



**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**





## SOMMAIRE

<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>2. CONTEXTE</b>	<b>3</b>
<b>3. CAUSES POTENTIELLES</b>	<b>5</b>
3.1. Modifications hydrologiques	5
3.2. Qualité des eaux	7
3.3. Maladies, éléments pathogènes ou ravageurs	7
3.4. Effets des biocides	8
3.5. Effets atmosphériques	8
<b>4. ECHANTILLONNAGE ET ANALYSES</b>	<b>9</b>
4.1. Protocole	9
4.2. Résultats	10
4.2.1 Les feuilles	10
4.2.2 L'écorce	11
4.2.3 La litière	12
4.2.4 Les sols	13
<b>5. QUALITE ET FLUX DES EMISSIONS INDUSTRIELLES</b>	<b>15</b>
5.1. Emissions atmosphériques	15
5.1.1 Emissions canalisées	15
5.1.2 Emissions non-canalises	22
5.2. Emissions aqueuses	25
5.2.1 Présentation des effluents rejetés dans le creek de la Baie Nord	25
5.2.2 Bilan des données disponibles	27
5.2.3 Analyses des données de suivi des rejets	27
<b>6. QUALITE ET EVOLUTION DU MILIEU</b>	<b>29</b>
6.1. Qualité de l'air ambiant	29
6.1.1 Etat initial	29
6.1.2 Suivi continu	32
6.1.2.1. Mesures de SO <sub>2</sub>	34
6.1.2.2. Mesures de NO <sub>2</sub>	36
6.1.3 Campagnes de mesure par intégration	39
6.1.4 Conclusion	40
6.2. Qualité des eaux de pluie	40
6.3. Eaux souterraines	43
6.3.1 Niveau des eaux souterraines	43
6.3.2 Qualité des eaux souterraines	48
6.3.3 Conclusion	53
6.4. Eaux de surface	53
6.4.1 Débit	53
6.4.2 Qualité des eaux de surfaces	53
6.4.3 Conclusion	54
<b>7. CONSTATS ET ANALYSES PRELIMINAIRES</b>	<b>57</b>
7.1. Etat des connaissances	57
7.1.1 Assimilation du Dioxyde de soufre par les plantes (par Pr. Francis MURRAY, Murdoch University)	57
7.1.2 Effets du Dioxyde de soufre sur la plante (par Pr. Francis MURRAY, Murdoch University)	57

7.1.3	Etude de fumigation sur les plantes endémiques australiennes .....	58
7.2.	Retour d'expérience (par Pr. Francis MURRAY, Murdoch University) .....	60
7.2.1	Les émissions des fonderies à Sudbury au Canada .....	60
7.2.2	L'étude sur les effets à long terme des émissions de dioxyde de soufre des installations du Mont Isa .....	61
7.2.3	Le cas de la fonderie de Nickel de Kalgoorlie .....	62
7.3.	Constats .....	63
<b>8.</b>	<b>PROGRAMME D'INVESTIGATION EN COURS .....</b>	<b>65</b>
8.1.	Définition d'un document-guide qui résume les symptômes par espèce avec une notion de gradient	65
8.2.	Suivi de la qualité de l'air et élaboration d'un nouveau plan d'échantillonnage passif .....	65
8.3.	Etude multi-temporelle de la végétation en périphérie immédiate du site de Vale Nouvelle- Calédonie par photographie satellitaire .....	65
8.4.	Revue de la modélisation de dispersion atmosphérique .....	66
8.5.	Etudes sur la sensibilité des espèces florales locales aux polluants par la technique de fumigation	67
<b>9.</b>	<b>REFERENCES .....</b>	<b>69</b>

## ANNEXE 1 Symptômes

## ANNEXE 2 Etude symptomatique des effets du dioxyde de soufre par fumigation sur les espèces endémiques du Grand Sud calédonien

### FIGURES

Figure 1 :	Zone impactée : périmètre réalisé à partir de série de points obtenus par GPS (février 2011) .....	3
Figure 2 :	Arbres dans la zone de déclin (février 2011) .....	4
Figure 3 :	Proportion d'individus morts suivant les différents endroits au sein de la zone impactée : impact inversement proportionnel à la distance de l'usine .....	6
Figure 4 :	Proportion d'individus sains, atteints, ou morts suivant les 4 classes de diamètre recensées .....	6
Figure 5 :	Points d'échantillonnage pour les analyses chimiques des feuilles, écorce, litières et sol ; « A », « B » et « C » sont les sites impactés et « D » le site témoin .....	9
Figure 6 :	Teneur en azote (Dumas) dans les feuilles de chêne gomme (%) .....	11
Figure 7 :	Rapport C/N dans les feuilles de chêne gomme .....	11
Figure 8 :	Teneur en azote organique dans l'écorce (%) .....	11
Figure 9 :	Teneur en azote minéral (ammoniacal et nitrique) dans l'écorce (%) .....	12
Figure 10 :	Teneur en azote minéral (ammoniacal et nitrique) dans la litière (%) .....	12
Figure 11 :	Teneur en azote organique dans les litières (%) .....	13
Figure 12 :	Rapport C/N de la litière des chênes gomme .....	13
Figure 13 :	Flux horaire d'émission de poussières des chaudières au fioul (unité 350) .....	16
Figure 14 :	Flux horaire d'émission de monoxyde de carbone des chaudières au fioul (unité 350) .....	16
Figure 15 :	Flux horaire d'émission de dioxyde de soufre des chaudières au fioul (unité 350) .....	17
Figure 16 :	Flux horaire d'émission d'oxyde d'azote des chaudières au fioul (unité 350) .....	17
Figure 17 :	Flux de SO <sub>2</sub> de l'usine d'acide sulfurique depuis 2009 (données brutes et réglementaires) .....	20
Figure 18 :	Schéma des effluents de Vale Nouvelle-Calédonie et de Prony Energies du bassin versant nord de l'usine .....	26
Figure 19 :	Localisation des stations de suivi de la qualité de l'air ambiant .....	33
Figure 20 :	Moyennes horaires glissantes des mesures de SO <sub>2</sub> pour le suivi de la qualité de l'air au niveau de la Forêt Nord .....	35

Figure 21 :	Moyennes horaires glissantes des mesures de SO <sub>2</sub> pour le suivi de la qualité de l'air au niveau de la base-vie .....	35
Figure 22 :	Moyennes horaires glissantes des mesures de SO <sub>2</sub> pour le suivi de la qualité de l'air à proximité de la forêt rivulaire (Station Mobile) .....	36
Figure 23 :	Moyennes horaires glissantes des mesures de NO <sub>2</sub> pour le suivi de la qualité de l'air au niveau de la Forêt Nord .....	37
Figure 24 :	Moyennes horaires glissantes des mesures de NO <sub>2</sub> pour le suivi de la qualité de l'air au niveau de la base-vie .....	38
Figure 25 :	Moyennes horaires glissantes des mesures de NO <sub>2</sub> pour le suivi de la qualité de l'air à proximité de la forêt rivulaire (station mobile) .....	38
Figure 26 :	Résultats d'analyse des nitrates pour 4 pluviomètres entre 2004 et 2011 .....	41
Figure 27 :	Résultats d'analyse des sulfates pour 4 pluviomètres entre 2004 et 2011 .....	41
Figure 28 :	Résultats d'analyse des chlorures pour 4 pluviomètres entre 2004 et 2011.....	42
Figure 29 :	Résultats d'analyse de la conductivité pour 4 pluviomètres entre 2004 et 2011.....	42
Figure 30 :	Résultats d'analyse du pH pour 4 pluviomètres entre 2004 et 2011.....	43
Figure 31 :	Carte de localisation du réseau de suivi piézométrique au niveau du site industriel.....	44
Figure 32 :	Niveau piézométrique de 6-1a (piézomètre cours) depuis 2006.....	45
Figure 33 :	Niveau piézométrique de 6-1 (piézomètre long) depuis 2006 .....	45
Figure 34 :	Niveau piézométrique de 6-2a (piézomètre cours) depuis 2006.....	46
Figure 35 :	Niveau piézométrique de 6-2 (piézomètre long) depuis 2006 .....	46
Figure 36 :	Niveau piézométrique de 6-8a (piézomètre cours) depuis 2006.....	47
Figure 37 :	Niveau piézométrique de 6-8 (piézomètre long) depuis 2006 .....	47
Figure 38 :	Ecarts normalisés à la médiane des précipitations mensuelles enregistrées à la station A entre 1997 et 2011 .....	48
Figure 39 :	Résultats du suivi de la qualité des eaux souterraines de l'usine : piézomètres courts .....	49
Figure 40 :	Résultats du suivi de la qualité des eaux souterraines de l'usine : piézomètres longs.....	51
Figure 41 :	Localisation des points de suivis du creek de la Baie Nord .....	53
Figure 42 :	Résultats du suivi de la qualité des eaux de surface en aval de l'usine .....	55
Figure 43 :	Variation de croissance chez certaines espèces d'Eucalyptus en fonction de leur exposition au dioxyde de soufre .....	60
Figure 44 :	Moyenne (avec erreurs standard) de la diversité spécifique de plantes aux quatre niveaux de distance de la zone métallurgique du Mont Isa (Griffiths, 1998) .....	62

## TABLEAUX

Tableau 1 :	Éléments analysés par type d'échantillon.....	10
Tableau 2 :	Flux moyens de polluants émis en sortie des chaudières au fioul.....	18
Tableau 3 :	Quantités de polluants émis en sortie des chaudières au fioul .....	18
Tableau 4 :	Statistiques de mesures des flux des émissions des chaudières au fioul depuis 2009 .....	18
Tableau 5 :	Période d'injection d'ammoniacque pour le traitement des NO <sub>x</sub> des chaudières (unité 350) .....	19
Tableau 6 :	Moyennes et quantités de polluants émis en sortie de l'usine d'acide sulfurique.....	20
Tableau 7 :	Statistiques des mesures des flux des émissions des chaudières au fioul depuis 2009 .....	21
Tableau 8 :	Produits utilisés dans le traitement des tours aéro-réfrigérées de Vale Nouvelle-Calédonie.....	22
Tableau 9 :	Produits utilisés dans le traitement des tours aéro-réfrigérées de Prony Energies .....	23
Tableau 10 :	Mesures de SO <sub>2</sub> et de H <sub>2</sub> S au niveau des événements de l'unité de fusion du soufre, des filtres à bande, de l'intérieur des cuves de fusion du soufre et à 20m autour de l'usine d'acide sulfurique .....	24
Tableau 11 :	Résultats d'analyses disponibles du suivi des effluents aqueux rejetés dans le creek de la Baie Nord .....	27

Tableau 12 : Valeurs Limites d'Emission en rejet des bassins de premier flot de l'usine .....	28
Tableau 13 : Récapitulatif de la qualité de l'air ambiant initiale au projet (hypothèse d'après bibliographie) ..	29
Tableau 14 : Résultats des mesures de retombées de poussières .....	29
Tableau 15 : Résultats des analyses SO2 et NO2 .....	30
Tableau 16 : Résultats des analyses de poussières PM10 et métaux en suspension (Séchaud/LBTP, 2005) .....	31
Tableau 17 : Localisation, dénomination et caractéristiques des sites de mesure de la qualité des eaux de pluie.....	33
Tableau 18 : Périodes de fonctionnement et taux de validité des mesures.....	34
Tableau 19 : Statistiques des moyennes horaires glissantes pour les mesures de SO2 des AQMS Forêt Nord, Base-vie et station mobile.....	34
Tableau 20 : Périodes de fonctionnement et taux de validité des mesures.....	36
Tableau 21 : Statistiques des moyennes horaires glissantes de NO2 pour la station mobile, la station de la Forêt Nord et de la base-vie.....	37
Tableau 22 : Unités en fonctionnement au moment des campagnes de mesures par intégration .....	39
Tableau 23 : Données utilisées pour établir un modèle de réponse afin d'évaluer l'impact du dioxyde de soufre sur les espèces d'Eucalyptus .....	59

## SIGLES ET ACRONYMES

### Sigles

ICPE	Installation classée pour la protection de l'environnement
JONC	Journal Officiel de la Nouvelle-Calédonie
SA	Seuil d'alerte
S.Humide	Saison humide
SRI	Seuil de recommandation et d'information
S.Sèche	Saison sèche
VL	Valeur limite
VLPSH	Valeur limite pour la protection de la santé humaine
VLPV	Valeur limite pour la protection de la végétation

### Mesures et Normes

EN	Norme européenne
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry
MP 101	Mesureur de particules en suspension par jauge Bêta
NF	Norme française
NF-X	Norme française expérimentale
PM 162	Préleveur de poussières
SAMEX	Système d'acquisition des données

### Organisations

EEC	Electricité et eau de Nouvelle-Calédonie
LBTP	Laboratoire d'expertise du bâtiment et des travaux publics

### Variables

As	Arsenic
Cd	Cadmium
Co	Cobalt
Cr	Chrome
Cu	Cuivre

Hg	Mercure
Mn	Manganèse
Ni	Nickel
NOx	Oxydes d'azote
NO <sub>2</sub>	Dioxyde d'azote
Pb	Plomb
PM <sub>10</sub>	Particulate Matter diamètre <10 µm
Sb	Antimoine
SO <sub>2</sub>	Dioxyde de soufre
Sn	Etain
V	Vanadium
Zn	Zinc
Lieux	
BV	Base-vie
CDLM	Chutes de la Madeleine
FN	Forêt Nord
PB	Port-Boisé
PR	Village de Prony
PGK	Pic du grand Kaori
PPRB	Parc Provincial de la Rivière Bleue



## 1. INTRODUCTION

En décembre 2010 a été observé un phénomène de dépérissement d'arbres dans une forêt située en proche contrebas de l'usine de Vale Nouvelle-Calédonie (VNC), des arbres au feuillage dépérissant ont été observés. La zone concernée est une formation rivulaire située le long du cours supérieur du creek de la Baie Nord. Suite à ce constat, une première étude de terrain a été réalisée afin de déterminer le périmètre exact de la zone impactée en se concentrant sur l'espèce la plus largement touchée : *Arillastrum gummiferum*, le chêne gomme.

En observant ce dépérissement, Vale Nouvelle-Calédonie a aussitôt engagé une série d'investigations afin d'identifier les causes possibles et les facteurs circonstanciels à l'origine de cet effet délétère.

Ce rapport d'étape a pour but de présenter les études et les résultats obtenus à ce jour ainsi que les actions complémentaires proposées pour identifier avec certitude les causes et approfondir notre compréhension de ce phénomène de stress floristique.





## 2. CONTEXTE

La zone concernée se trouve sur la bordure ouest des installations aux alentours du Creek de la Baie Nord. L'emplacement et l'étendue de l'aire montrant des phénomènes de dépérissement de la forêt ont été estimés par des relevés de terrain. La zone touchée est illustrée sur la Figure 1, elle a été estimée à 55 hectares à la date du 17 février 2011.

Les symptômes sont observés sur plusieurs espèces, dont *Arillastrum gummiferum* de façon marquée et sur d'autres espèces telles que *Flindersia fourneri*, *Gymnostoma deplancheanum*, *Tristaniopsis guillainii*, *Codia spathulata*, *Montrouziera sphaeroidea*.

Sur les arbres et les arbustes, les symptômes sont des nécroses (mort des tissus) des pointes ou des parties du périmètre du limbe observables par une coloration rouge à brun du tissu cellulaire affecté. Sur les jeunes pousses et feuilles immatures, cette coloration peut être plutôt brune à noir. Pour certaines espèces, les symptômes sont soit une nécrose périphérique (bord du limbe), soit une déformation sous forme de cuillère ou de gonflement ou encore une distorsion. Pour encore d'autres espèces les symptômes se manifestent sous forme d'un blanchissement des tissus de la feuille (appelé chlorose). Cet ensemble d'indices est typique d'une indication d'impact aigu et non pas d'impact chronique.

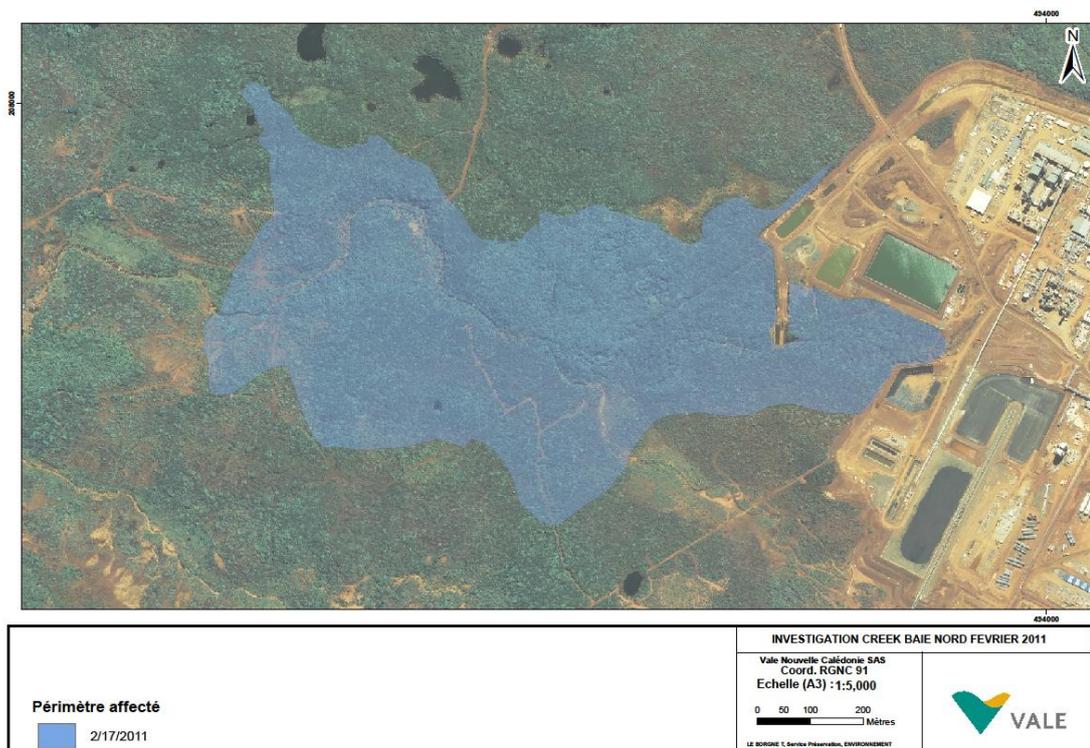


Figure 1 : Zone impactée : périmètre réalisé à partir de série de points obtenus par GPS (février 2011)

Les dégâts sur les feuilles engendrent une sénescence et une chute prématurées de celles-ci. Les tas de feuilles mortes amassées à la base des arbres ainsi que des pertes visibles de feuillage au niveau de la canopée en sont des signes évidents. Les arbres touchés peuvent montrer des allures de

« cornes de cerf » ce qui correspond à des branches mortes en hauteur sur l'arbre et des repousses sur les branches moyennes ou basses. Des repousses sur le vieux bois ou à la base même du tronc peuvent apparaître. De nombreux individus de chêne gomme présentent ces symptômes dans la zone.

L'écosystème le plus impacté par ce dépérissement est la forêt rivulaire du Creek de la Baie Nord ainsi que les vallons voisins proches (Figure 2). Une grande partie de cette zone est dominée par l'espèce *Arillastrum gummiferum* sous l'habitat souvent nommé « forêt à *Arillastrum gummiferum* » et « maquis paraforestier à *Arillastrum gummiferum* » (issu des études de caractérisation de la flore des plateaux de Prony et Goro, IRD 2004). Voir iconographie en appendice 1.



Figure 2 : Arbres dans la zone de déclin (février 2011)

### 3. CAUSES POTENTIELLES

Un certain nombre de facteurs pourraient être la cause de l'apparition de cet impact, où bien contribuer à cet impact :

1. Changements d'ordre hydrologique ;
2. Qualité de l'eau ;
3. Maladie ou attaques de ravageurs ;
4. Biocides ;
5. Gaz atmosphériques :
  - oxydes d'azote,
  - ammoniac,
  - dioxyde de soufre ou particules soufrées ;
6. Variations de la disponibilité des nutriments.

Plusieurs causes peuvent aussi se combiner en synergie, une seule n'étant pas suffisante pour engendrer un effet. Vale Nouvelle-Calédonie a débuté fin 2010 des investigations pour évaluer les différentes hypothèses émises ci-dessus, ainsi que la recherche d'autres facteurs qui pourraient être responsables en totalité ou en partie de cet impact.

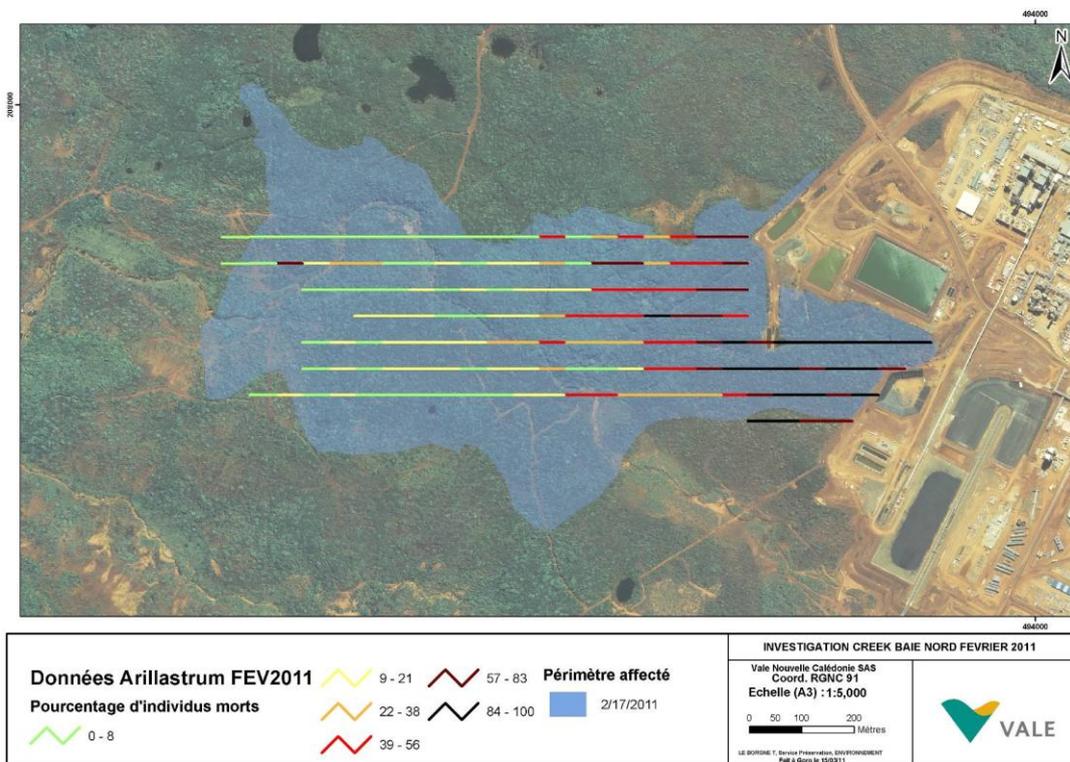
#### 3.1. Modifications hydrologiques

Les observations initiales ont montré une aire restreinte de dépérissement de la forêt. Cette surface a fait l'objet de vérification sur le terrain et le résultat est montré sur la figure 1. Cette surface est également affectée par des changements hydrologiques avec notamment une dérivation vers l'Ouest d'une partie des eaux provenant du Nord de la zone d'impact. Il a alors été envisagé que ces perturbations de l'écoulement des eaux de surface pourraient être en cause dans ce dépérissement. De nouvelles campagnes de terrain ont alors été réalisées dans le but de décrire plus finement la position et la distribution des arbres impactés (basés encore une fois sur l'espèce dominante et la plus sévèrement impactée : *Arillastrum gummiferum*).

