à l'aide d'échantilleurs passifs placés au sein des zones à risques. En résumé, les modifications qui sont proposées devraient fournir une meilleure couverture géographique de la zone et prévenir plus rapidement les risques accrus d'impacts permettant une intervention rapide.

D'autres amendements à apporter au programme de suivi ont été suggérés:

- La suspension définitive du suivi au Pic du Pin;
- Le suivi annuel des propriétés chimiques des parcelles permanentes est recommandé;
- Les quantités d'analyses chimiques du sol et de la litière sont à réduire comme proposé à la section suivante;

- Les mesures de structure des parcelles devront être effectuées tous les 5 ans;
- Seuls deux espèces d'arbres communes à toutes les parcelles permanentes doivent être échantillonnés pour analyses chimiques. L'échantillonnage de la strate moyenne ou du sous-bois peut être définitivement suspendu (en forêt fermée).

10.3 Suivi des symptômes du dépérissement sur la végétation

Un programme de surveillance des symptômes du dépérissement est nécessaire pour contrôler l'apparition de symptômes, déterminer les facteurs en causes et gérer les impacts. Cela requiert de connaître la sévérité des symptômes déjà existants, l'étendue géographique de l'impact, l'évolution du dépérissement dans le temps et les facteurs en cause. Les études déjà initiées révèlent que le dioxyde de soufre atmosphérique émanant de la combustion du soufre élémentaire serait la cause des symptômes observés sur la végétation. Il convient donc de focaliser le programme de suivi sur les symptômes dus à une exposition au SO₂ sans pour autant écarter l'intervention d'autres facteurs possibles.

Ce programme doit inclure des inspections mensuelles de la végétation en priorisant les espèces végétales les plus sensibles déjà identifiées dans le guide des symptômes visuels.

Les feuilles d'une même espèce doivent être collectées tous les trois mois pour analyser la teneur en soufre. Cette espèce doit être commune à tous les sites sélectionnés dans le programme. C'est le cas de *Tristaniopsis guillainii*. De plus cette espèce s'est révélée être efficace pour montrer que la teneur foliaire en soufre augmentait avec l'exposition aux émissions issues des installations industrielles. (Voir tableau 4). Cependant des travaux devraient être menés pour identifier d'autres espèces indicatrices du SO₂.

10.4 Les échantilleurs passifs

Un programme de suivi utilisant des échantilleurs passifs doit être mis en place pour une période de 12 mois pour évaluer plus précisément les concentrations de SO₂ et l'étendue géographique de la zone d'impact. Les échantilleurs passifs sont des moyens de mesure simples et peu coûteux, ne demandant aucune source d'énergie, et permettant un suivi à long terme sur une superficie importante. Ils présentent l'avantage de ne contenir initialement que des quantités négligeables de soufre, contrairement aux feuilles. Les échantilleurs passifs sont utilisés et sont fortement recommandés pour le suivi de la qualité de l'air par l'Organisation mondiale pour la santé (WHO, 1994 and the World Meteorological Organization (1997)).

Il est important d'associer les échantilleurs passifs avec des analyseurs automatiques de SO₂ des stations AQM pour quelques sites afin de permettre la calibration des échantilleurs passifs.

Les sites d'emplacement des échantilleurs passifs ont été sélectionnés de par leur distance à la source de SO₂, leur accessibilité, leur situation topographique et les arbres propices à l'échantillonnage des particules de SO₂ atmosphériques.

Durant la première année du programme, 27 sites ont été sélectionnés pour un échantillonnage mensuel. La distribution géographique des échantilleurs passifs est résumée au tableau 8 et à la Figure 21.

Il a été proposé que le protocole du programme soit révisé après une durée d'essai de 12 mois. Les résultats obtenus seront comparés à un modèle de dispersion. Si la comparaison montre que le programme de suivi via les échantilleurs passifs apporte des résultats cohérents et précis alors celui-ci sera reconduit mais à une échelle plus petite avec environ 6 à 10 sites.