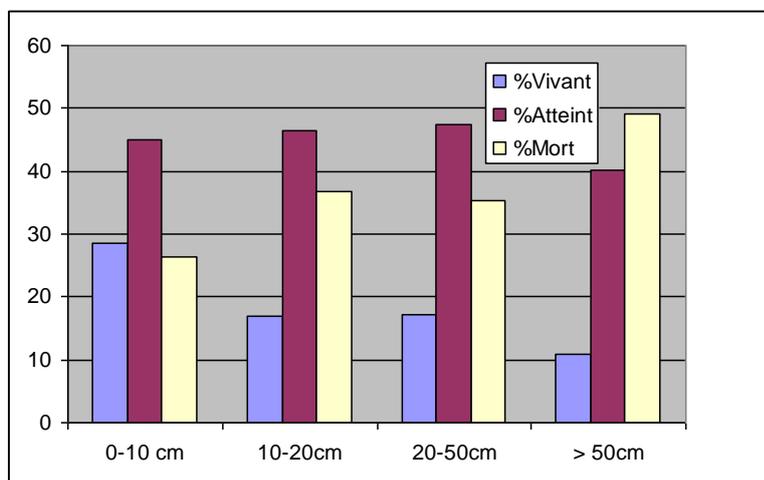
Ces observations quantitatives ont été effectuées en déployant des *transects* d'Est-Ouest établis par SIG. Sur chaque intervalle de 50 m, les nombres d'individus sains, atteints ou morts de l'espèce *Arillastrum gummiferum* sont enregistrés ainsi que les classes de diamètre de ces arbres. Un total de 8 lignes a ainsi été réalisé et il est présenté sur la figure 3.

Les résultats, en date de mars 2011, montrent qu'un total de 5217 individus a été observé par cette méthode :

- 1113 sont alors des individus sains,
- 2392 sont notés atteints,
- 1712 sont enregistrés comme morts.
- la proportion d'arbres atteints et morts diminue avec la distance par rapport aux installations (Figure 3).
- les plus grands arbres sont plus sévèrement touchés que les arbres de petite taille (Figure 4).



**Figure 3 : Proportion d'individus morts suivant les différents endroits au sein de la zone impactée : impact inversement proportionnel à la distance de l'usine**



**Figure 4 : Proportion d'individus sains, atteints, ou morts suivant les 4 classes de diamètre recensées**

La distribution de l'impact en terme d'individus morts ou atteints ne s'associe pas à une topographie basse ; en effet les arbres sur les hauteurs plus exposées, par exemple sur les crêtes, et parfois à plus de 300 m du creek, sont les plus affectés ; d'avantage que les arbres situés dans les vallées à des distances équivalentes des installations industrielles.

**En conclusion : ces résultats suggèrent que le dépérissement observé n'est pas associé aux changements hydrologiques.**

Cette conclusion sera reprise par l'expertise en chapitre 6.

### 3.2. Qualité des eaux

Les résultats des analyses physico-chimiques concernant les eaux de surface du Creek de la Baie Nord sont le reflet d'une eau faiblement minéralisée et caractéristique du sud de la Nouvelle-Calédonie. Pour l'ensemble des stations du Creek Baie Nord, à l'exception de la station nommée 6-Q, on observe une stabilisation des concentrations pour l'ensemble des paramètres. Les résultats au niveau de la station 6-Q montrent en fin du premier semestre 2011 une tendance à la diminution pour les éléments : magnésium, sodium, soufre, silicium, et calcium. De plus, on note aussi une augmentation légère de la conductivité. Cette dernière tendance est probablement due aux rejets continus de Prony Energies et aux vidanges temporaires des bassins de premiers flots.

Comme en 2010, une diminution des concentrations pour les paramètres calcium, chlorure, magnésium, sodium, soufre, sulfates, silicium est notable de l'amont vers l'aval dans le creek de la Baie Nord, et de même pour la conductivité.

Sur la station 6-R, située au niveau de la doline de l'usine pilote, on observe une tendance à l'augmentation pour les paramètres : calcium, soufre et sulfates. Cette augmentation en dents de scie a commencé en début 2009. La station 6-R est dans la doline dans laquelle étaient déversés les effluents liquides après traitement de l'usine pilote pendant sa période de fonctionnement (1999-2002), et pendant la période d'activité du laboratoire d'analyses (1999-2008). Les concentrations en sulfates et en calcium pendant ces périodes étaient variables et plus élevées qu'aujourd'hui.

Le suivi du creek de la Baie Nord, et plus particulièrement au niveau de sa branche sud, où est localisée la forêt rivulaire, ne présente pas de variation significative de la qualité physico-chimique de l'eau de surface.

**L'impact sur la forêt à chênes Gommés observé n'a donc pas pour origine une modification de la composition physico-chimique des eaux de surface.**

Cette conclusion sera reprise par l'expertise en chapitre 6.

Les variations de niveau de la nappe et de la qualité des eaux souterraines, ne permettent pas de statuer à un impact des eaux sous terraines par l'activité industrielle sur ce milieu.

**Ce milieu des eaux souterraines n'a donc pas eu d'influence négative sur la forêt rivulaire.**

Cette conclusion sera reprise par l'expertise en chapitre 6.

En conclusion : L'absence de corrélation entre la distribution des individus morts ou atteints et la végétation rivulaire, la topographie basse, les changements hydrologiques et l'absence de symptômes sur les plantes rivulaires, suggèrent qu'il **est peu probable que l'altération de la qualité des eaux surfaciques ou sub-surfaciques soit lié à l'impact observé sur cette forêt.**

Cette conclusion sera reprise par l'expertise en chapitre 6.

### 3.3. Maladies, éléments pathogènes ou ravageurs

Les observations terrain et l'examen des échantillons collectés ne montrent aucun signe d'attaque d'insectes ou de symptômes typiques de maladies particulières liées aux plantes. La distribution de l'impact en plus de l'absence de symptômes marqués sur les autres populations visitées dans le sud calédonien (en date de février 2011), tend à exclure la responsabilité d'éléments pathogènes ou ravageurs dans ce cas.

### 3.4. Effets des biocides

Des biocides sont utilisés dans les tours de refroidissement afin d'éviter toute contamination bactérienne et particulièrement par les bactéries du genre *Legionella*, dont des espèces sont responsables de la légionellose comme c'est le cas de *L. pneumophila* ou *Mycobacterium avium*. La transmission de ces bactéries à l'homme se fait par inhalation de gouttelettes d'aérosol contenant la bactérie. Les sources connues de *Legionella* sont notamment les tours de refroidissement industrielles, par lesquelles peuvent sortir des gouttes d'eau porteuses de la bactérie alors transportée au gré des vents.

Les biocides sont utilisés de façon périodique afin de contrôler les bactéries du genre *Legionella*, ainsi que d'autres pathogènes et algues pouvant se développer dans les tours de refroidissement, notamment sur le site de Vale Nouvelle-Calédonie. Il serait possible d'envisager que ces biocides parcourent l'ensemble du circuit et atteignent la végétation voisine et l'affecte. Cependant, de par leur conception, les biocides utilisés dans ce cas sont non-spécifiques, ils sont destinés à être efficaces sur un large spectre et en conséquence ils peuvent affecter les organismes au travers de leurs fonctions métaboliques de base. Les différences importantes observées dans les symptômes et donc la sensibilité différente affichée par les espèces végétales et dans une même espèce (sévérité d'effet hétérogène) permettent difficilement d'incriminer un biocide à spectre large. (Celui-ci affecterait toutes les espèces et tous les individus de façon indifférenciée).

En conclusion : **un effet de biocides a été écarté.** Cette conclusion sera reprise par l'expertise en chapitre 6, cependant il serait intéressant d'évaluer la potentialité des biocides d'engendrer des effets sur la flore.

### 3.5. Effets atmosphériques

La position de la zone affectée sous le vent de l'usine (vents dominants Alizés de secteur Est), le gradient décroissant des effets avec l'éloignement de l'usine, le gradient croissant de l'impact avec la position exposée des individus au vent dominant (la canopée des grands arbres et les arbres frontaliers), ont orienté les recherches vers une cause majeure atmosphérique.

Le suivi des émissions des cheminées de l'usine de Vale Nouvelle-Calédonie et de celles de Prony Energies, et le suivi de la qualité de l'air sont mis en corrélation avec ce dépérissement d'arbres sous le vent des émissions. Les gaz NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, l'ammoniac et les poussières sont étudiés et le chapitre 5 leur est consacré.

## 4. ECHANTILLONNAGE ET ANALYSES

Une des hypothèses d'investigation est que des modifications dans la disponibilité des nutriments pourraient être une cause directe ou indirecte des symptômes observés sur la végétation. Ce changement serait provoqué par un apport significatif de composés soufrés ou azotés ou autres d'origine atmosphérique, affectant ainsi la végétation.

Pour tester cette hypothèse, une campagne d'échantillonnage de feuilles vertes, d'écorces et de litière a été réalisée. De même des échantillons de sols ont été prélevés sur trois zones à distance variable de l'usine et sur une quatrième zone témoin à proximité du pic du grand Kaori.

### 4.1. Protocole

Sept points par site impacté (du Nord au Sud) ont été échantillonnés, le site A (de A1 à A7) à proximité immédiate de l'usine, le site B (de B1 à B7) à une distance d'environ 300 mètres à l'Ouest de la première ligne et enfin le site C (de C1 à C7) la plus à l'Ouest à environ 600 mètres des installations industrielles (cf. Figure 5).

Les points D1 à D7 correspondent au site témoin proche de la zone du Pic du Grand Kaori (cf. Figure 5). 1 kg de feuilles fraîches, 1 kg de litière (matière organique prélevée au pied des chênes gommés), 1 kg d'écorce de chêne gomme et 1 kg de sol ont été prélevés à chaque point d'échantillonnage. Les échantillons ont été envoyés en France métropolitaine au laboratoire « SAS Laboratoire » pour les parties feuilles, litière, et écorces. Les échantillons de sol ont été analysés en Australie au laboratoire « ALS Environment à Brisbane ».

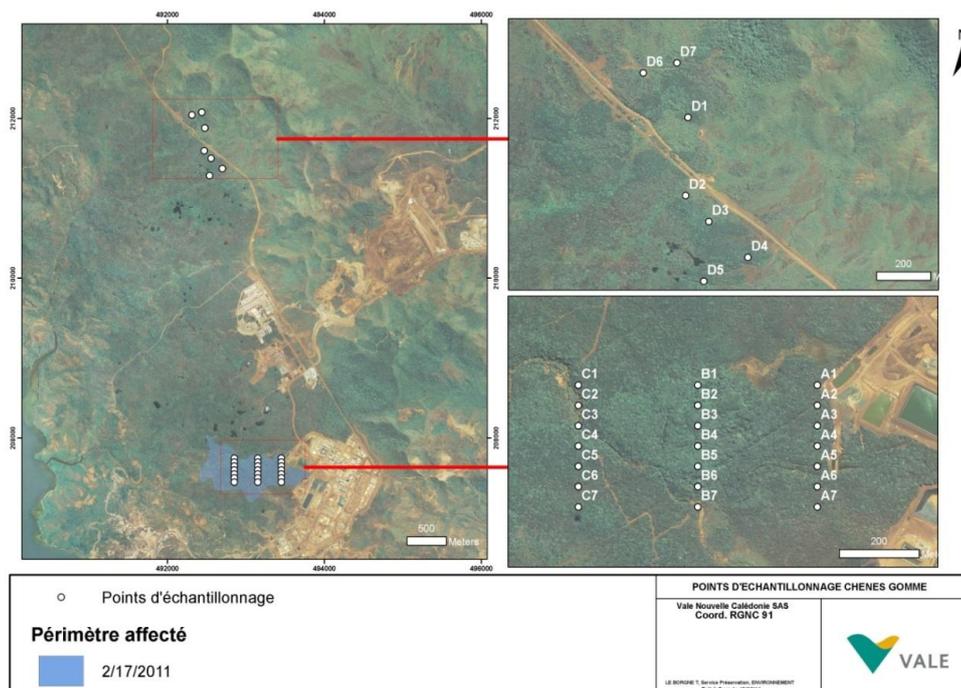


Figure 5 : Points d'échantillonnage pour les analyses chimiques des feuilles, écorce, litières et sol ; « A », « B » et « C » sont les sites impactés et « D » le site témoin

Le tableau ci-dessous présente tous les paramètres physico-chimiques analysés par type d'échantillon (feuille, litière, écorce et sol).

**Tableau 1 : Éléments analysés par type d'échantillon**

Données	Feuille	Litière	Ecorce	Sol
pH				+
CONDUCTIVITE (EC) @ 25°C				+
CENDRES	+	+	+	
MATIERE ORGANIQUE	+	+	+	+
C/N	+	+	+	
N TOTAL	+	+	+	+
N TOTAL Kjeldahl				+
N échangeable (NO <sub>2</sub> & NH <sub>3</sub> )		+	+	+
P TOTAL	+	+	+	+
K TOTAL	+	+	+	
S TOTAL as SO <sub>4</sub> 2-		+	+	+
CL TOTAL				+
Na TOTAL	+	+	+	+
Ca TOTAL	+	+	+	+
Mg TOTAL	+	+	+	+
Mn TOTAL	+	+	+	
Zn TOTAL	+	+	+	
Cu TOTAL	+	+	+	
Pesticides				+
Dioxines et furanes				+

Echantillons analysés en métropole

[Echantillons analysés en Australie](#)

## 4.2. Résultats

### 4.2.1 Les feuilles

D'après les analyses chimiques effectuées sur les feuilles, les seules tendances notables sont sur l'élément N (azote) où l'on retrouve une augmentation de l'ordre de 25 à 35 % des valeurs de références du site témoin (Figure 6).

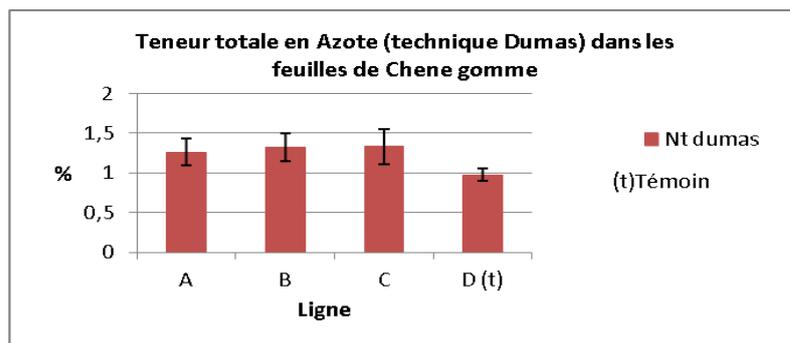


Figure 6 : Teneur en azote (Dumas) dans les feuilles de chêne gomme (%)

Cet excès n'est cependant pas significativement différent entre les trois sites de la zone impactée.

En regardant également le rapport C/N fourni par ces mêmes analyses, une réduction de ce ratio dans la zone impactée est notable par rapport à la zone témoin, comme le montre la figure ci-dessous :

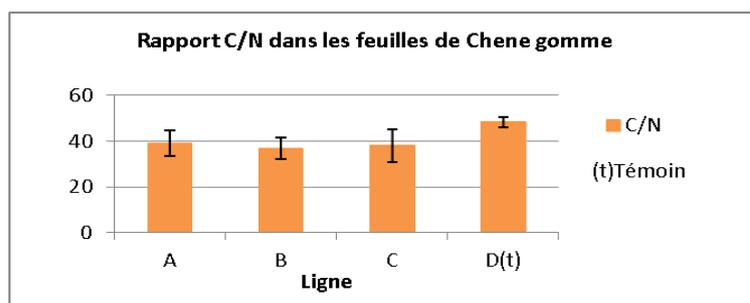


Figure 7 : Rapport C/N dans les feuilles de chêne gomme

#### 4.2.2 L'écorce

Les résultats d'analyse portant sur les écorces de chêne gomme ne montrent pas de disparité particulière à l'exception de l'azote qui semble montrer les mêmes tendances que pour les feuilles (Figure 8).

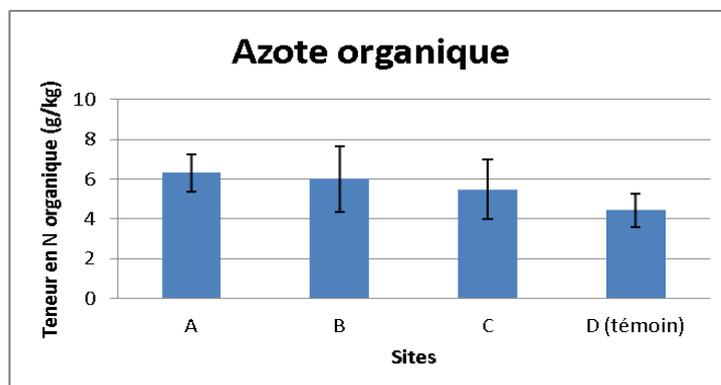


Figure 8 : Teneur en azote organique dans l'écorce (%)

La différence n'est pas significative si l'on regroupe les sites touchés et les sites témoins cependant le site A (le plus fortement touché par le phénomène) présente des valeurs légèrement plus hautes en comparaison au groupe témoin.

L'autre indicateur ici présenté est pour l'azote et l'azote nitrique et ammoniacal. En se basant sur les valeurs rapportées au g/kg de produit brut, on obtient le graphique suivant :

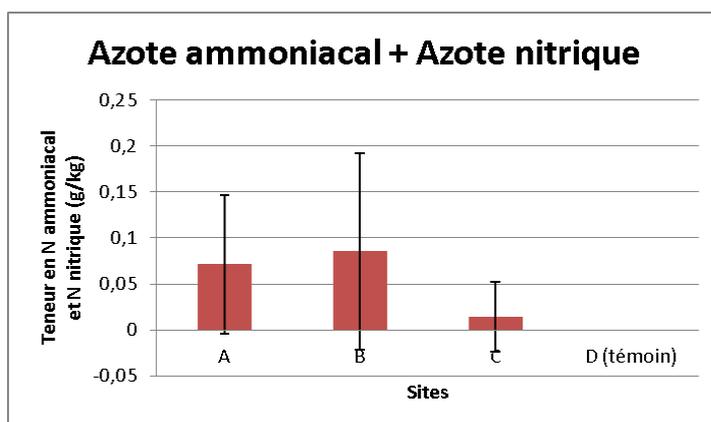


Figure 9 : Teneur en azote minéral (ammoniacal et nitrique) dans l'écorce (%)

Au vue des faibles valeurs obtenue et selon les écarts types importants, il est difficile voire impossible de conclure s'il existe des différences significatives entre les zones.

#### 4.2.3 La litière

Comme pour les feuilles et les écorces, seules les concentrations en azote inorganique (nitrique et ammoniacal) montrent des différences dans les concentrations moyennes pour les échantillons de litières (Figure 10). Cependant, les hauts niveaux de variances ne permettent pas d'établir de conclusions à ce niveau. A noter toutefois que ce constat est identique à celui fait pour les écorces, il est donc possible que l'azote minéral soit plus abondant dans la zone impactée.

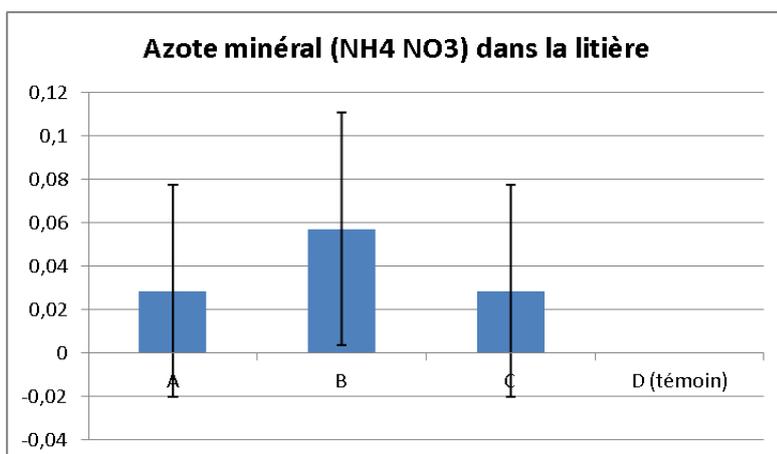


Figure 10 : Teneur en azote minéral (ammoniacal et nitrique) dans la litière (%)

Concernant l'azote organique, les teneurs sont plus élevées dans la litière des zones impactées comparées à la zone témoin comme illustré à la Figure 11 ci-dessous :

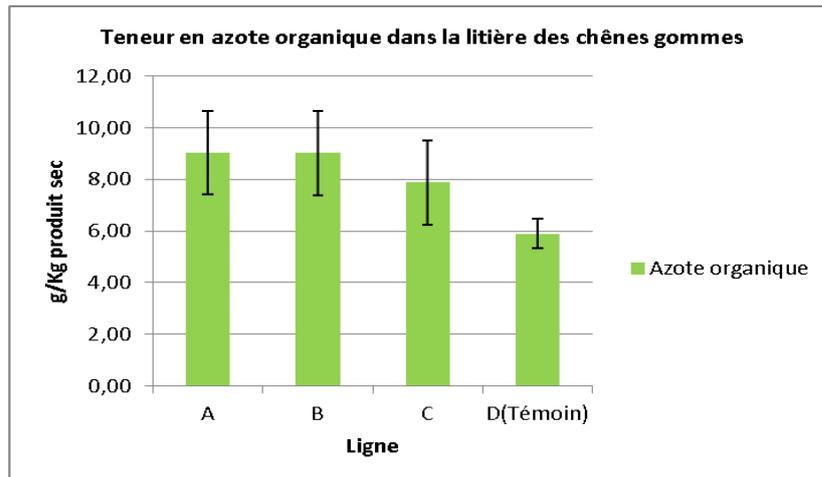


Figure 11 : Teneur en azote organique dans les litières (%)

Les groupes A et B présentent des teneurs significativement plus élevées que celle du lot témoin D, avec une moyenne supérieure d'environ 25%.

Sur le graphique suivant (Figure 12), le ratio C/N est de nouveau plus élevé dans le lot témoin, ce qui peut s'expliquer par une valeur plus faible de N au niveau du site témoin. De nouveau, la différence est significative en prenant A ou B comparativement au lot témoin D.

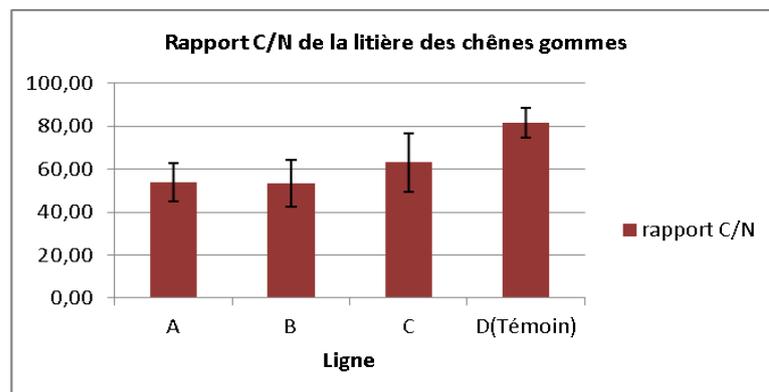


Figure 12 : Rapport C/N de la litière des chênes gomme

#### 4.2.4 Les sols

Sur les sols aucune tendance n'est apparue dans l'interprétation des données. Pour l'ensemble des paramètres (métaux, pesticides, dioxines/furanes et autres éléments de base) les résultats sont cohérents sur l'ensemble des sites échantillonnés.

En résumé, le seul élément ayant montré une concentration de la concentration dans les feuilles et l'écorce de *Arillastrum gummiferum*, litière et sol, est l'azote. En revanche, on ne note pas de différences de concentrations pour les autres éléments entre les zones impactées et la zone témoin.



## 5. QUALITE ET FLUX DES EMISSIONS INDUSTRIELLES

### 5.1. Emissions atmosphériques

Les sources principales d'émissions atmosphériques sur le site de l'usine de Vale Nouvelle-Calédonie sont :

- Les chaudières au fioul (unité 350) de Vale Nouvelle-Calédonie
- L'usine d'acide sulfurique (unité 330)
- Les tours aéro-réfrigérées (TAR) de Vale Nouvelle-Calédonie
- La centrale électrique au charbon de Prony Energies
- Les tours aéro-réfrigérées de Prony Energies (TAR)

Les rejets TAR sont considérés comme des émissions non canalisées et font l'objet d'une présentation spécifique.

#### 5.1.1 Emissions canalisées

Sur le site de l'usine de Vale Nouvelle-Calédonie, les émissions atmosphériques dites canalisées concernent 3 unités pour lesquelles un suivi en continu est réalisé.

##### 5.1.1.1. Chaudières au fioul (unité 350)

Les chaudières au fioul ont été testées à partir de fin janvier 2009 mais ont réellement été mises en fonctionnement le 1<sup>er</sup> juillet 2009. Dans le cadre de cette étude, il a été décidé, pour évaluer l'impact réel de l'exploitation industrielle, de prendre en compte l'ensemble des données acquises lors du suivi continu des émissions atmosphériques.

Ce principe implique que réalisés lors des périodes de démarrage et d'arrêt, de calibrage et de nettoyage des équipements et analyseurs, ainsi que les périodes de ramonage qui sont écartées des vérifications de conformité conformément à l'arrêté n°1467-2008/PS, sont ici pris en compte. Des écarts peuvent être observés entre les données réglementaires et les données de suivi en opération, si une comparaison est réalisée.

Figure 13 : Flux horaire d'émission de poussières des chaudières au fioul (unité 350)

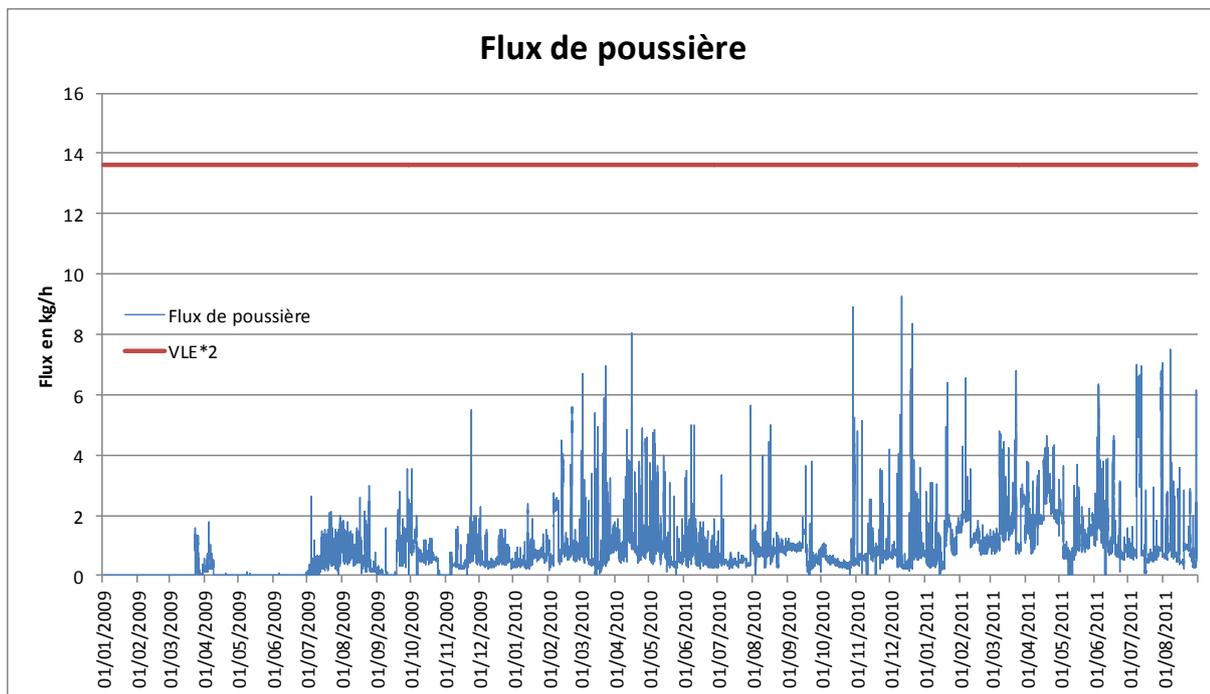
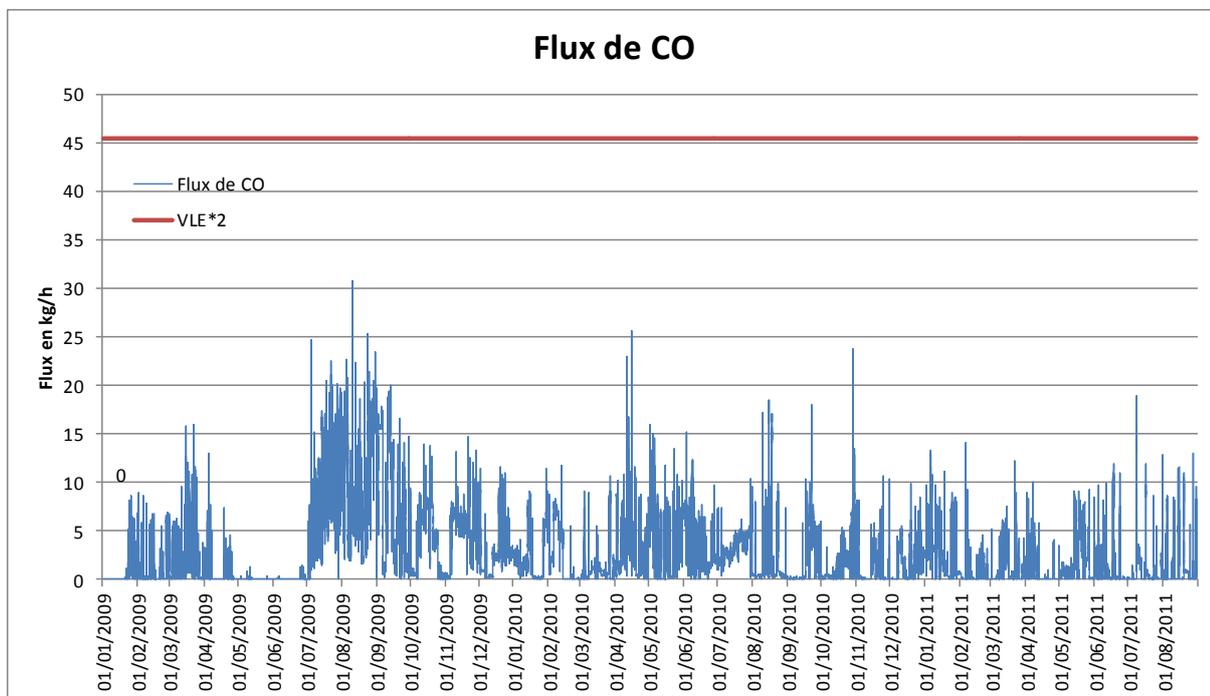
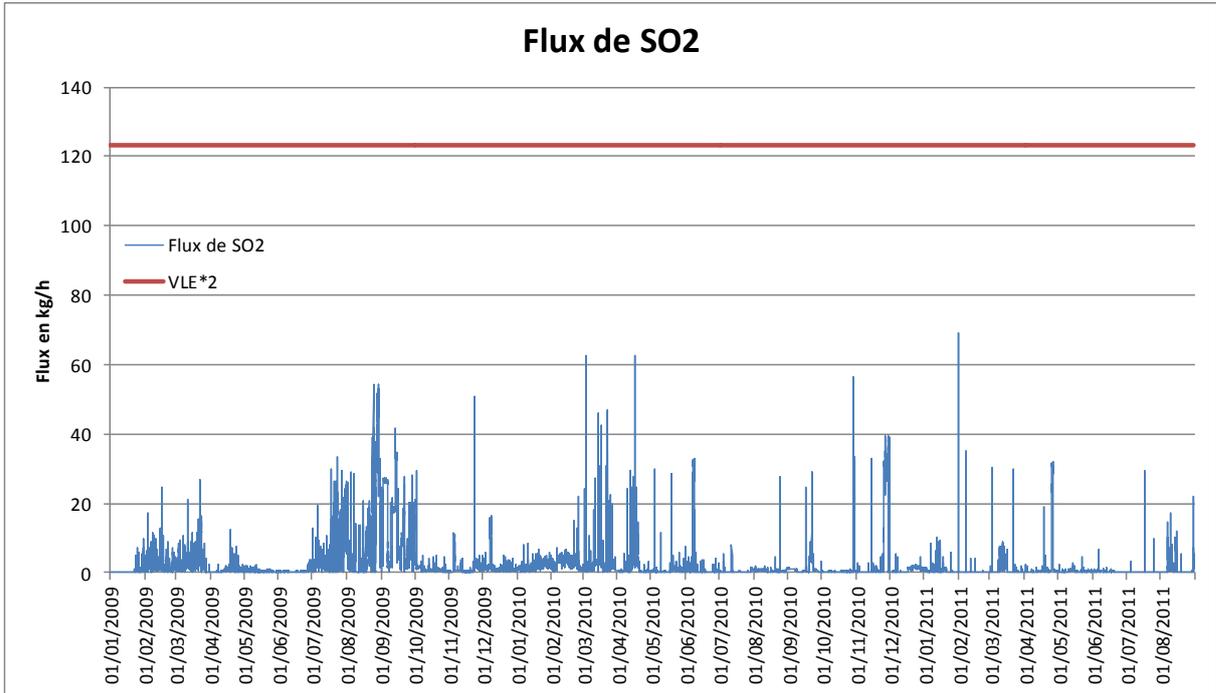
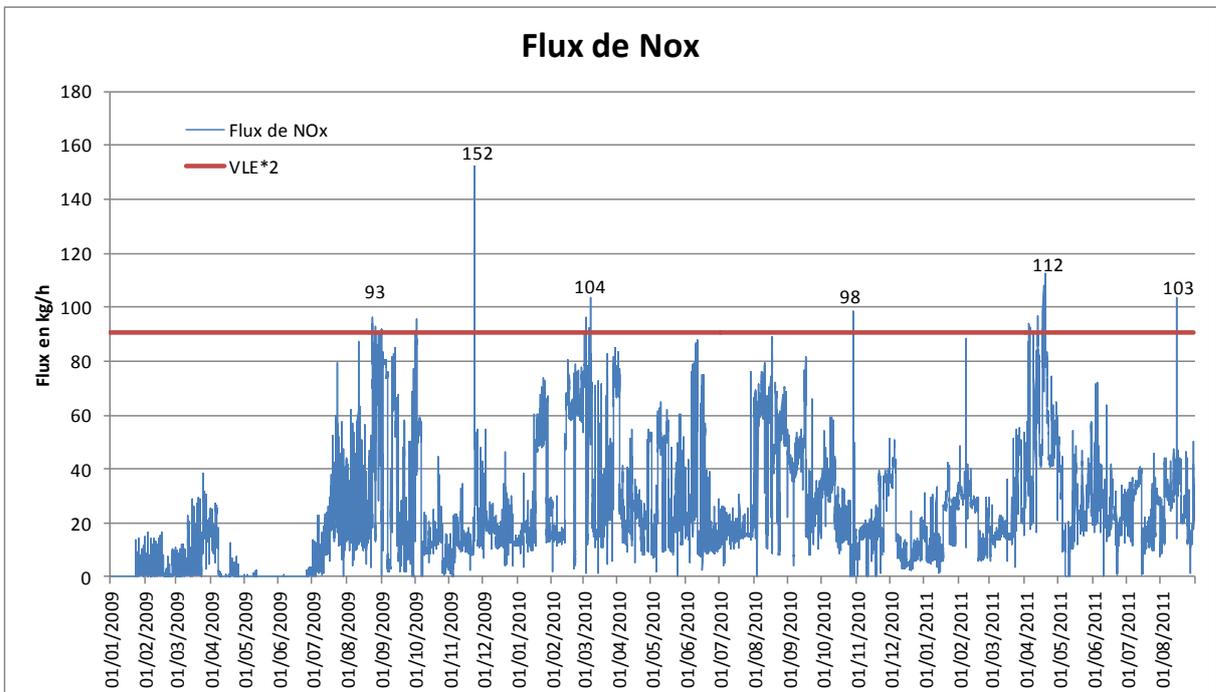


Figure 14 : Flux horaire d'émission de monoxyde de carbone des chaudières au fioul (unité 350)



**Figure 15 : Flux horaire d'émission de dioxyde de soufre des chaudières au fioul (unité 350)**

**Figure 16 : Flux horaire d'émission d'oxyde d'azote des chaudières au fioul (unité 350)**


Les tableaux 2, 3 et 4 présentent les flux moyens et les quantités de polluants rejetés par les chaudières depuis le début de leur exploitation.

**Tableau 2 : Flux moyens de polluants émis en sortie des chaudières au fioul**

	Flux moyens - Données Brutes				
	Poussière	CO	SO <sub>2</sub>	NOx	Débit
	Kg/h	Kg/h	Kg/h	Kg/h	Nm3/h
2009	0,38	3,82	3,67	14,78	26498,51
2010	0,88	2,21	1,85	30,16	61546,34
2011	1,49	1,24	0,75	27,72	78681,35
Total	0,88	2,56	2,24	23,90	53075,01
Deux fois limite de flux*	13,6	45,36	123,4	90,74	226 848

\*Selon l'arrêté n°1467-2008/PS art 11.10.4.1. 95% des valeurs moyennes horaires ne dépassent pas 200% de la valeur limite d'émission

**Tableau 3 : Quantités de polluants émis en sortie des chaudières au fioul**

	Flux totaux - Données Brutes			
	Poussière	CO	SO <sub>2</sub>	NOx
	Kg	Kg	Kg	Kg
2009	2 575	32 060	30 777	124 048
2010	7 621	19 191	16 110	262 457
2011	8 576	7 135	4 333	159 619
Total	18 772	58 386	51 221	546 124
Total autorisé par an	59 568	198 677	540 492	397 441

Le premier constat est que les valeurs mesurées sur une année en sortie des émissaires des chaudières sont nettement inférieurs aux seuils réglementaires. Le tableau 4 présente les statistiques des mesures des émissions en sortie des chaudières.

**Tableau 4 : Statistiques de mesure des flux des émissions des chaudières au fioul depuis 2009**

	Flux de poussières	Flux de CO	Flux de SO <sub>2</sub>	Flux de NOx
Moyenne	0,88	2,56	2,24	23,90
Min	0	0	0	0
Q1 (25)	0,37	0,07	0,16	10,33
Q2 (50)	0,67	0,77	0,58	17,95
Q3 (75)	1,1	3,7	1,6	32,8
Q4 (Max)	9,2	30,8	69,3	152,4
C95	2,5	10,3	10,2	66,9

Les valeurs de flux maximum enregistrées ne dépassent les seuils autorisés pour les poussières, le CO et le SO<sub>2</sub>. Pour les NOx, les valeurs de flux dépassent les tolérances réglementaires.

Pour les flux de poussières, 95% des mesures sont en-dessous de 2,5 kg/h donc inférieures à la Valeur Limite d'Emission (VLE).

Pour les flux de CO, 95% des mesures sont en-dessous de 10,3 kg/h donc inférieures à la Valeur Limite d'Emission (VLE).

Pour les flux de SO<sub>2</sub>, 95% des mesures sont en-dessous de 10,2 kg/h donc inférieures à la Valeur Limite d'Emission (VLE).

Pour les flux de NOx, 95% des mesures sont en-dessous de 66,9 kg/h donc inférieures à la Valeur Limite d'Emission (VLE).

### **Injection d'ammoniaque**

Le système de traitement permettant de réduire les émissions de NOx est appelé BEC (Boiler Emission Control). Il consiste en une pulvérisation d'ammoniaque dans le flux des gaz de rejet. Le flux de gaz passe ensuite par un catalyseur qui réagit avec le résiduel d'ammoniaque et permet de réduire les derniers NOx non traités. Ce système a été testé à partir du 13 novembre 2010 jusqu'au 29 décembre 2010. Ce qui explique une partie de la diminution des non-conformités pour les NOx à cette période.

**Tableau 5 : Période d'injection d'ammoniaque pour le traitement des NOx des chaudières (unité 350)**

Période d'injection d'ammoniaque	Temps d'injection	Débit d'injection	Quantité injectée (en kg)
13/11/2010 au 19/11/2010	Quelques heures	2 à 7 kg/h	9
28/11/2010	Quelques heures	2 à 7 kg/h	9
30/11/2010	Quelques heures	2 à 7 kg/h	9
12/12/2010 au 16/12/2010	Quelques heures	2 kg/h	4
16/12/2010 au 29/12/2010	En continu	5 kg/h (en moyenne)	1560
De novembre à décembre 2010	-	-	1591

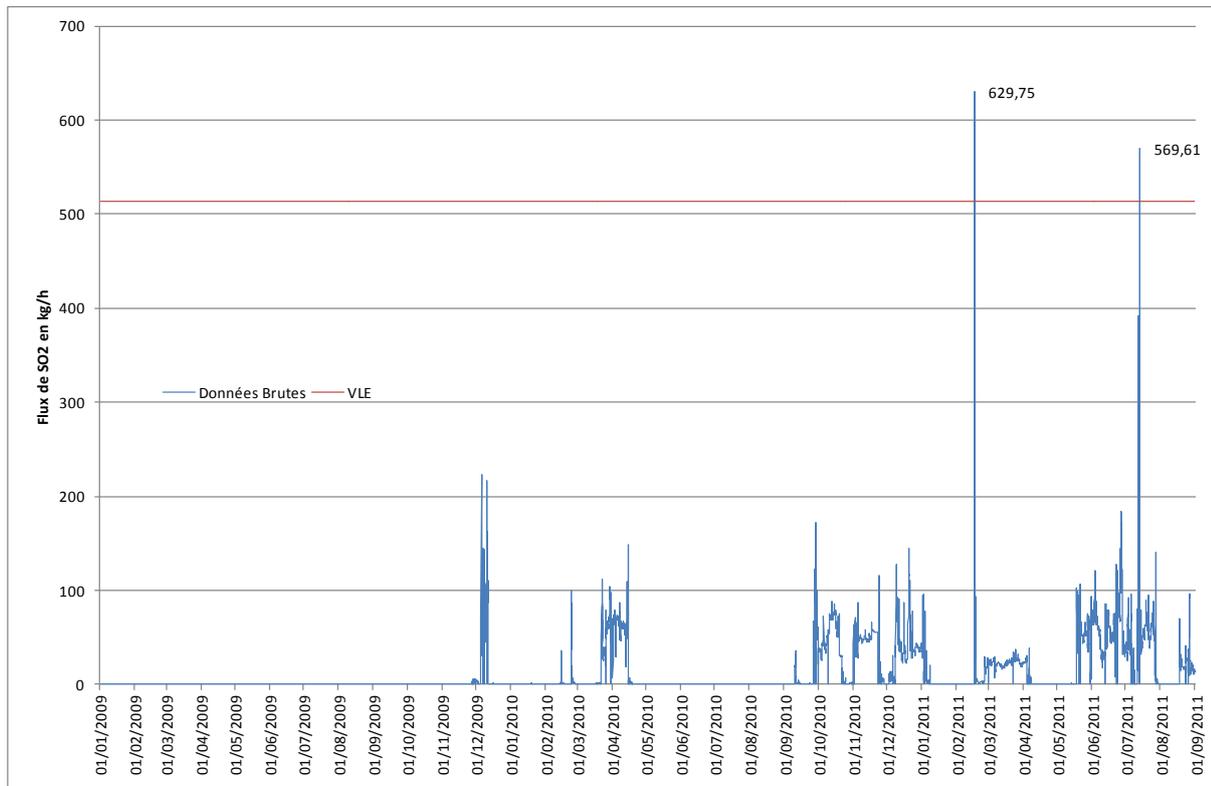
#### *5.1.1.2. Usine d'acide sulfurique (unité 330)*

L'usine de production d'acide sulfurique a été mise en service en décembre 2009. Toutefois, des tests de mise en fonctionnement ont été réalisés sur l'ensemble de l'année 2009. Les émissions de SO<sub>2</sub> sont suivies en continu en sortie de l'émissaire.

Depuis le début de l'exploitation de cette unité, aucun dépassement des valeurs limites de rejet n'a été enregistré.