Tableau 8. Design du programme de suivi de la concentration de SO₂ utilisant les échantilleurs passifs

Distance par rapport à l'aire de stockage du soufre ou des lieux-dits	Nombre de sites à cette localisation	Commentaires
Moins de 0.5 Km	9	Sites identifiés comme étant à haut risque et susceptible de montrer une teneur moyenne en SO ₂ pouvant engendrer des dommages sévères sur les espèces sensibles
Entre 0.5 et 1 Km	5	Sites identifiés comme étant à risque modéré et pouvant montrer une teneur moyenne en SO ₂ pouvant engendrer des dommages légers sur les espèces sensibles
Entre 1 et 3 Km	5	Sites identifiés comme étant à faible risqué et pouvant montrer une teneur moyenne en SO ₂ n'engendrant aucun dommage sur la végétation
Sites de calibration avec des stations AQM	2	Sites utilisés pour calibrer les échantilleurs passifs à partir d'analyseurs automatisés situés à la Base vie et à Forêt Nord
Aires à forte valeur de conservation- Forêt Nord et Pic du Grand Kaori	3	Sites utilisés pour évaluer les concentrations de SO ₂ à Forêt Nord (1) et au Pic du Grand Kaori (2)
Sites témoin à plus de 10Km de Vale NC	2	Sites utilisés pour évaluer les teneurs normales de SO ₂
Pépinière	1	Est utilisé pour caractériser les concentrations de SO ₂ à l'endroit proposé pour l'étude de fumigation
Total	27	

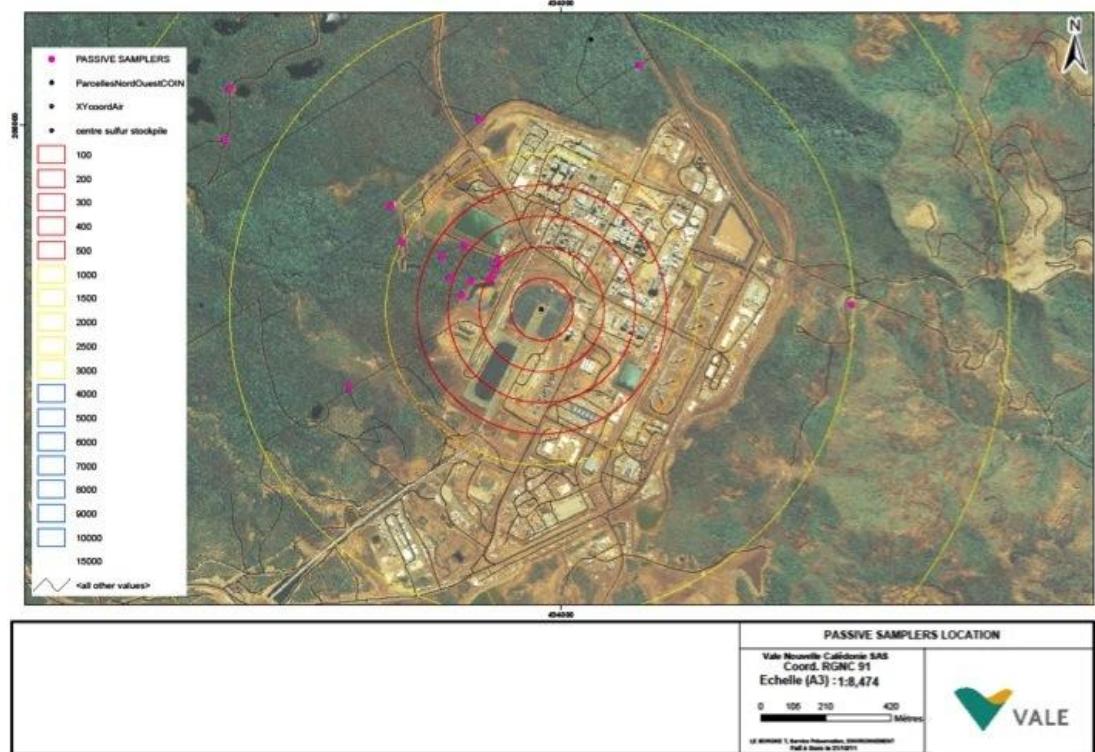


Figure 20. Localisation des sites les plus à risque proposés pour l'emplacement des échantillonneurs passifs à 1Km des installations industrielles de Vale Nouvelle Calédonie.