De même que précédemment et dans le cadre de cette étude, il a été décidé, pour évaluer l'impact réel de l'exploitation industrielle, de prendre en compte l'ensemble des données acquises lors du suivi continu des émissions atmosphériques.

Ce principe implique que le suivi réalisé lors des périodes de démarrage et d'arrêt, de calibrage et de nettoyage des équipements et des analyseurs, qui sont écartés des vérifications de conformité conformément à l'arrêté n°1467-2008/PS, sont ici pris en compte. Des écarts peuvent être observés entre les données réglementaires et les données de suivi en opération, si une comparaison est réalisée.

**Figure 17 : Flux de SO<sub>2</sub> de l'usine d'acide sulfurique depuis 2009 (données brutes et réglementaires)**


Depuis 2009, seulement deux pics de flux supérieurs aux valeurs limites ont été observés, ils correspondent à un démarrage ou une baisse de production de l'usine d'acide sulfurique. Avant 2011 aucun pic n'a été observé.

**Tableau 6 : Moyennes et quantités de polluants émis en sortie de l'usine d'acide sulfurique**

	Moyenne			Somme
	Débit des gaz	Concentration de SO <sub>2</sub>	Flux de SO <sub>2</sub>	Flux de SO <sub>2</sub>
	Nm <sup>3</sup> /h	mg/Nm <sup>3</sup>	kg/h	kg
2009	37 446,36	64,20	7,57	13 382,25
2010	34 894,62	394,32	36,93	121 840,05
2011	60 316,92	369,36	35,86	128 365,47
Total	42282,25	316,52	30,49	263 587,76
Limite ou total annuel autorisé	311494	1650	514	4 502 640

Pour indication, le flux maximal de SO<sub>2</sub> autorisé par an s'élève à 4 502 640 kg. Sur 3 ans, le flux rejeté correspond à 6% du flux annuel autorisé des émissions de l'usine d'acide sulfurique. Le tableau 7 présente les statistiques réalisées pour les mesures d'émissions de SO<sub>2</sub> en sortie de la cheminée de l'usine d'acide.

**Tableau 7 : Statistiques de mesure des flux des émissions des chaudières au fioul depuis 2009**

	Concentration de SO <sub>2</sub>	Flux de SO <sub>2</sub>
Moyenne	316,52	30,49
Min	0	0
Q1 (25)	10	1
Q2 (50)	265,2	24
Q3 (75)	534,9	51,9
Q4 (Max)	5700,2	629,7
C95	869,8	81,9

Pour les concentrations en SO<sub>2</sub>, 95% des mesures sont en-dessous de 869,8 mg/Nm<sup>3</sup> donc inférieures à la Valeur Limite d'Emission (VLE).

Pour les flux de SO<sub>2</sub>, 95% des mesures sont en-dessous de 81,9 kg/h donc inférieures à la Valeur Limite d'Emission (VLE).

#### 5.1.1.3. Autres unités de Vale Nouvelle-Calédonie

En novembre 2010 un suivi des émissions des fours à chaux (cheminée 13-B) a été réalisé. Les résultats ont révélé des non-conformités pour le Monoxyde de Carbone (CO) et les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), en concentration et en flux. Les résultats sont les suivants :

- CO = 3619 mg/Nm<sup>3</sup> (Limite ICPE à 500 mg/Nm<sup>3</sup>)
- Flux de CO = 81,25 kg/h (Limite ICPE à 8 kg/h)
- HAP = 332787 ng/Nm<sup>3</sup> (Limite ICPE à 100000 ng/Nm<sup>3</sup>)
- Flux HAP = 9,19 g/h (Limite ICPE à 3 g/h)

Ces non-conformités étaient dues à un mauvais fonctionnement de l'unité, soit à une combustion incomplète du HFO dans le four. Les contrôles effectués en 2011 sur cette unité montrent que ces non-conformités sont aujourd'hui résolues.

#### 5.1.1.4. Prony Energies

Les installations de la centrale à charbon de Prony Energies produisent l'énergie nécessaire au fonctionnement des unités de Vale Nouvelle-Calédonie et sont implantées sur le site de l'usine, elles sont également émettrices d'effluents atmosphériques.

La centrale de Prony Energies est divisée en deux tranches fonctionnant indépendamment. Le suivi des émissions atmosphériques est donc réalisé pour deux cheminées. Les paramètres suivis en continu sont les poussières, le CO, le SO<sub>2</sub> et les NOx. La première tranche de la centrale a été mise en service en mai 2008 mais les réglages de fonctionnement, avant d'atteindre une stabilité de l'exploitation, ont continué jusqu'en 2009. La deuxième tranche a été mise en service en 2009 et les réglages de fonctionnement se sont poursuivis jusqu'en 2010.

Les résultats des suivis en continus sont disponibles dans les rapports de déclaration annuelle des émissions polluantes de 2008, 2009 et 2010. Celui de 2011 n'est pas encore disponible mais les données peuvent être consultées dans les rapports mensuels transmis par Prony Energies.

## 5.1.2 Emissions non-canalisées

### Tours aéro-réfrigérées

Les émissions des tours aéro-réfrigérées (TAR) font parties des émissions non-canalisées. Vale Nouvelle-Calédonie et Prony Energies possèdent des TAR et utilisent, à quelques détails près, les mêmes combinaisons d'additifs pour le traitement contre les légionnelles.

Pour les TAR de Vale Nouvelle-Calédonie, les produits utilisés et les principales molécules sont présentés dans le tableau ci-après. En revanche, les quantités d'additifs émis sous forme de brouillard ne sont pas connues.

**Tableau 8 : Produits utilisés dans le traitement des tours aéro-réfrigérées de Vale Nouvelle-Calédonie**

Dénomination commerciale	Molécule	Utilisation
Injection d'acide sulfurique à 98%	- Acide sulfurique à 98%	Régulation du pH
Nalco-73204	- Hydroxyde de sodium - Benzotriazole de sodium - Formaldéhyde bisulfite de sodium - Sulfite de sodium	Traitement dispersant minéral et anticorrosion du cuivre
Nalco 7359	- Acide phosphorique - Chlorure de zinc	Traitement anticorrosion de l'acier
Nalco-ControlBrom-CB40	- Produit inorganique	Précurseur de dérivés bromés oxydants
NALCO 77393	- D-Glucopyranose, oligomeric, decyl octyl glycosides - D-Glucopyranose, oligomeric, C10 - C16-alkyl glycosides	Biodispersant
Hypochlorite de sodium	- Hypochlorite de sodium à 13%	Traitement biocide oxydant
NALCO 73532	- 5-chloro-2-méthyl-4-isothiazoline-3-one - 2-méthyl-4-isothiazoline-3-one (en solution aqueuse)	Traitement biocide non oxydant

Les traitements réalisés au niveau des 4 TAR sont les suivants :

- une filtration partielle sur le circuit,
- une régulation du pH par ajout d'acide,
- un traitement anticorrosion continue pour l'acier et le cuivre,
- un traitement dispersant minéral continu,
- un traitement biodispersant continu,
- un traitement biocide oxydant continu (hypochlorite / hypobromite)
- un traitement biocide non oxydant complémentaire appliqué par choc tous les 15 jours.

Les produits utilisés par Prony Energies et les principales molécules sont présentés dans le tableau ci-après.

**Tableau 9 : Produits utilisés dans le traitement des tours aéro-réfrigérées de Prony Energies**

Dénomination commerciale	Molécule	Utilisation
Injection d'acide sulfurique à 98%	- Acide sulfurique à 98%	Régulation du pH
Nalco 3DT104	- Hydroxyde de sodium - Méthanol - Benzotriazole de sodium	Inhibiteur de corrosion du cuivre
Nalco 77352	- Nitrate de magnésium - Mélange de 5-chloro-2-méthyl-2H-isothiazol-3-one et de 2-méthyl-2H-isothiazol-3-one	Traitement biocide non oxydant
Nalco 3DT129	- pas infos	Inhibiteur de corrosion de l'acier
Nalco 77393	- D-Glucopyranose, oligomeric, decyl octyl glycosides - - D-Glucopyranose, oligomeric, C10 - C16-alkyl glycosides	Biodispersant

#### 5.1.2.1. Autres émissions non canalisées

D'autres sources d'émissions sont répertoriées sur le site de l'usine de Vale Nouvelle-Calédonie, une liste non exhaustive est proposée :

- Vapeur des décanteurs à contre-courant (unité 230)
- Vapeur du bassin de solution mère ou PLS
- Events de l'usine d'acide sulfurique
- Poussières du stockage de charbon
- Poussières du stockage de calcaire
- Poussières du stockage de soufre
- Départ de feu au niveau du stockage de soufre et des installations annexes
- Fuites de SO<sub>2</sub> au niveau de l'usine d'acide sulfurique

#### 5.1.2.2. Quantités émises

Les émissions non canalisées ne sont pas suivies en continu, et actuellement il n'est pas possible de quantifier les flux de polluants émis. Toutefois, des éléments sont apportés dans les paragraphes ci-après.

#### Events de l'usine d'acide sulfurique

Au niveau de l'usine d'acide sulfurique, du soufre peut être émis depuis les événements de l'unité de fusion du soufre. Pour s'assurer de la sécurité des travailleurs de la zone de l'usine d'acide le service Hygiène de Vale Nouvelle-Calédonie a réalisé des mesures de SO<sub>2</sub> et de H<sub>2</sub>S à divers endroits autour de l'unité. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-après.

**Tableau 10 : Mesures de SO<sub>2</sub> et de H<sub>2</sub>S au niveau des événements de l'unité de fusion du soufre, des filtres à bande, de l'intérieur des cuves de fusion du soufre et à 20m autour de l'usine d'acide sulfurique**

Date	Localisation	zone	SO <sub>2</sub> (en ppm)	H <sub>2</sub> S (en ppm)	Direction du vent
28/07/2009	Mesure ambiant 20m autour des cuves de fusion	330	0	0	Non communiqué
28/07/2009	Autours cuve de fusion en hauteur	330	0,1	0	Non communiqué
28/07/2009	Intérieur des cuves de fusion	330	42	24	Non communiqué
29/07/2009	Mesure ambiant 20m autour des cuves de fusion	330	0	0	Nord-ouest
29/07/2009	Autours cuve de fusion en hauteur	330	0,6	0	Nord-ouest
29/07/2009	Intérieur des cuves de fusion	330	73	19	Nord-ouest
29/07/2009	Sortie des événements de la cuve de fusion du soufre	330	73	19	Nord-ouest
30/07/2009	Mesure ambiant 20m autour des cuves de fusion	330	0	0	Ouest
30/07/2009	Autours cuve de fusion en hauteur	330	0	0,6	Ouest
30/07/2009	Intérieur des cuves de fusion	330	38,4	27	Ouest
30/07/2009	Sortie des événements de la cuve de fusion du soufre	330	38,4	27	Ouest
31/07/2009	Mesure ambiant 20m autour des cuves de fusion	330	1	0	Ouest
31/07/2009	Autours cuve de fusion en hauteur	330	0	1,5	Ouest
31/07/2009	Intérieur des cuves de fusion	330	>33	>188	Ouest
03/08/2009	Mesure ambiant 20m autour des cuves de fusion	330	0	0	Ouest
03/08/2009	Autours cuve de fusion en hauteur	330	0	0	Ouest
04/08/2009	Filtres à bandes	330	8,7	11	Nord-ouest
04/08/2009	Mesure ambiant 20m autour des cuves de fusion	330	0	0	Nord-ouest
04/08/2009	Autours cuve de fusion en hauteur	330	0,2	0	Nord-ouest
04/08/2009	Filtres à bandes	330	0	0	Sud-est
04/08/2009	Mesure ambiant 20m autour des cuves de fusion	330	0	0	Sud-est
04/08/2009	Autours cuve de fusion en hauteur	330	0,2	0	Sud-est
05/08/2009	Mesure ambiant 20m autour des cuves de fusion	330	0	0	Nord-ouest
05/08/2009	Autours cuve de fusion en hauteur	330	0	0	Nord-ouest
06/08/2009	Mesure ambiant 20m autour des cuves de fusion	330	0	0	Sud-est
06/08/2009	Autours cuve de fusion en hauteur	330	0,2	0	Sud-est
06/08/2009	Filtres à bandes	330	0	0	Sud-est
07/08/2009	Mesure ambiant 20m autour des cuves de fusion	330	0	0	Est
07/08/2009	Autours cuve de fusion en hauteur	330	0	0	Est
07/08/2009	Filtres à bandes	330	0	0	Est
08/08/2009	Mesure ambiant 20m autour des cuves de fusion	330	4	0	Est
09/08/2009	Autours cuve de fusion en hauteur	330	0	0	Est
10/08/2009	Filtres à bandes	330	0	0	Est
11/08/2009	Mesure ambiant 20m autour des cuves de fusion	330	0	0	Nord-ouest
11/08/2009	Autours cuve de fusion en hauteur	330	0,2	0	Nord-ouest
11/08/2009	Filtres à bandes	330	0	0	Nord-ouest
13/08/2009	Mesure ambiant 20m autour des cuves de fusion	330	0	0	Nord
13/08/2009	Autours cuve de fusion en hauteur	330	0,3	0	Nord
13/08/2009	Filtres à bandes	330	0	0	Nord
17/08/2009	Mesure ambiant 20m autour des cuves de fusion	330	0	0	Nord-ouest
17/08/2009	Autours cuve de fusion en hauteur	330	0,9	0	Nord-ouest
17/08/2009	Filtres à bandes	330	0	0	Nord-ouest
26/08/2009	Mesure ambiant 20m autour des cuves de fusion	330	0	0	Fumées au sol
26/08/2009	Autours cuve de fusion en hauteur	330	0,2	0	Fumées au sol
26/08/2009	Filtres à bandes	330	0	0	Fumées au sol
27/08/2009	Mesure ambiant 20m autour des cuves de fusion	330	0	0	Fumées au sol
27/08/2009	Autours cuve de fusion en hauteur	330	0,2	0	Fumées au sol
27/08/2009	Filtres à bandes	330	0	0	Fumées au sol
29/12/2010	Autours cuve de fusion en hauteur	330	0	0	Ouest
16/06/2011	Autours cuve de fusion en hauteur	330	2	0	Ouest
17/06/2011	Autours cuve de fusion en hauteur	330	0	0	Ouest

**Emanations de vapeur au niveau des bassins de collecte**

Des émanations de vapeur, pouvant contenir des éléments sulfurés, sont possibles au niveau des décanteurs à contre-courant et du bassin de solution mère. Toutefois, aucun suivi n'a été réalisé au niveau de ces collecteurs.

**Poussières des stockages de vrac**

Les poussières émises au niveau des stockages de soufre, de charbon et de calcaire ne sont pas quantifiables actuellement.

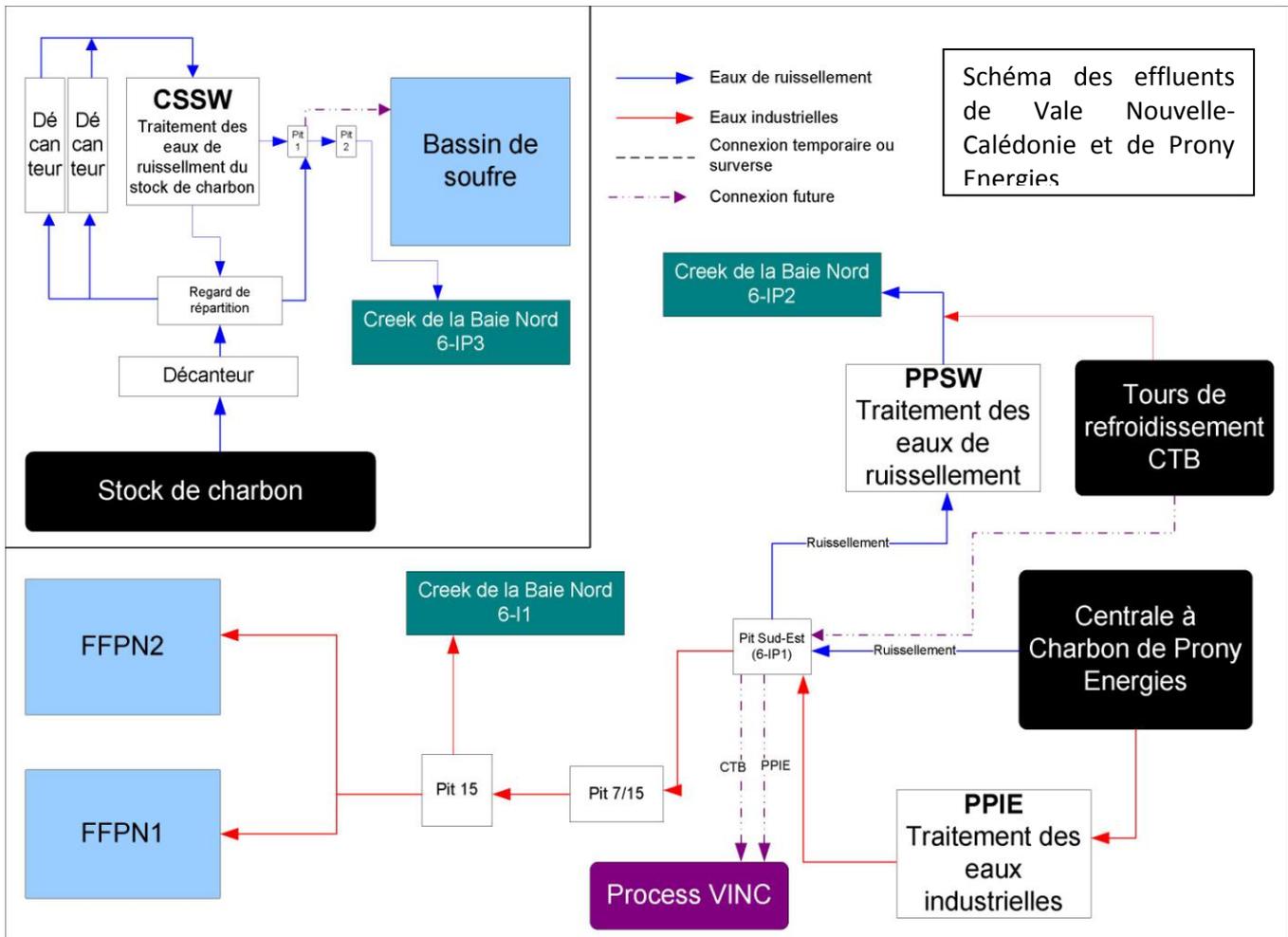
**5.2. Emissions aqueuses****5.2.1 Présentation des effluents rejetés dans le creek de la Baie Nord**

Les émissions aqueuses répertoriées dans le creek de la Baie Nord depuis 2009 à aujourd'hui sont :

- les rejets des eaux de ruissellement contenues dans les bassins de premier flot Nord 1 (FFPN1), Nord 2 (FFPN2) et Sud (FFPS) de l'usine contrôlés avant rejet ;
- les rejets des effluents industriels traités de Prony Energies (PPIE) (via les bassins de premier flot Nord 1 et 2 ;
- les rejets de la station de traitement des eaux de ruissellement du stock de charbon de Prony Energies (CSSW) (via le bassin de soufre depuis fin 2010 sauf en cas de remplissage du bassin) ;
- les rejets des TAR de Prony Energies directement dans le Creek de la Baie Nord (CTB) ;
- les 25 premiers millimètres des eaux de ruissellement de Prony Energies (PPSW) après traitement dans l'unité de traitement de Prony Energies.

Le schéma ci-dessous présente les différentes lignes d'effluents rejetés directement ou indirectement dans le creek de la Baie Nord depuis le bassin versant Nord de l'usine.

**Figure 18 : Schéma des effluents de Vale Nouvelle-Calédonie et de Prony Energies du bassin versant nord de l'usine**



## 5.2.2 Bilan des données disponibles

Les émissions aqueuses font l'objet d'un suivi avant rejet, le tableau ci-après récapitule les analyses disponibles.

**Tableau 11 : Résultats d'analyses disponibles du suivi des effluents aqueux rejetés dans le creek de la Baie Nord**

Nom du rejet	Lieu de déversement		Disponibilité des analyses	Fréquence de suivi
	Avant modification	Après modification		
FFPN1	Creek de la Baie Nord, point de rejet 6-I1	-	Disponibles dans les rapports semestriels et annuels depuis 2009	A chaque rejet
FFPN2	Creek de la Baie Nord, point de rejet 6-I1, bras nord.	-	Disponibles dans les rapports semestriels et annuels depuis 2009	A chaque rejet
FFPS	Creek de la Baie Nord, point de rejet 6-M1, bras sud.	-	Disponibles dans les rapports semestriels et annuels depuis 2009	A chaque rejet
PPIE	Creek de la Baie Nord, point de rejet 6-IP1, bras nord.	Procédé de Vale NC (non réalisé)	Voir Prony Energies ou rapports d'exploitation (pdf)	Selon les fréquences de l'arrêté utilités
CSSW	Creek de la Baie Nord, point de rejet 6-I1, bras nord.	Bassin de soufre (réalisé), débordement dans le CBN quand le bassin de soufre est plein	Voir Prony Energies ou rapports d'exploitation (pdf)	Selon les fréquences de l'arrêté utilités
PPSW	Creek de la Baie Nord, point de rejet 6-IP2, bras nord.	-	Voir Prony Energies ou rapports d'exploitation (pdf)	Selon les fréquences de l'arrêté utilités
CTB	Creek de la Baie Nord, point de rejet 6-IP2, bras nord.	Procédé de Vale NC (non effectif)	Données de suivi de ValeNC depuis septembre 2009 ou Voir Prony Energies ou rapports d'exploitation (pdf)	Selon les fréquences de l'arrêté utilités et tous les mois pour le suivi ValeNC

## 5.2.3 Analyses des données de suivi des rejets

### 5.2.3.1. Les bassins de premier flot

Les eaux de ruissellement collectées dans les bassins de premier flot sont rejetées après vérification de leur conformité aux valeurs limites d'émission décrites dans l'arrêté n°1467-2008/PS. Si les analyses ne sont pas conformes les effluents sont envoyés dans l'unité de traitement des effluents industriels. Le tableau 12 présente les Valeurs Limites d'Emissions en rejet des bassins de premier flot de l'usine.