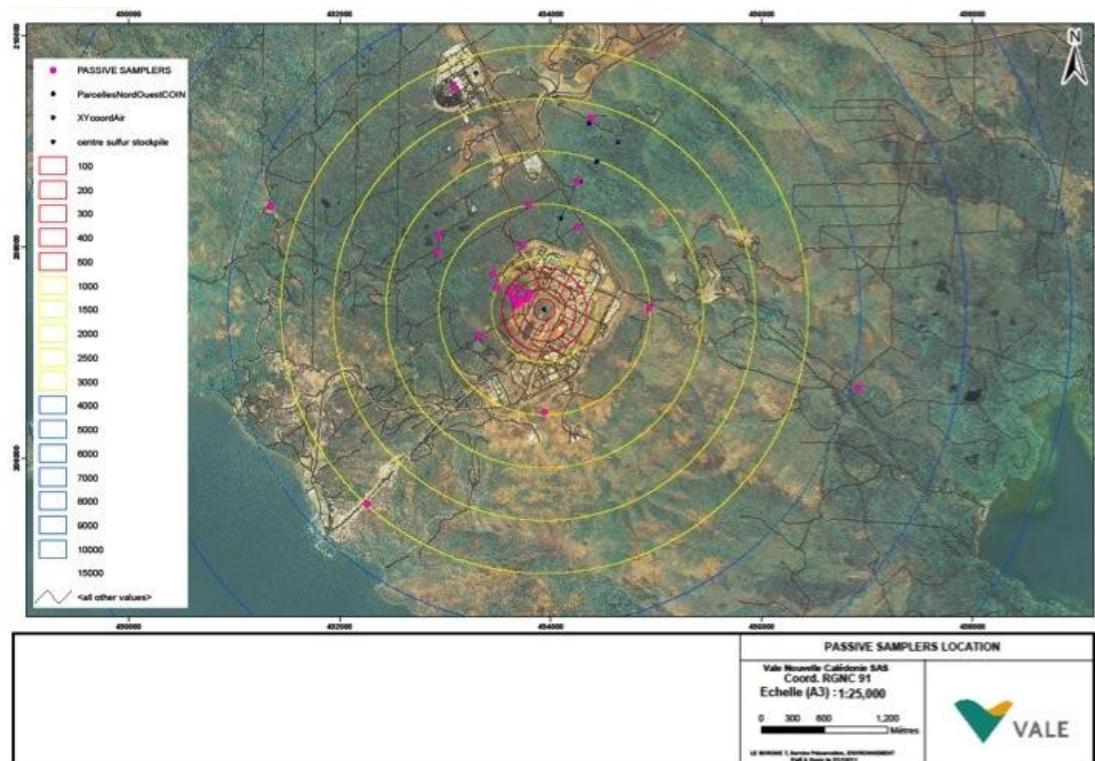


Figure 21. Localisation des sites les moins à risque et à forte valeur de conservation proposés pour l'emplacement des échantillonneurs passifs à 3-4 Km des installations industrielles de Vale Nouvelle Calédonie.