**Tableau 12 : Valeurs Limites d'Emission en rejet des bassins de premier flot de l'usine**

Paramètre	valeur limite de concentration
température	30 °C
pH	entre 5,5 et 9,5
MEST	35 mg/l
DBO5 (sur effluent non décanté)	30 mg/l
DCO (sur effluent non décanté)	125 mg/l
Sulfates	-
arsenic	0,05 mg/l
Chrome hexavalent et composés (en Cr <sup>6+</sup> )	0,1 mg/l
Chrome et composés (en Cr)	0,5 mg/l
Plomb et composés (en Pb)	0,5 mg/l
Cuivre et composés (en Cu)	0,5 mg/l
Nickel et composés (en Ni)	2 mg/l
Zinc et composés (en Zn)	2 mg/l
Manganèse et composés (en Mn)	1 mg/l
Étain et composés (en Sn)	2 mg/l
Fer, aluminium et composés (en Al+Fe)	5 mg/l
Cobalt et composés (en Co)	-
Magnésium et composés (en Mg)	-
calcium et composés (en Ca)	-
silicium et composés (en Si)	-
Mercure et composés, y compris méthylmercure (en Hg)	0,05 mg/l
cadmium	0,2 mg/l
Composés organiques halogénés (en AOX ou BOX)	1 mg/l
Hydrocarbures totaux	10 mg/l
Dioxines et furannes	0,3 ng/l

#### 5.2.3.2. Les rejets des tours de refroidissement de Prony Energies

Les résultats des suivis réalisés par Prony Energies sont disponibles dans les rapports d'exploitation transmis mensuellement ou annuellement par Prony Energies.

Concernant les analyses réalisées par le service Environnement, les rejets des purges des TAR sont, pour la majorité des résultats, conformes aux valeurs limites d'émission mais des dépassements ont été relevés notamment pour le zinc.

Le benzotriazole a également été analysé et est présent à des teneurs moyennes de 1mg/L en rejet. La qualité de l'eau rejetée est plus minéralisée que le milieu naturel. Par exemple, la conductivité est de 300µS/cm en moyenne pour le rejet alors que celle du creek est inférieure à 100µS/cm.

#### 5.2.3.3. Les rejets des PPIE, PPSW et CCSW

Ces rejets sont suivis par Prony Energies. Les résultats sont disponibles dans les rapports d'exploitation transmis mensuellement ou annuellement par Prony Energies.

## 6. QUALITE ET EVOLUTION DU MILIEU

### 6.1. Qualité de l'air ambiant

Les paragraphes suivants reprennent les données de l'état initial, bibliographie et mesures réalisées pendant la construction entre 2004 et 2005, ainsi que les données de suivi du milieu depuis 2007.

#### 6.1.1 Etat initial

L'état initial de la qualité de l'air a été décrit dans le dossier de demande d'autorisation d'exploiter de l'usine de traitement de nickel et de cobalt de mai 2007. Les principaux éléments sont repris ci-après.

Une étude bibliographique a été réalisée afin de déterminer la qualité de l'air ambiant avant toute activité de construction. Les premières campagnes de suivis ont été réalisées alors que la construction du site était en cours, elles ne correspondaient donc pas à un état initial réel.

**Tableau 13 : Récapitulatif de la qualité de l'air ambiant initiale au projet (hypothèse d'après bibliographie)**

Constituant	Concentration de caractérisation
SO <sub>2</sub>	5 ppb (ou 13,0 µg/Nm <sup>3</sup> )
NO <sub>2</sub>	1,5 ppb (ou 2,82 µg/Nm <sup>3</sup> )
PM10	20 µg/Nm <sup>3</sup>
Dépôts de poussières	1,5 g/m <sup>2</sup> /30 jours

##### 6.1.1.1. Mesure des retombées de poussières

Les mesures de retombées de poussières ont été réalisées dans 2 stations de mesure (la station de la Forêt Nord et la station de Port Boisé) pour une période d'un mois. Les mesures ont été réalisées entre le 04/04/2005 et le 03/05/2005 pour la saison humide et entre le 18/08/2005 et le 19/09/2005 pour la saison sèche. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 14 : Résultats des mesures de retombées de poussières**

Station		Dépôt de poussières (mg/m <sup>2</sup> /j)	Dépôt de métaux dans les poussières (µg/m <sup>2</sup> /jour)												
			V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sn	Sb	Pb	Hg
Port Boisé	Humide	109	0.42	5.07	20.52	1.62	17.19	9.64	234.5	0.04	<lq	0.24	<lq	8.07	<lq
	Sèche	104	2.2	83.4	45.1	5.3	57.5	8.6	891.1	0.1	0.8	0.4	0.1	8.7	<lq
Forêt Nord	Humide	205	0.22	4.91	25.6	2.07	19.37	10.95	309.4	<lq	0.93	0.34	<lq	8.97	<lq
	Sèche	112	0.04	1.2	20.3	4.7	42.6	6.6	433.2	<lq	<lq	0.04	<lq	6.0	<lq

V=Vanadium ; Cr=Chrome ; Mn=Manganèse ; Co=Cobalt ; Ni=Nickel ; Cu=Cuivre ; Zn=Zinc ; As=Arsenic ; Cd=Cadmium ; Sn=Etain ; Sb=Antimoine ; Pb=Plomb, Hg=Mercure ; lq=limite de quantification ;

Cette campagne de mesure montre l'influence de la proximité du site de construction (trafic et travaux). Les taux de retombées de poussières sont plus élevés et plus variables selon la saison sur la station Forêt Nord que sur celle de Port Boisé. Les dépôts en métaux aux 2 stations sont similaires sauf pour les paramètres chrome, manganèse et zinc en saison sèche qui présentent des différences significatives.

#### 6.1.1.2. Contaminants gazeux et particulaires

##### Dioxyde de soufre et dioxyde d'azote (SO<sub>2</sub> et NO<sub>2</sub>)

Les mesures de SO<sub>2</sub> de NO<sub>2</sub> ont été réalisées pour les 6 stations présentées dans le Tableau 15 pendant une période d'exposition des tubes de 15 à 25 jours. Le tableau ci-dessous présente les résultats d'analyses pour les 6 stations.

**Tableau 15 : Résultats des analyses SO<sub>2</sub> et NO<sub>2</sub>**

Station	Saison	Période	NO <sub>2</sub> en µg/m <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> en µg/m <sup>3</sup>
Belvédère	Saison humide	30/05/2005 au 14/06/2005	1,4	<1,3
	Saison sèche	18/08/2005 au 13/09/2005	<1	<1,3
Pic du Grand Kaori	Saison humide	30/05/2005 au 14/06/2005	<0,9	1,3
	Saison sèche	02/09/2005 au 19/09/2005	1,3	<1,3
Base-vie	Saison humide	09/06/2005 au 27/06/2005	<0,9	1,8
	Saison sèche	06/10/2005 au 21/10/2005	2,1	2,6
Forêt Nord	Saison humide	30/05/2005 au 14/06/2005	<0,9	<1,3
	Saison sèche	18/08/2005 au 13/09/2005	<1	<1,3
Port Boisé	Saison humide	09/06/2005 au 24/06/2005	0,9	<1,3
	Saison sèche	18/08/2005 au 13/09/2005	<1	3,1
Tribu de Goro	Saison humide	27/06/2005 au 18/07/2005	<0,9	<1,3
	Saison sèche	18/08/2005 au 06/09/2005	<1	<1,3
Valeurs de référence <sup>1</sup>			40*	50**

Notes :

1=valeurs de référence (moyennes annuelles) issues du décret modifié n°98-360 du 6 mai 1998

\*=objectif de qualité et valeur limite pour le NO<sub>2</sub> (marge de dépassement de 12 µg/m<sup>3</sup> en 2004)

\*\*=objectif de qualité pour le SO<sub>2</sub>.

Les valeurs de référence retenues pour les paramètres SO<sub>2</sub> et NO<sub>2</sub> sont issues du décret modifié n°98-360 du 6 mai 1998. Les résultats d'analyses montrent que les concentrations mesurées aux 6 stations sont du même ordre de grandeur et elles sont inférieures aux valeurs de référence.

##### Poussières PM10 et métaux en suspension

Les mesures de poussières et métaux en suspension (PM10) ont été réalisées aux 6 stations présentées dans le tableau ci-après pendant une période d'exposition des tubes de 3 jours consécutifs. Le tableau ci-dessous présente les moyennes sur ces 3 jours des résultats d'analyses pour les 6 stations.

**Tableau 16 : Résultat des analyses de poussières PM10 et métaux en suspension (Séchaud/LBTP, 2005)**

Station	Saison	Concentration moyenne ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Concentration moyenne en métaux ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )												
			PM10	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sn	Sb	Pb
Belvédère	Humide	14	3,2	45,2	11	0,5	19,3	3,3	35,1	1	0*	0*	0*	1,1	0*
	Sèche	22	2,2	22,5	5,3	0,4	8,5	8,2	0,7	5,6	0,1	0,6	0,9	0,2	0*
	Moyenne	18	2,7	33,9	8,1	0,5	13,9	5,8	17,9	3,3	0,1	0,6	0,9	0,7	0*
Pic du Grand Kaori	Humide	7	0*	0,1	1,9	0*	0,6	1,5	22,6	0*	0*	0*	0*	0,1	0*
	Sèche	9	0,3	2,5	0,6	0,1	1,2	0,6	0*	0,1	0*	0,3	0,3	0*	0*
	Moyenne	8	0,3	1,3	1,3	0,1	0,9	1	22,6	0,1	0*	0,3	0,3	0,1	0*
Base-vie	Humide	21	1,2	76	20,5	1,9	24,1	1,2	19	0,1	0*	0*	0*	0,1	0*
	Sèche	9	1,4	5,6	1,8	0,2	3,4	0,3	1,6	0*	0*	0,2	0,1	0*	0*
	Moyenne	15	1,3	40,8	11,2	1,1	13,8	0,8	10,3	0,1	0*	0,2	0,1	0,1	0*
Forêt Nord	Humide	12	0*	6,6	2	0,1	2,5	0,2	21,5	0*	0*	0*	0*	0*	0*
	Sèche	11	0,3	9,1	1,6	0,3	2,9	0,3	1,2	0*	0*	0*	0,4	0*	0*
	Moyenne	12	0,3	7,8	1,8	0,2	2,7	0,3	11,3	0*	0*	0*	0,4	0*	0*
Port Boisé	Humide	7	0,1	2,2	1,1	0*	1,5	0,9	1	0*	0*	0*	0*	0,1	0*
	Sèche	7	0,2	5	2,2	0,1	1,6	0,5	0*	0*	0*	0,1	0*	0*	0*
	Moyenne	7	0,1	3,6	1,6	0,1	1,5	0,7	1	0*	0*	0,1	0*	0,1	0*
Tribu de Goro	Humide	16	0*	1,8	1,1	0*	1,5	1	0*	0*	0*	0*	0*	0,6	0*
	Sèche	9	0,3	7,9	5,2	0,7	40,6	0,5	0*	0,1	0*	0,1	0*	0*	0*
	Moyenne	13	0,3	4,8	3,1	0,7	21,1	0,7	0*	0,1	0*	0,1	0*	0,6	0*
Valeurs limites (poussière, Pb)															
Valeurs cibles (Ni, As, Cd)		40	-	-	-	-	20	-	-	6	5	-	-	500	-
<b>Moyenne annuelle</b>															
Objectif de qualité de l'air		30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	250	-
<b>Moyenne annuelle</b>															

Notes : V=Vanadium ; Cr=chrome ; Mn=Manganèse ; Co=Cobalt ; Ni=Nickel ; Cu=Cuivre ; Zn=Zinc ; As=Arsenic ; Cd=Cadmium ; Sn=Etain ; Sb=Antimoine ; Pb=Plomb, Hg=Mercure ; lq=limite de quantification ; "-" = pas de valeur de référence. « \* » : niveau équivalent au blanc d'analyse

Les valeurs de référence indiquées dans le tableau ci-dessus sont issues des réglementations françaises et européennes, elles sont utilisées à titre informatif en raison de l'absence de références calédoniennes :

- du décret modifié n°98-360 du 6 mai 1998 pour les PM10 et le plomb (valeurs limites et objectifs de qualité sur la base des moyennes annuelles) ;
- de la directive n°2004/107/CE du 15 décembre 2004 du parlement Européen pour le nickel, l'arsenic, le plomb et le cadmium (valeurs cibles sur la base des moyennes annuelles).

Les résultats de la campagne de suivi de la qualité de l'air montrent que :

- les concentrations de PM10 varient entre 7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  au Pic du Grand Kaori à 21-22  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  au Belvédère (village de Prony) et à la base-vie (probablement dues aux activités dans ces zones

- et au trafic de véhicules). Ces concentrations sont inférieures aux valeurs de référence y compris aux objectifs de qualité ;
- Les métaux majoritairement détectés sont le chrome, le manganèse, le nickel et le zinc. La concentration maximale en nickel est mesurée à la station tribu de Goro. Les concentrations en chrome et en zinc les plus élevées sont mesurées à la station Belvédère (village de Prony) et celle correspondant au manganèse à la station base-vie ;
  - De manière générale, les concentrations en métaux varient peu entre la saison sèche et la saison humide sauf pour les métaux présentant des concentrations significatives (chrome, manganèse, nickel et zinc) ;
  - Les concentrations en nickel mesurées à la base-vie, à la tribu de Goro et au village de Prony (station Belvédère) sont supérieures à la valeur cible correspondante. Cependant, il faut noter que la valeur cible correspond à une moyenne annuelle, or les mesures réalisées lors de ces campagnes ont porté sur deux fois 3 jours consécutifs au total. D'autre part, les valeurs mesurées quotidiennement à ces stations montrent de fortes variations au-dessous et au-delà de la valeur cible de 20 ng/m<sup>3</sup>, il est donc difficile d'interpréter ces résultats en terme de moyenne annuelle ;
  - Les concentrations des autres métaux analysés sont faibles et inférieures aux valeurs de référence lorsqu'elles existent. Il convient toutefois de noter qu'une concentration proche de la valeur cible en arsenic a été mesurée en saison sèche à la station Belvédère (village de Prony).

#### 6.1.1.3. Conclusion sur l'état initial

Une étude sur la qualité de l'air a été réalisée en 2005 en saison humide et sèche. Les résultats d'analyses montrent :

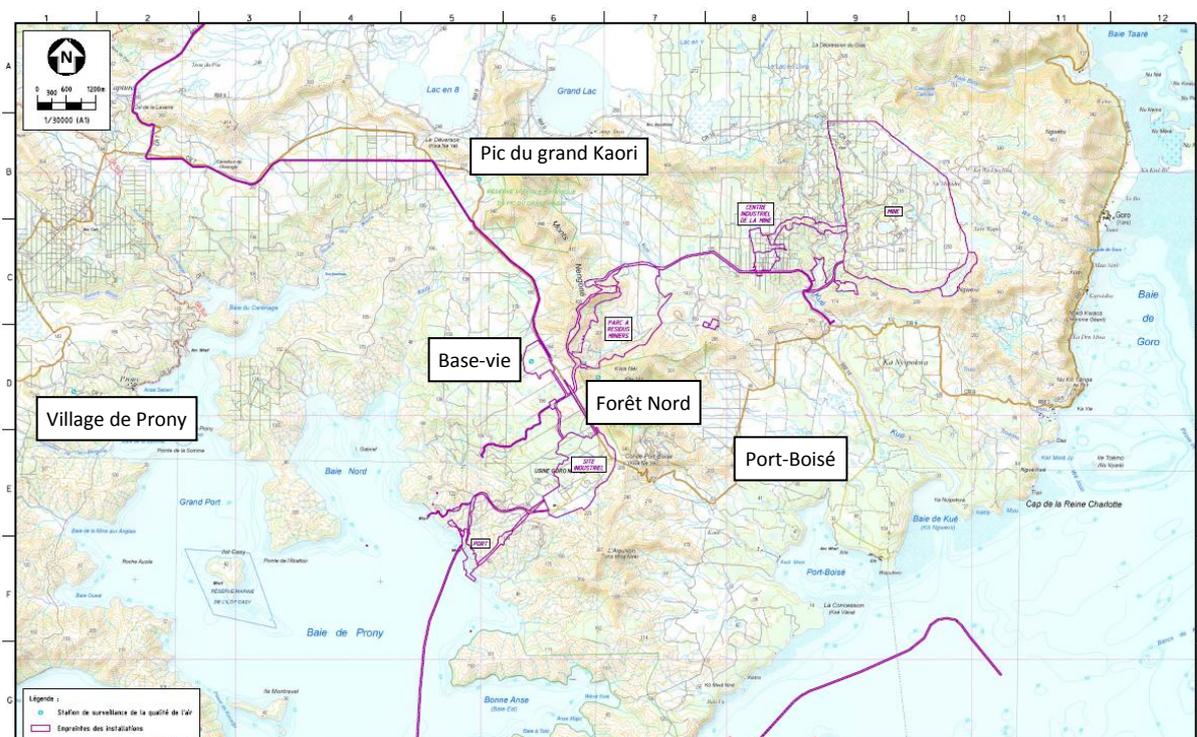
- SO<sub>2</sub> : une moyenne de 2,2 µg/m<sup>3</sup> (moyenne des concentrations supérieures à la limite de détection) sur six stations pendant une durée d'exposition de 15 à 25 jours ;
- NO<sub>2</sub> : une moyenne de 1,4 µg/m<sup>3</sup> (moyenne des concentrations supérieures à la limite de détection) sur six stations pendant une durée d'exposition de 15 à 25 jours ;
- PM<sub>10</sub> : une moyenne de 12 µg/m<sup>3</sup> sur six stations pendant 3 jours d'exposition ;
- Concentration moyenne des métaux en suspension (PM<sub>10</sub>) : les concentrations en nickel sont de 9 ng/m<sup>3</sup> en moyenne sur six stations pendant 3 jours d'exposition ;
- Dépôts de poussières : une moyenne de 130 mg/m<sup>2</sup>/j sur deux stations pendant une durée de 30 jours ;
- Dépôts de métaux dans les poussières : les valeurs de dépôts de nickel sont de 34 µg/m<sup>2</sup>/j en moyenne sur 2 stations pendant une durée de 30 jours.

#### 6.1.2 Suivi continu

La qualité de l'air ambiant doit être mesurée par 5 stations de mesures fixes et mobiles, nommées stations AQMS. Le tableau et la carte ci-après présentent et localisent les stations de suivi de la qualité de l'air ambiant.

**Tableau 17 : Localisation, dénomination et caractéristiques des sites de mesure de la qualité des eaux de pluie**

N° station	Nom de la station	Abréviation	Coordonnées (IGN 72)			Type de station	Distance du site industriel (km)
			X	Y	Z		
1	Forêt Nord	FN	697614	7530560	334	Fixe	1,6
2	Village de Prony, zone du belvédère	PR	686862	7530460	153	Fixe	9,35
3	Port-Boisé	PB	702826	7529080	43	Fixe	6,4
4	Base-vie	BV	696271	7531222	181	Fixe	2,4
5	Pic du Grand Kaori	PGK	694919	7534950	230	Mobile	6

**Figure 19 : Localisation des stations de suivi de la qualité de l'air ambiant**


Pour le suivi de la qualité de l'air ambiant, les polluants visés sont :

- les gaz, SO<sub>2</sub> et NO<sub>2</sub> mesurés en continu ;
- les particules en suspension :
  - les quantités de poussières en suspension PM<sub>10</sub> mesurées en continu,
  - l'analyse des métaux contenus dans ces poussières effectuée de façon ponctuelle lors de campagnes de prélèvement,
- les retombées de poussières mesurées lors de campagnes de prélèvement.

Les mesures des quantités de poussières en suspension PM<sub>10</sub> et polluants gazeux (NO<sub>2</sub> et SO<sub>2</sub>) sont réalisées sur l'ensemble des AQMS. Les mesures de retombées de poussières sont réalisées sur deux de ces stations, les stations de la Forêt Nord et de Port Boisé, conformément à l'étude de définition réalisée en 2007.

Le vieillissement du matériel et les difficultés de maintenance ont conduit à une dégradation du taux de données valides à partir de 2009.

Suite à la reprise totale de l'opération des stations par Scal-Air prévue dans la convention signée entre ce dernier et Vale Nouvelle-Calédonie en février 2011, et sous recommandation du service technique de Scal-Air, certains équipements ont été remplacés pour uniformiser le parc.

Les stations industrielles (Base-Vie et Forêt Nord) ont fait l'objet d'une remise en fonctionnement prioritaire. Les calendriers de remise en état de ces stations et de réception des analyseurs ont permis l'installation des différents capteurs aux dates suivantes :

- mars 2011 : capteurs de SO<sub>2</sub>.
- 30 juin 2011 : capteurs de NO<sub>2</sub>.
- 8 juillet 2011 : capteurs de PM<sub>10</sub>.

Un laboratoire mobile équipé de capteurs de SO<sub>2</sub> et NO<sub>2</sub> a été installé et mis en fonctionnement le 5 mai 2011. Il a été installé en périphérie proche de l'Usine, à la limite de la forêt impactée.

#### 6.1.2.1. Mesures de SO<sub>2</sub>

Des mesures de SO<sub>2</sub> ont été réalisées, les périodes de mesures et le taux de données valides sont présentés ci-dessous par analyseurs.

**Tableau 18 : Périodes de fonctionnement et taux de validité des mesures**

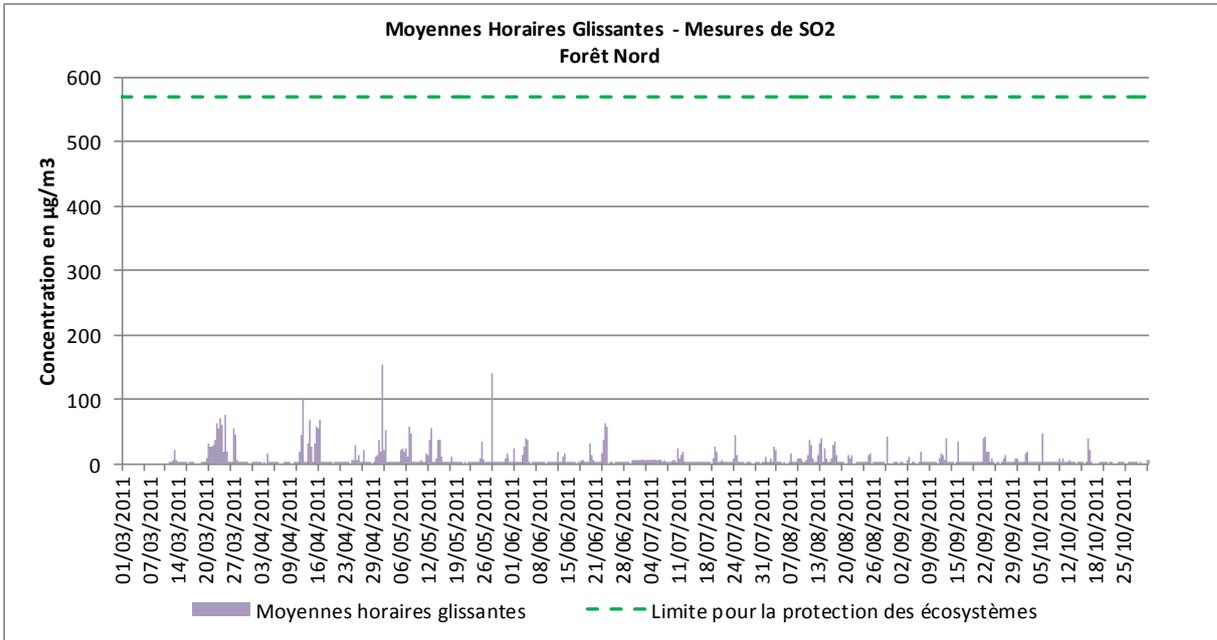
AQMS	Date 1 <sup>ère</sup> acquisition de données	Taux de données valides au 01/11/2011
Forêt Nord	11/03/2011	98,6 %
Base-vie	11/03/2011	98,2 %
Station Mobile	05/05/2011	87,6 %

**Tableau 19 : Statistiques des moyennes horaires glissantes pour les mesures de SO<sub>2</sub> des AQMS Forêt Nord, Base-vie et station mobile**

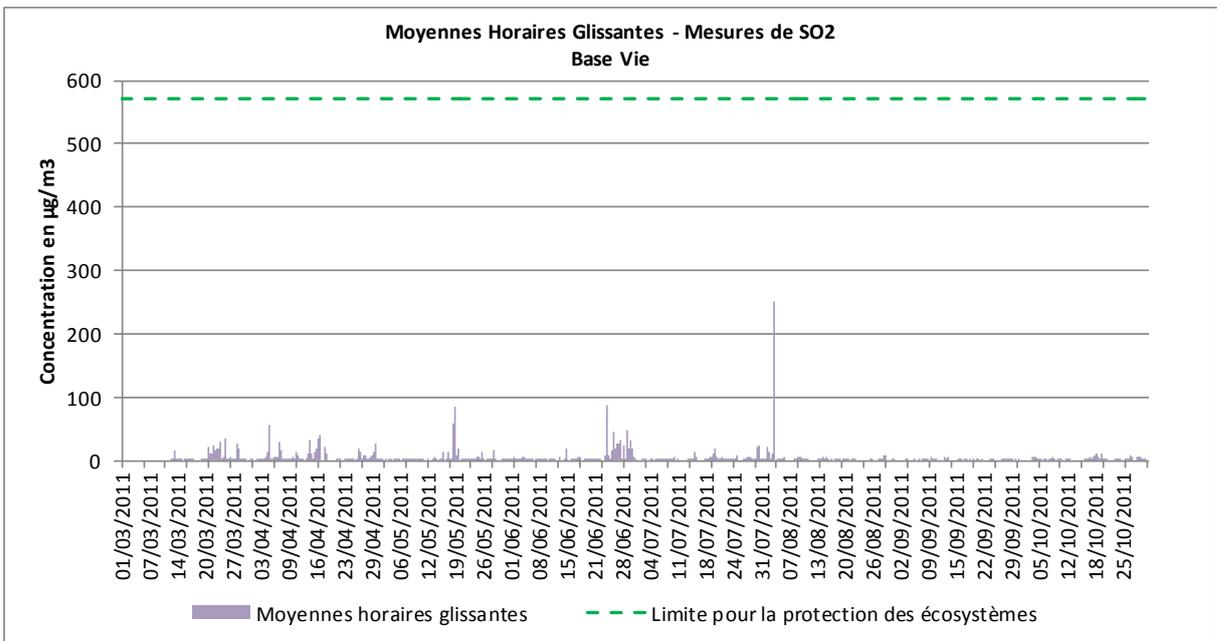
	Forêt Nord	Base-vie	Labo mobile
	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
Moyenne	2	1	20
Ecart type	7	5	43
Q1 (Min)	0	0	0
Q2 (25)	0	0	1
Médiane	0,75	0	3
Q4 (75)	1	2	11
Q5 (Max)	155	253	362
C90	6	4	63

Les figures suivantes présentent la chronique de mesure acquise depuis mai 2011.

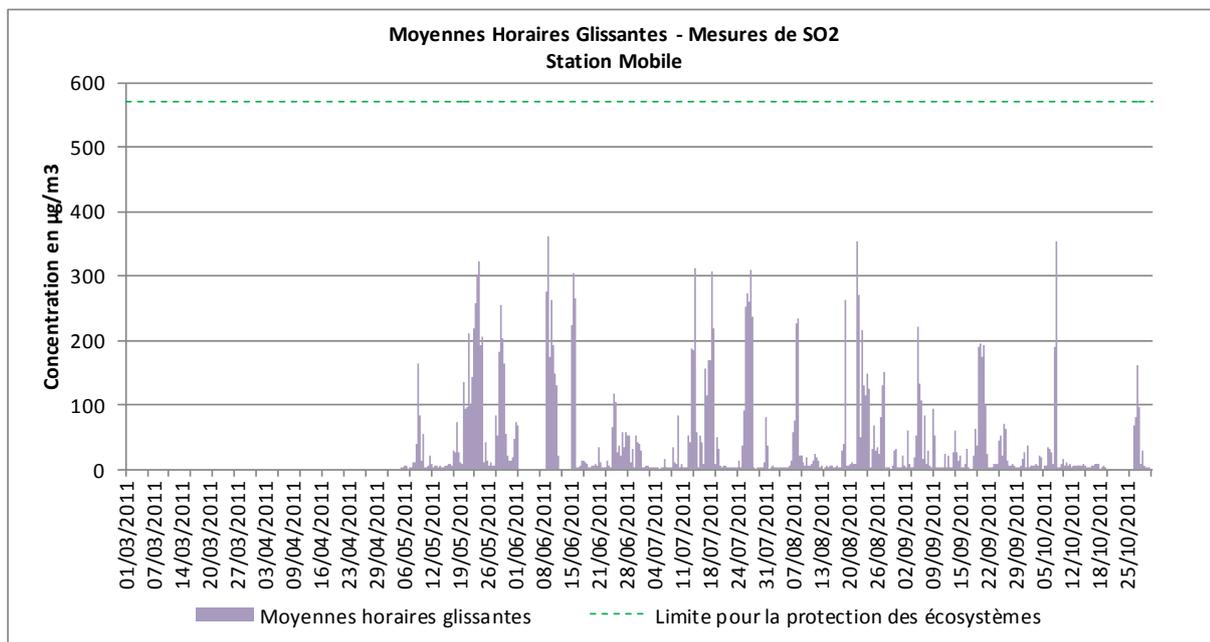
**Figure 20 : Moyennes horaires glissantes des mesures de SO<sub>2</sub> pour le suivi de la qualité de l'air au niveau de la Forêt Nord**



**Figure 21 : Moyennes horaires glissantes des mesures de SO<sub>2</sub> pour le suivi de la qualité de l'air au niveau de la base-vie**



**Figure 22 : Moyennes horaires glissantes des mesures de SO<sub>2</sub> pour le suivi de la qualité de l'air à proximité de la forêt rivulaire (Station Mobile)**



Les graphiques présentent les mesures de SO<sub>2</sub> réalisées depuis mars 2011 à proximité de la zone où un impact a été observé, au niveau de la réserve de la Forêt Nord et de la base-vie.

Aucun pic de SO<sub>2</sub> ne dépasse la valeur limite pour la protection des écosystèmes. La valeur de SO<sub>2</sub> maximum a été enregistrée au niveau de la station mobile, soit 362 µg/m<sup>3</sup>.

#### 6.1.2.2. Mesures de NO<sub>2</sub>

Des mesures de NO<sub>2</sub> ont été réalisées, les périodes de mesures et le taux de données valides sont présentés ci-dessous par analyseurs.

**Tableau 20 : Périodes de fonctionnement et taux de validité des mesures**

AQMS	Date 1 <sup>ère</sup> acquisition de données	Taux de données valides au 01/11/2011
Forêt Nord	30/06/2011	99,6 %
Base-vie	30/06/2011	69,9 %
Station Mobile	20/07/2011	83 %

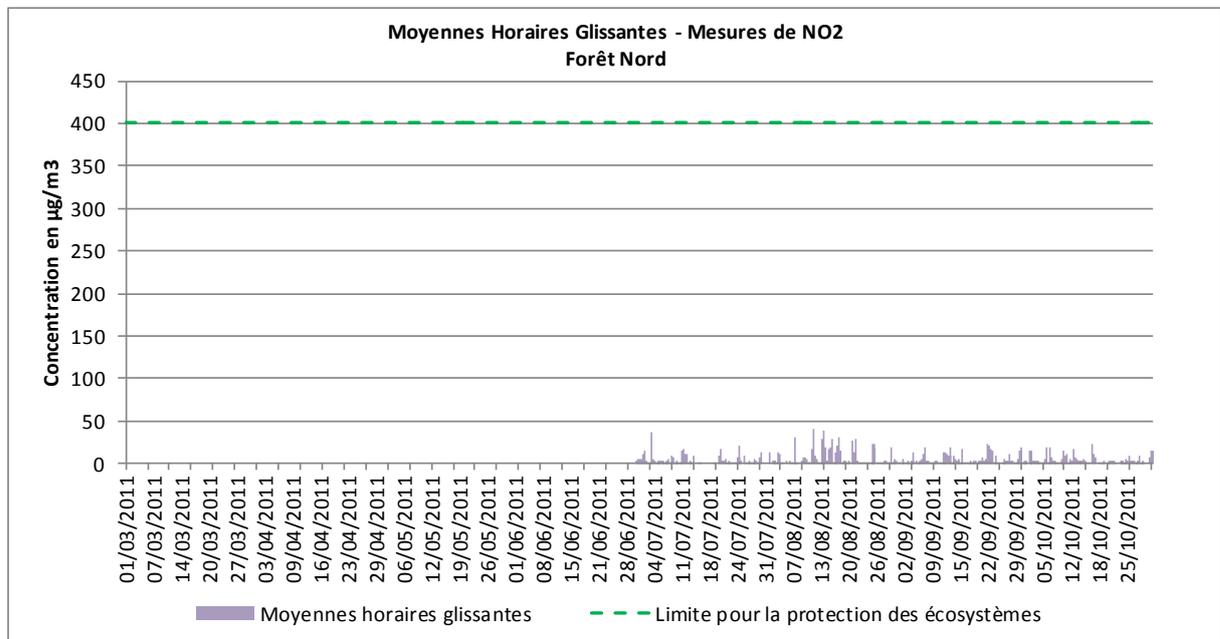
Les données statistiques pour les mesures de NO<sub>2</sub> sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 21 : Statistiques des moyennes horaires glissantes de NO<sub>2</sub> pour la station mobile, la station de la Forêt Nord et de la base-vie**

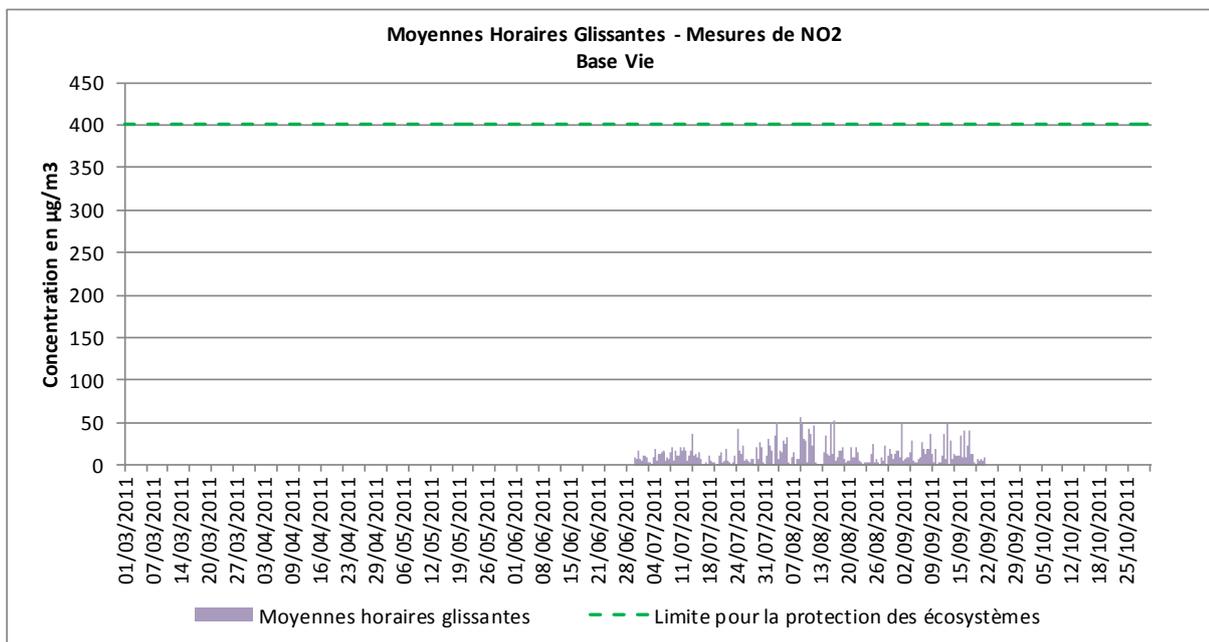
	Forêt Nord	Base-vie	Labo Mobile
	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>
	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
Moyenne	1	4	6
Ecart type	3	6	10
Q1 (Min)	0	0	0
Q2 (25)	0	0	0
Médiane	0	2	2
Q4 (75)	2	4	6
Q5 (Max)	41	56	87
C90	4	10	17

Les statistiques des mesures de NO<sub>2</sub> au niveau des trois stations AQMS indiquent que les mesures présentent des valeurs basses. Les plus fortes valeurs sont enregistrées au niveau de la station mobile qui est la station la plus proche du site industriel, soit 87 µg/m<sup>3</sup>. Toutefois, 90% des mesures de NO<sub>2</sub> pour cette station sont en-dessous de 17 µg/m<sup>3</sup>.

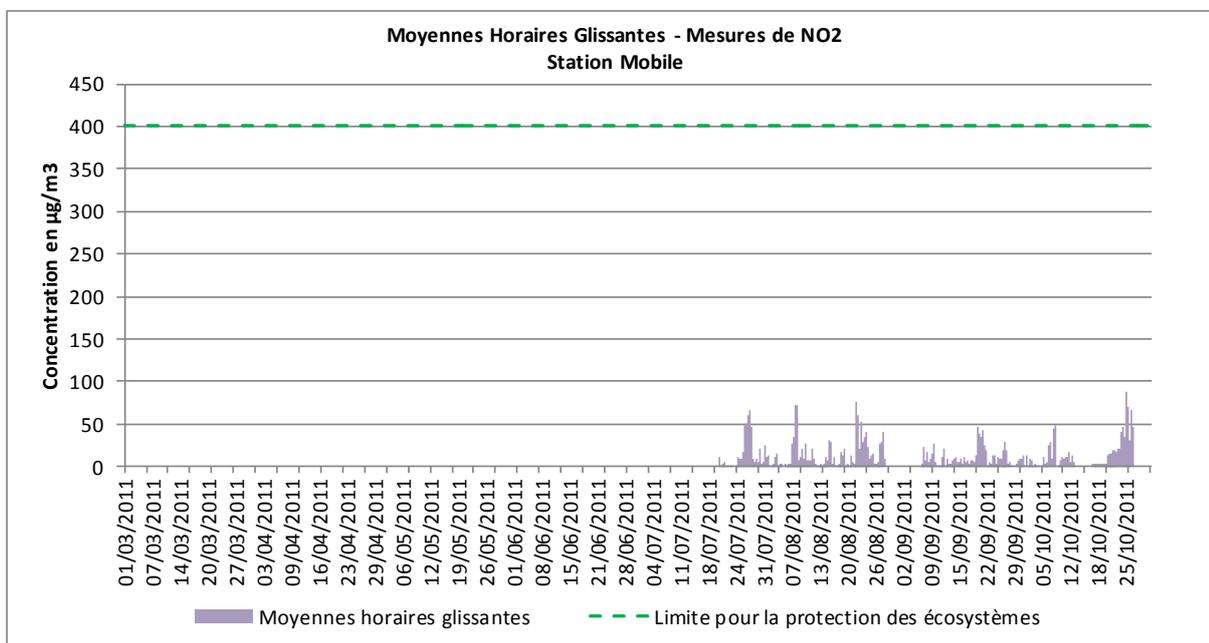
Les figures suivantes présentent les variations des teneurs de NO<sub>2</sub> au niveau des trois stations AQMS.

**Figure 23 : Moyennes horaires glissantes des mesures de NO<sub>2</sub> pour le suivi de la qualité de l'air au niveau de la Forêt Nord**


**Figure 24 : Moyennes horaires glissantes des mesures de NO<sub>2</sub> pour le suivi de la qualité de l'air au niveau de la base-vie**



**Figure 25 : Moyennes horaires glissantes des mesures de NO<sub>2</sub> pour le suivi de la qualité de l'air à proximité de la forêt rivulaire (station mobile)**



Les mesures de NO<sub>2</sub> réalisées au niveau des 3 stations AQMS (station mobile, Forêt Nord et base-vie) ne présentent pas de valeurs élevées pour la période étudiée et sont très en dessous du seuil limite pour la protection des écosystèmes.

### 6.1.3 Campagnes de mesure par intégration

En mai et juin 2011, Bureau Véritas a été mandaté par Vale Nouvelle-Calédonie pour réaliser des mesures de concentration de polluants dans l'atmosphère à proximité immédiate du site industriel. L'ensemble des résultats et des commentaires sont disponibles dans le rapport d'essai du Bureau Véritas du 01/08/2011 intitulé « Contrôle des concentrations de polluants dans l'atmosphère sur site ».

Les mesures ont été réalisées du 02/05/2011 au 08/05/2011 et du 28/05/2011 au 04/06/2011. Les unités en fonctionnement au moment de ces campagnes sont présentées dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 22 : Unités en fonctionnement au moment des campagnes de mesures par intégration**

	Dates des campagnes	Unités en fonctionnement
<b>Campagne 1</b>	02/05/2011 au 08/05/2011	- Tranche 1 de Prony Energies (du 02/05/11 au 4/05/11 et du 6/05/11 au 8/05/11) - Tranche 2 de Prony Energies (tt le temps de la campagne) - Chaudière 2 de la 350 - Chaudière 3 de la 350
<b>Campagne 2</b>	28/05/2011 au 04/06/2011	- Tranche 1 de Prony Energies (le 04/05/2011) - Tranche 2 de Prony Energies (tt le temps de la campagne) - Chaudière 2 de la 350 - Chaudière 3 de la 350 - Usine d'acide (330)

Les polluants mesurés à l'aide de tubes à diffusion passive, avec un temps d'exposition équivalent à la durée de la campagne, sont :

- le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) ;
- les dioxydes d'azote (NO<sub>2</sub>) ;
- l'ozone (O<sub>3</sub>) ;
- l'acide chlorhydrique (H<sub>3</sub>O Cl-) ;
- l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) ;
- les Composés Organiques Volatiles totaux (COV)

Les métaux lourds particuliers ont été prélevés à l'aide de filtres à quartz, à raison d'un prélèvement par jour.

La direction des vents pendant la première campagne a été plutôt défavorable pour l'étude. Pendant 3 jours sur 7, les vents ont portés les effluents de l'usine en direction du point de mesure contre 5 jours pour la deuxième campagne.

Les conclusions principales sont :

- Les teneurs mesurées sont inférieures aux valeurs limite pour la protection de la végétation ;
- Les teneurs en métaux dans les poussières totales sont très faibles et proches des seuils de détection ;
- Il est à noter le dépassement de la VLE annuelle de la teneur en SO<sub>2</sub> lors de la deuxième campagne (usine d'acide en fonctionnement). Cette teneur de 129 µg/m<sup>3</sup> est à nuancer car

la VLE de 20 µg/m<sup>3</sup> est basée sur une valeur moyenne annuelle, la durée des mesures a été d'une semaine. La moyenne journalière de 230 µg/m<sup>3</sup> n'a pas été dépassée pour une teneur moyenne sur une semaine.

#### **6.1.4 Conclusion**

En conclusion, les mesures réalisées indiquent que les seuils limites pour différents objectifs (seuil de détection, protection de la végétation...) sont respectés, toutefois certains pics ont été observés lors du suivi de la qualité de l'air. Un seul a pu être expliqué par le démarrage de l'usine d'acide et d'une chaudière de Vale Nouvelle-Calédonie. Ces pics sont cependant inférieurs aux limites pour la protection des écosystèmes.

#### **6.2. Qualité des eaux de pluie**

La qualité des eaux de pluies est suivie à proximité du site industriel et de la base-vie de Vale Nouvelle-Calédonie, et aussi à proximité de lieu d'habitation et de zones protégées. En plus de ces suivis réguliers, des mesures ont été réalisées spécifiquement pour la problématique de la dégradation des chênes gomme de la forêt rivulaire.

##### **Mesures**

Dans le cadre de la recherche des hypothèses de la dégradation des Chênes Gomme de la forêt rivulaire, une campagne de suivi de la qualité des eaux de pluie a été réalisée au niveau de la station U-7. L'ensemble des données disponibles sont présentées ci-après. Quatre stations ont été retenues :

- Le pluviomètre de U-7, à proximité immédiate de la forêt rivulaire ;
- Le pluviomètre de l'usine
- Le pluviomètre de la base-vie
- Le pluviomètre de Ouénarou (Rivière Bleue)

Les paramètres présentés dans les figures suivantes sont les nitrates, les sulfates, les chlorures, la conductivité et le pH. Les mesures antérieures à 2006 sont les états de référence des mesures.