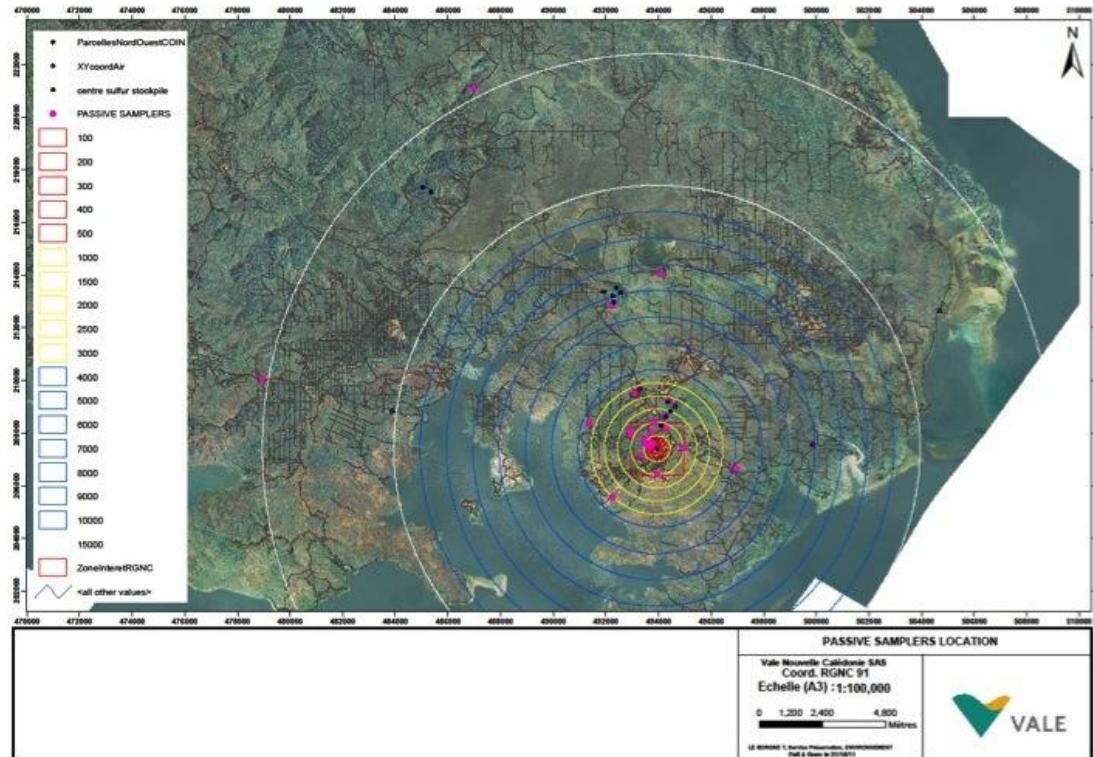


Figure 22.Localisation des sites proposés pour l'emplacement des échantillonneurs passifs dans la région montant les sites témoins non exposés aux émissions issues de l'activité industrielle de Vale Nouvelle Calédonie.

En résumé, les propositions de changements à apporter au programme de surveillance écologique orientera le suivi vers les sites les plus à risque, améliorera la couverture géographique de la zone et se concentrera vers les signes précurseurs d'un risque d'impact permettant ainsi de gérer le problème plus rapidement (Tableau 9).

Table 9. Résumé des changements proposés au programme de surveillance écologique.

Facteur	Actuellement requis	Proposé
Nombre d'analyses chimiques	400	332
Nombre de sites d'échantillonnage	10	32
Nombre de mesures	690	384
Temps estimé en nombre de jours par personne	180	40

11. Conclusions

Les investigations préliminaires sur les causes du dépérissement des formations forestières localisées à l'ouest et au nord-ouest des installations industrielles de Vale NC ont permis d'identifier plusieurs facteurs en cause. L'interprétation des résultats d'investigations reportés dans un précédent rapport (Vale Nouvelle-Calédonie 2011) et dans l'actuel rapport mettent en cause le dioxyde de soufre comme étant le facteur premier.

Les caractéristiques visuelles des symptômes du dépérissement témoignent d'une importante exposition de la végétation au SO₂ caractérisée par des concentrations très élevée durant des durées d'exposition courtes. Ce constat correspond aux résultats obtenus par le suivi de la qualité de l'air. En effet ce suivi a montré des fortes concentrations de SO₂ dans l'air (7687 µg/m³ en moyenne horaire) pendant de courtes durées dues aux incendies de soufre élémentaire au niveau de la zone de stockage. Ces fortes concentrations dépassent de loin la valeur limite horaire pour la protection pour la végétation en NC qui est de 570 µg/m³.

Si les mesures ne sont pas prises pour minimiser la fréquence et l'intensité des incendies du stock de soufre alors la végétation environnante va sans aucun doute continuer à se dégrader. Le dépérissement de la forêt sera alors plus sévère et sera géographiquement plus étendu.

Les seuils limites de concentration pour la protection des écosystèmes néo-calédoniens sont basés sur des études toxicologiques effectuées en Australie sur des individus du genre *Eucalyptus*. Les plantes ont été placées dans des chambres de fumigation à ciel ouvert pour évaluer leurs réponses face à différentes concentrations de SO₂. Cette étude sera conduite en Nouvelle-Calédonie par Vale NC pour déterminer si ces seuils limites sont appropriés au climat et à la végétation endémique de la Nouvelle-Calédonie.

De plus, Vale NC propose de développer un modèle de dispersion atmosphérique à partir de ses données d'émissions industrielles, de météorologie locale et des concentrations en polluant dans l'air ambiant. Cela permettra d'améliorer les prédictions de la concentration au sol de polluants gazeux au sein et aux alentours de ses installations industrielles.

12. Références

Carriconde, F. et Maggia L. 2011. Rapport préliminaire sur le dépérissement de l'espèce *Nothofagus balansae* (Nothofagaceae) IAC, Noumea.

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

Read, J., Sanson, G.D. Burd, M. and Jaffré, T. 2008. Mass flowering and parental death in the regeneration of *Cerberiopsis candelabra* (Apocynaceae), a long-lived monocarpic tree in New Caledonia. *Am. J. Bot. May* 2008 95:558-567

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.

World Health Organization 1994. Passive and active sampling methodologies for measurement of air quality. WHO/EOS/94.4 World Health Organization, Geneva,

World Meteorological Organization 1997. Report on passive samplers for atmospheric chemistry measurements and their role in GAW. WMO TD No. 829. World Meteorological Organization, Geneva,