Figure 26 : Résultats d'analyse des nitrates pour 4 pluviomètres entre 2004 et 2011

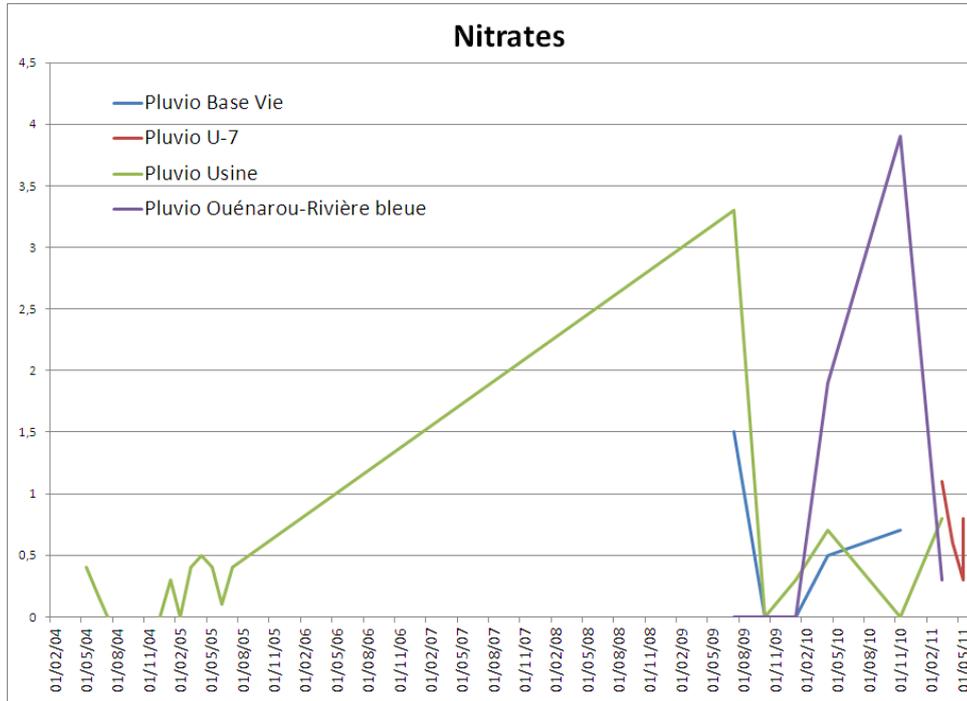


Figure 27 : Résultats d'analyse des sulfates pour 4 pluviomètres entre 2004 et 2011

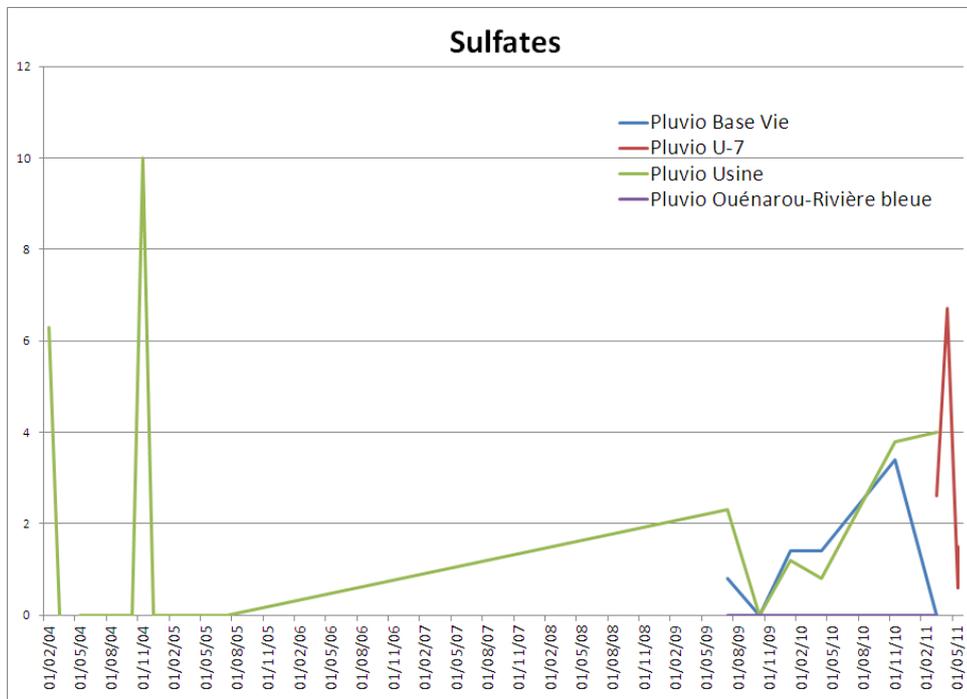


Figure 28 : Résultats d'analyse des chlorures pour 4 pluviomètres entre 2004 et 2011

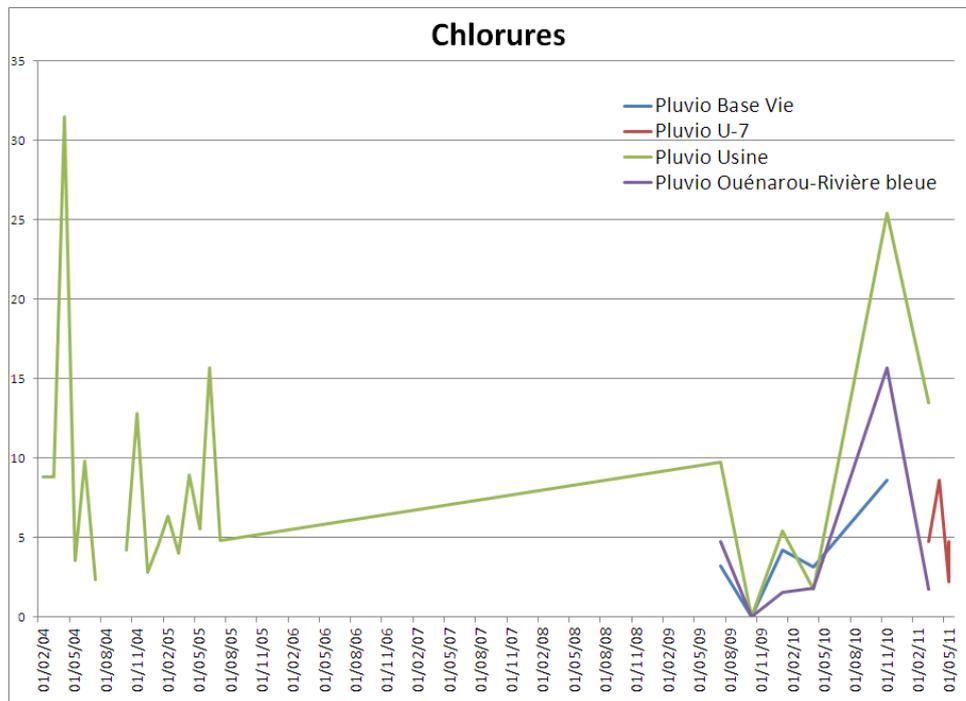
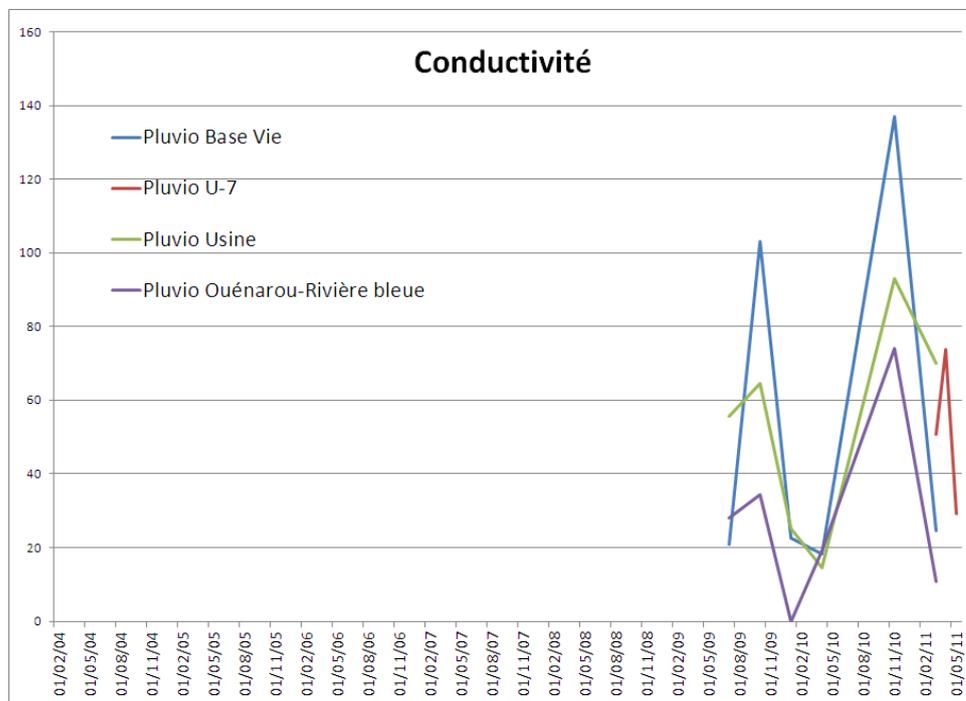
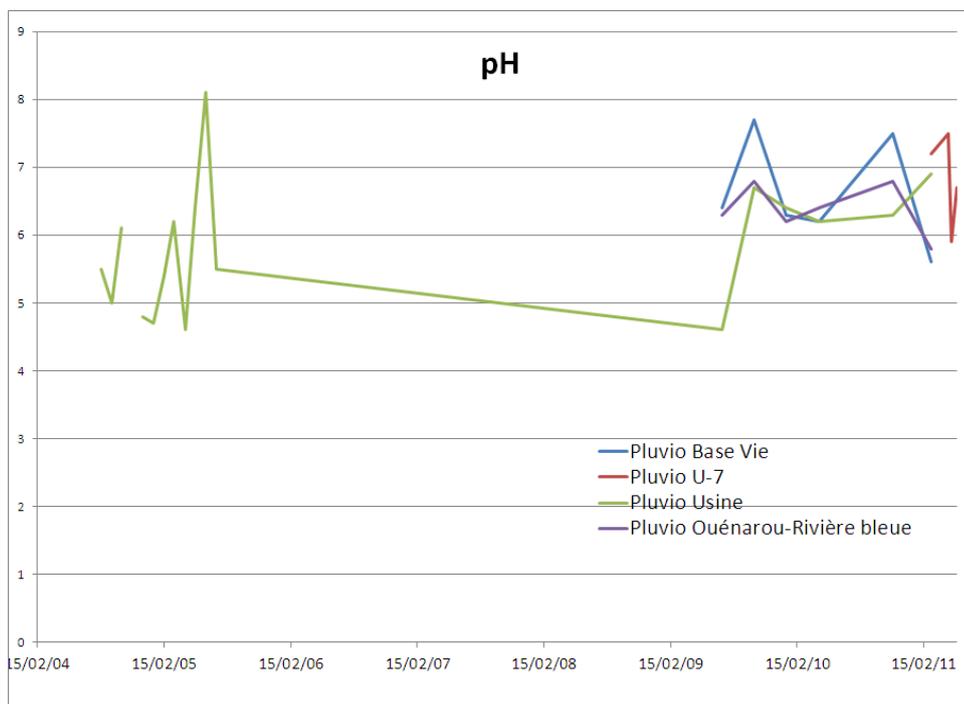


Figure 29 : Résultats d'analyse de la conductivité pour 4 pluviomètres entre 2004 et 2011



**Figure 30 : Résultats d'analyse du pH pour 4 pluviomètres entre 2004 et 2011**


### 6.3. Eaux souterraines

Un suivi des eaux souterraines de l'usine est réalisé à une fréquence trimestrielle sur le site de l'usine industrielle de Vale Nouvelle-Calédonie. A l'occasion de ces suivis le niveau piézométrique est relevé. Les données d'un échantillon de piézomètre sont présentées dans les paragraphes suivant.

#### 6.3.1 Niveau des eaux souterraines

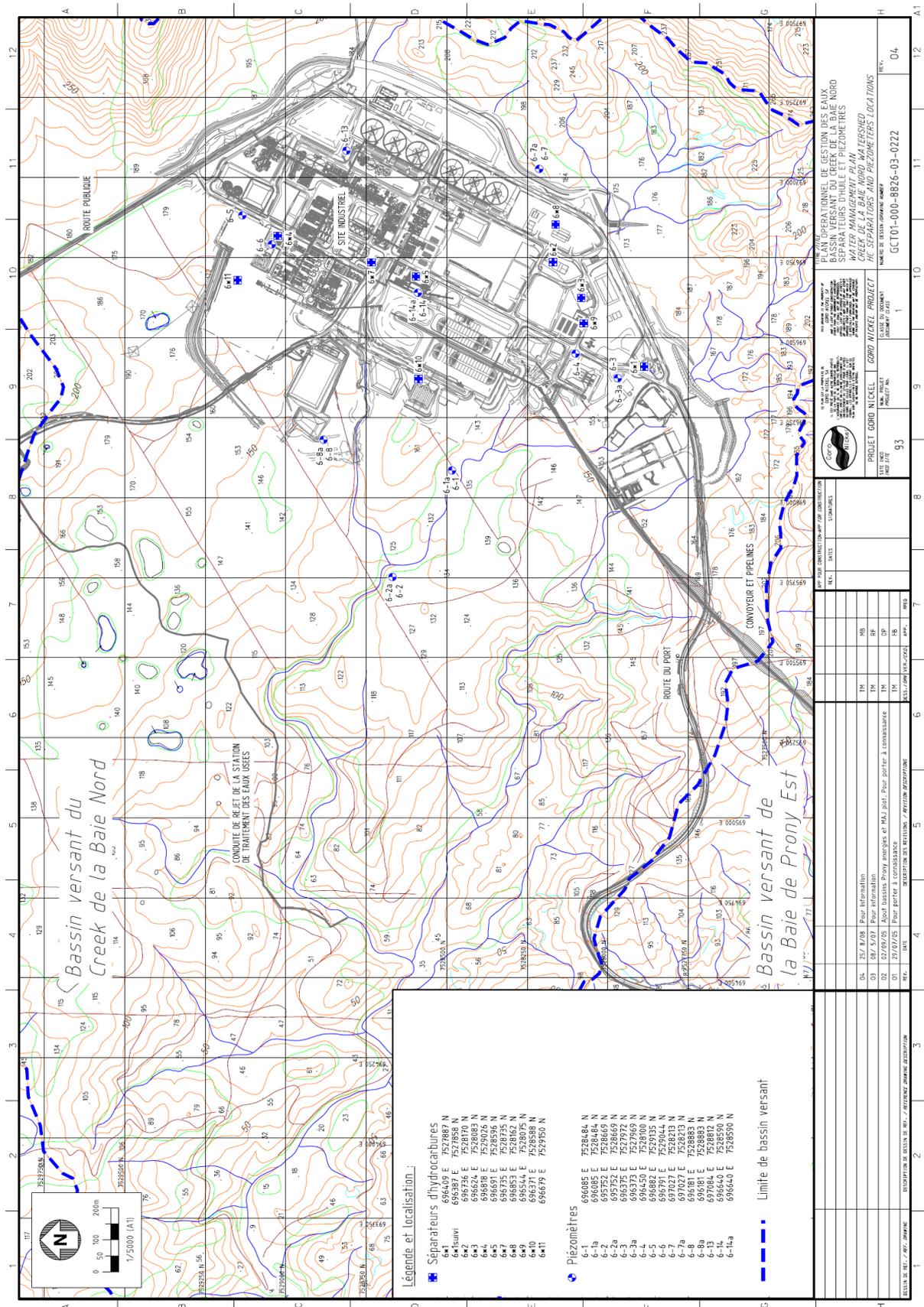
Les figures ci-après présentent les niveaux piézométriques relevés depuis 2006. Les piézomètres retenus sont :

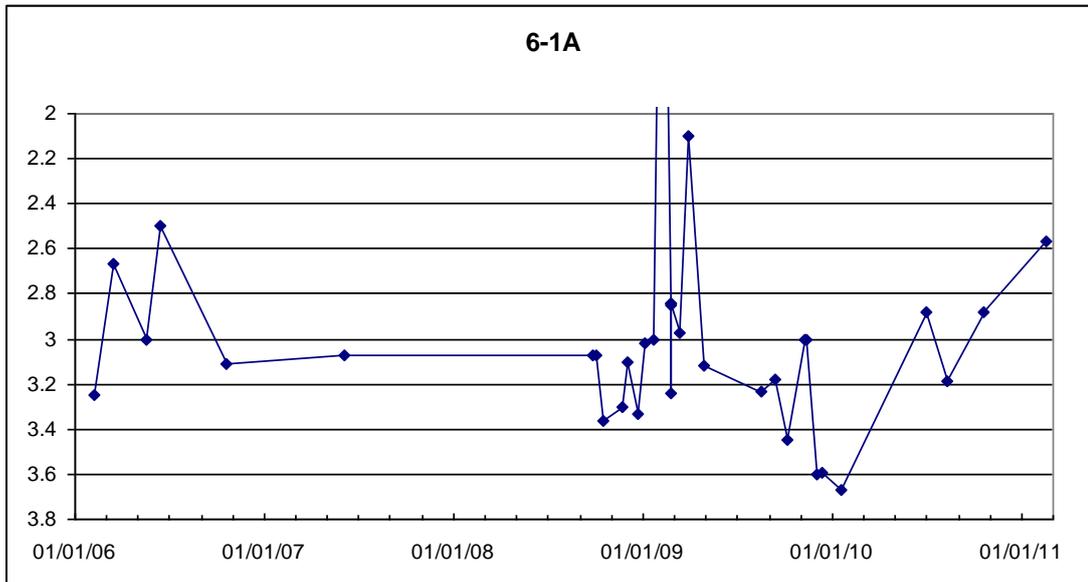
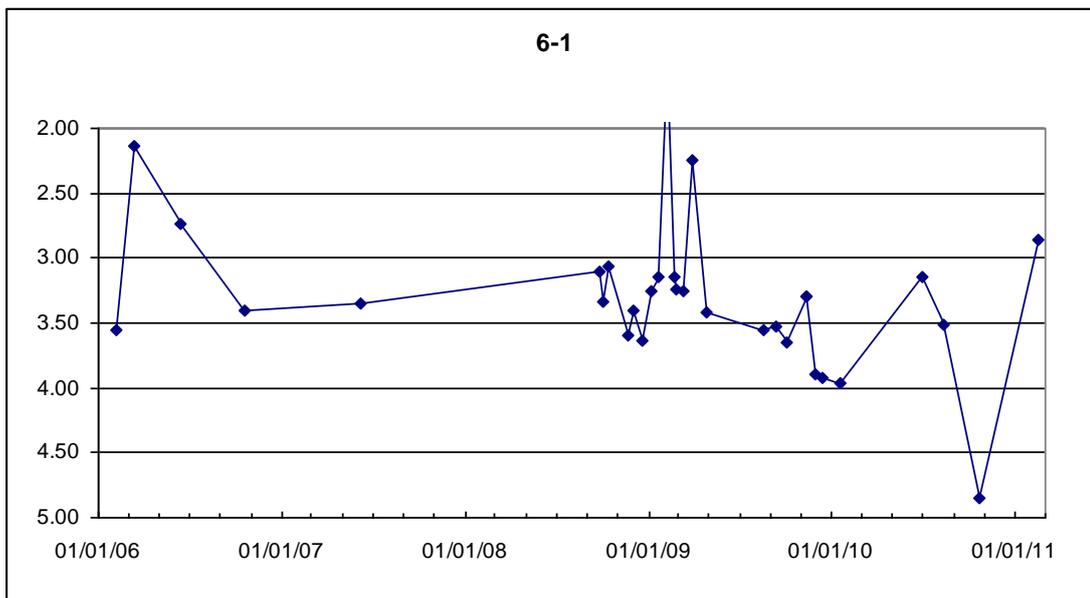
- 6-1 et 6-1a, piézomètres en aval des aires de stockage du bassin versant sud de l'usine ;
- 6-2 et 6-2a, piézomètres en aval du site ;
- 6-8 et 6-8a, piézomètres en aval du bassin des bassins de premier flot nord.

Un graphique des écarts normalisés à la médiane des précipitations mensuelles enregistrées à la station A entre 1997 et 2011 est également présenté ci-après.

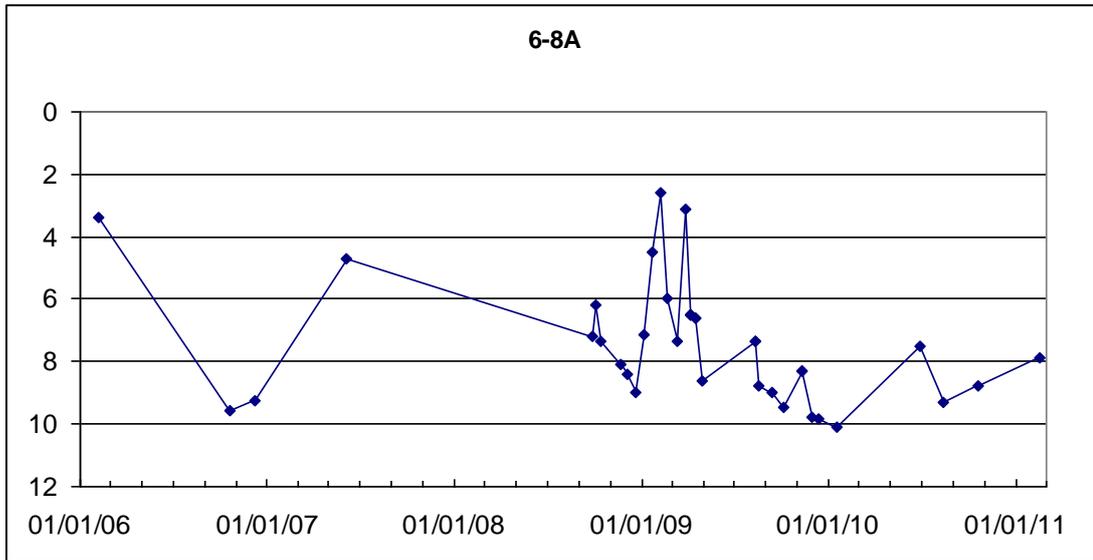
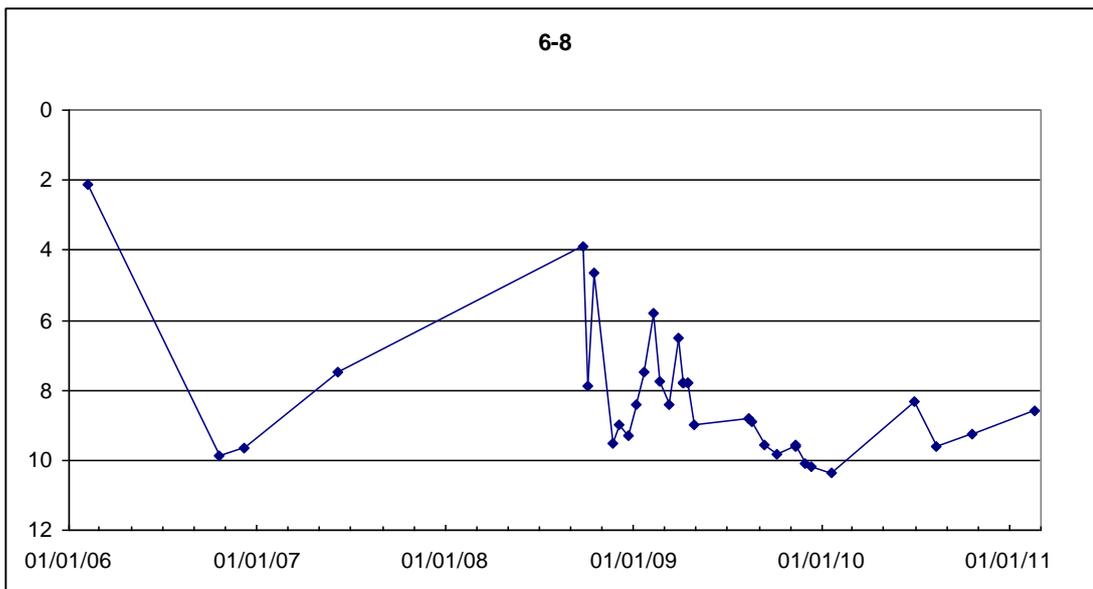
Les enregistrements piézométriques montrent que les travaux de terrassement de construction et d'étanchéification du site industriel n'ont pas eu d'influence significative sur le niveau de la nappe. Les variations saisonnières et interannuelles sont expliquées par les variations de précipitations.

Figure 31 : Carte de localisation du réseau de suivi piézométrique au niveau du site industriel

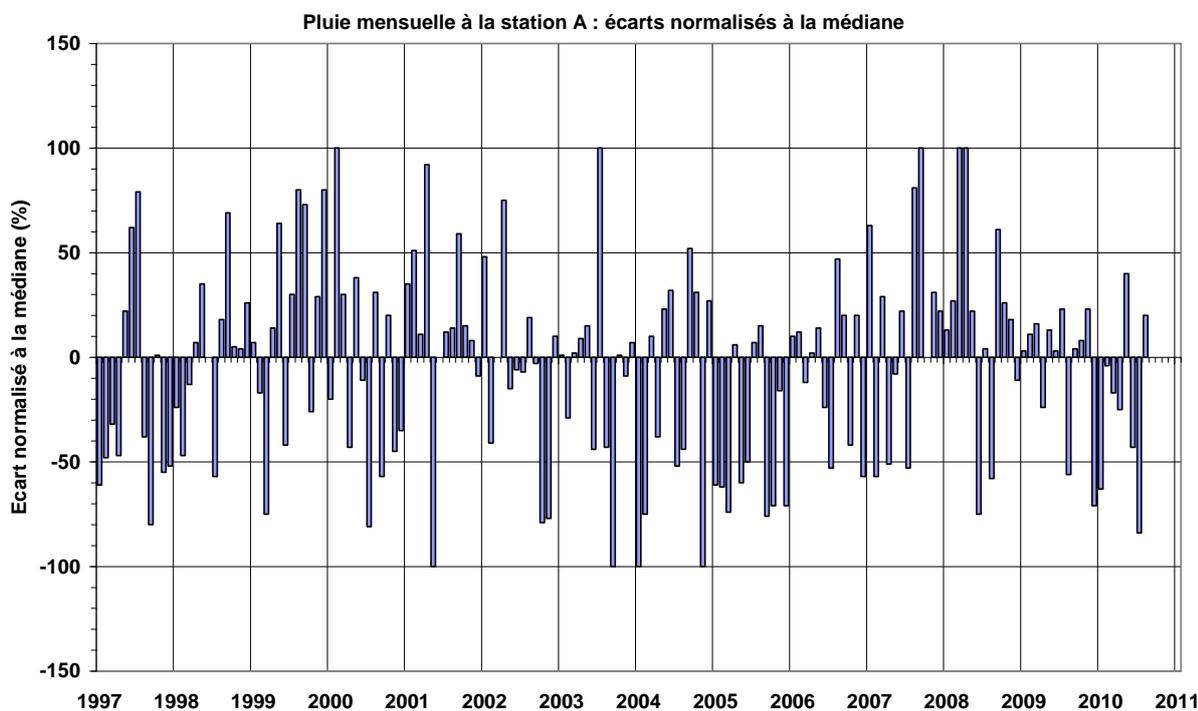


**Figure 32 : Niveau piézométrique de 6-1a (piézomètre court) depuis 2006**

**Figure 33 : Niveau piézométrique de 6-1 (piézomètre long) depuis 2006**




**Figure 36 : Niveau piézométrique de 6-8a (piézomètre court) depuis 2006**

**Figure 37 : Niveau piézométrique de 6-8 (piézomètre long) depuis 2006**


**Figure 38 : Écarts normalisés à la médiane des précipitations mensuelles enregistrées à la station A entre 1997 et 2011**



### 6.3.2 Qualité des eaux souterraines

Au niveau du site industriel, le suivi des eaux souterraines est réalisé trimestriellement. L'ensemble des résultats sont reportés dans les rapports annuels des eaux souterraines de 2008, 2009, 2010 et du rapport semestriel de 2011.

Les principales conclusions sont reprises ci-après et les données sont présentées en figure XX.

#### Conclusions de 2011

Globalement, dans les eaux souterraines de l'usine, les concentrations en chrome, chrome VI, potassium, sodium, calcium, chlorures, alcalinité et pH sont stables et restent comparables aux années précédentes.

Dans les eaux souterraines des horizons latéritiques, une augmentation de la conductivité est enregistrée aux stations 6-8 et 6-14. Les résultats en sulfates sur ces deux stations montrent des variations importantes depuis 2010, sans réelle tendance à l'augmentation. Ces stations sont situées respectivement en aval du bassin de premier flot Nord et du stockage d'acide chlorhydrique. Ces variations sont probablement dues à une contamination liée à l'activité industrielle réalisée en amont de ces piézomètres. Ces valeurs restent bien en dessous des normes de potabilité des eaux, qui est de 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour la conductivité.

Les hydrocarbures ne sont pas détectés dans les eaux souterraines de l'usine.

Les résultats des paramètres analysés montrent une qualité satisfaisante des eaux souterraines au niveau de l'usine. Dans l'ensemble, la nature des colonnes d'eau souterraine analysées est relativement similaire aux années précédentes.

Figure 39 : Résultats du suivi de la qualité des eaux souterraines de l'usine : piézomètres courts

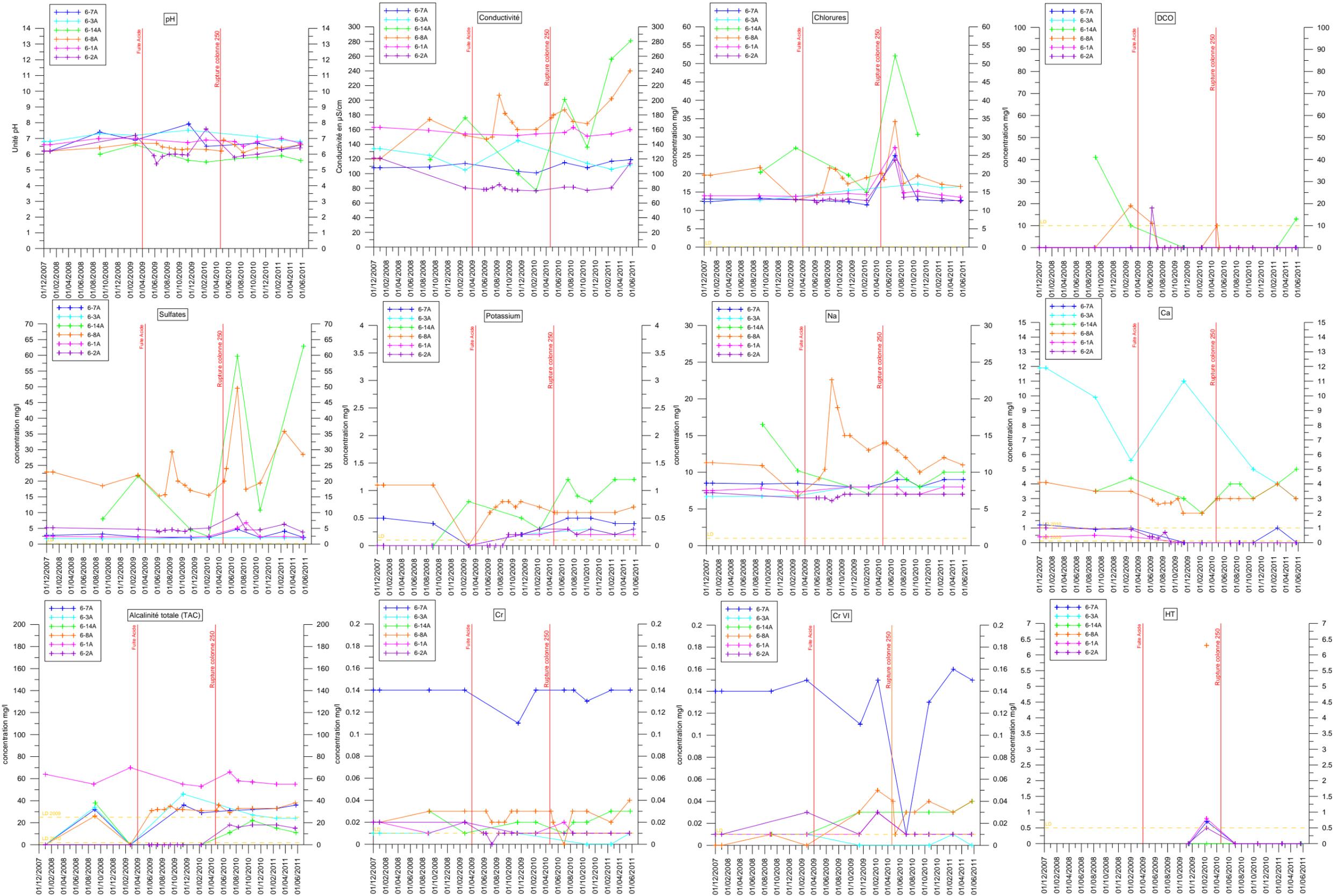
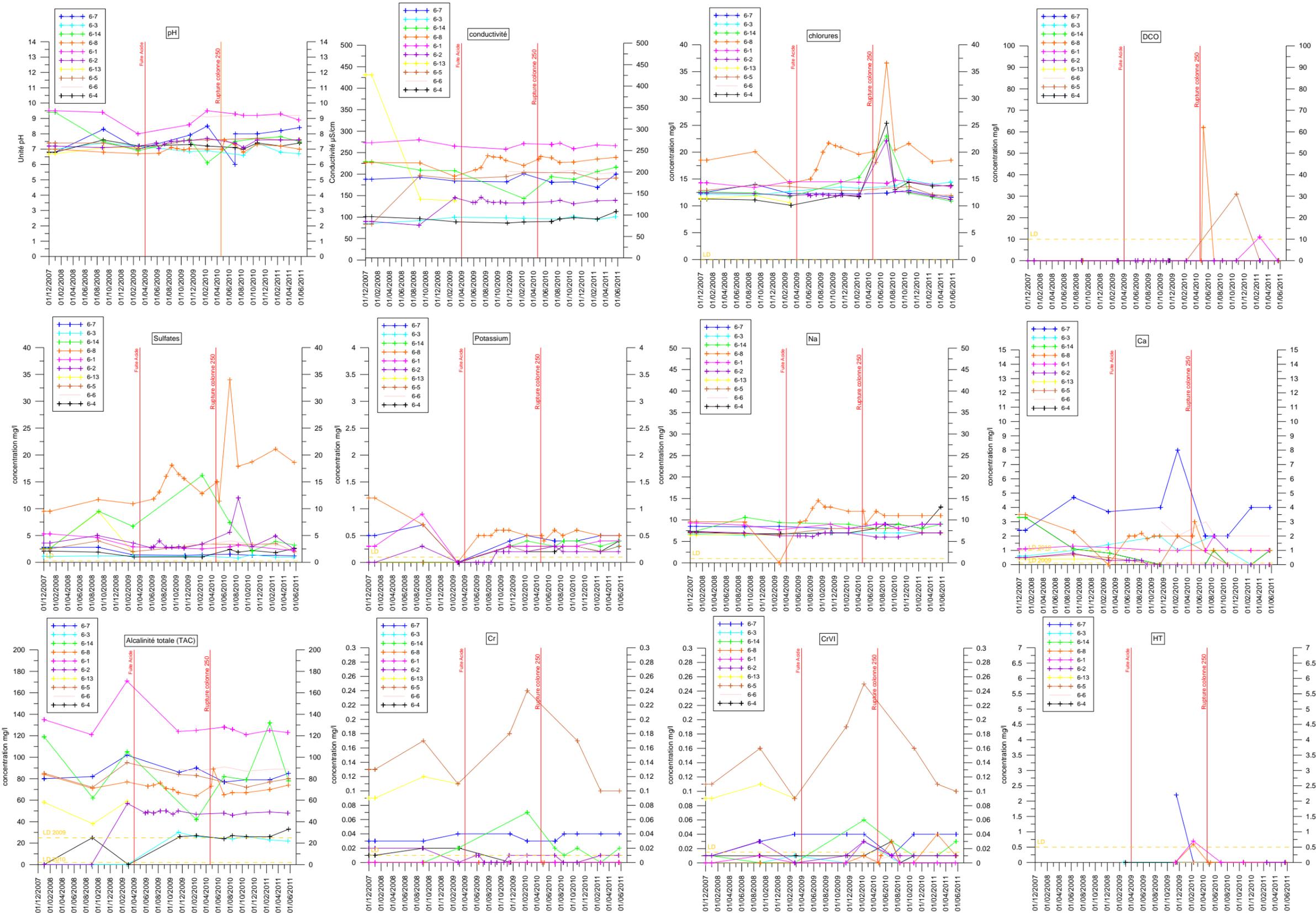




Figure 40 : Résultats du suivi de la qualité des eaux souterraines de l'usine : piézomètres longs





### 6.3.3 Conclusion

Les variations de niveau de la nappe et de qualité des eaux souterraines, ne permettent pas de statuer à un impact de l'activité industrielle sur ce milieu. Ce milieu n'a donc pas eu d'influence négative sur la forêt rivulaire.

## 6.4. Eaux de surface

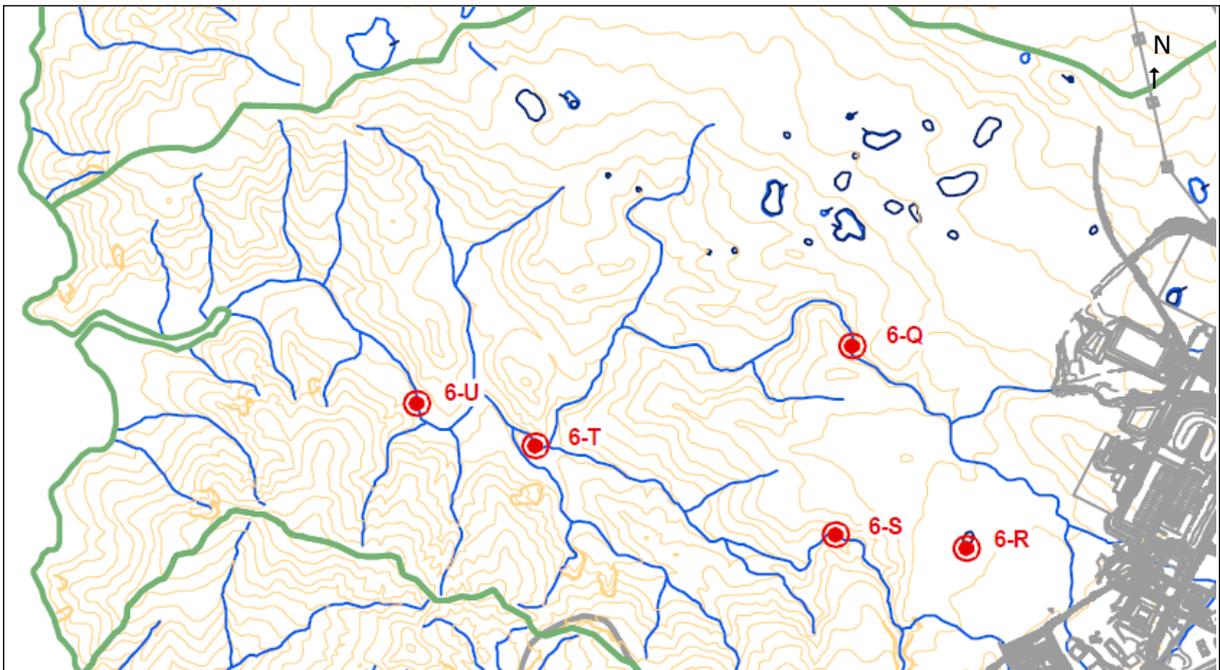
### 6.4.1 Débit

Une station limnimétrique a été installée dans le creek de la Baie Nord en janvier 2006. Les mesures devaient alors permettre de gérer les débits de rejets d'une station d'épuration en fonction du débit du creek de la Baie Nord. Pour cette utilisation, l'emplacement actuel de la station est suffisant mais n'est pas adapté pour la mesure des débits de crue et surtout à des hauteurs d'eau supérieures à 1,15 mètre.

### 6.4.2 Qualité des eaux de surfaces

La qualité des eaux de surface est suivie à une fréquence trimestrielle dans le creek de la Baie Nord. Les résultats sont présentés dans les figures ci-après. Les interprétations des résultats des précédents rapports sont reprises ci-dessous.

Figure 41 : Localisation des points de suivi du creek de la Baie Nord



### Conclusions pour 2011

Les résultats d'analyses physico-chimiques concernant les eaux de surface du Creek de la Baie Nord sont le reflet d'une eau faiblement minéralisée et caractéristique du sud de la Nouvelle-Calédonie. Pour l'ensemble des stations du Creek Baie Nord, à l'exception de la station 6-Q, on observe une stabilisation des concentrations pour l'ensemble des paramètres. Les résultats au niveau de 6-Q

montrent en fin de semestre une tendance à la diminution pour les éléments magnésium, sodium, soufre, silicium, et calcium. Cette tendance sera à confirmer lors du bilan annuel. De plus, on note aussi une augmentation légère de la conductivité. Cette tendance est probablement due aux rejets continus de Prony Energies et aux vidanges temporaires des bassins de premiers flots.

Comme en 2010, une diminution des concentrations est notable de l'amont vers l'aval dans le creek de la Baie Nord pour les paramètres calcium, chlorure, magnésium, sodium, soufre, sulfates, silicium et conductivité.

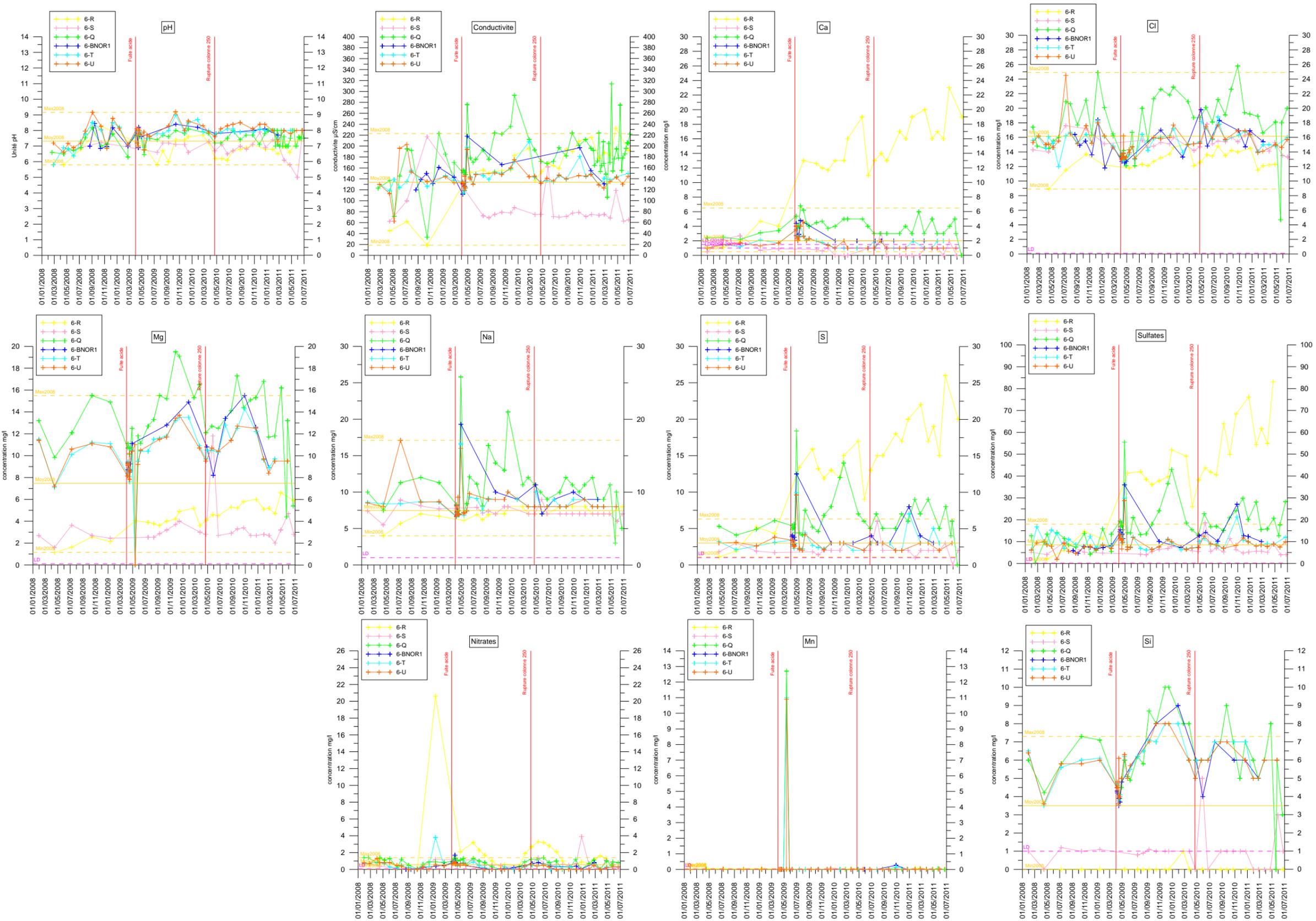
Sur la station 6-R, située au niveau de la doline de l'usine pilote, on observe une tendance à l'augmentation pour les paramètres calcium, soufre et sulfates. Cette augmentation en dents de scie a commencé en début 2009. La station 6-R est la doline dans laquelle étaient déversés les effluents liquides après traitement de l'usine pilote pendant sa période de fonctionnement (1999-2002), et pendant la période d'activité du laboratoire d'analyses (1999-2008). C'est également le lieu de déversement des liquides surnageants des cellules à résidus de l'usine pilote. Les concentrations en sulfates et en calcium pendant ces périodes étaient variables et plus élevées qu'aujourd'hui.

La conduite d'arrivée de l'usine pilote et des cellules à résidus a été détournée pendant la construction du convoyeur (2006-2008), puis a été remise en fonctionnement en direction de la doline à partir de 2009. Le débit de ce rejet est variable suivant la pluviométrie. Un prélèvement effectué au niveau du rejet est envoyé pour analyse en laboratoire. Ce rejet de conductivité élevée, riche en calcium, magnésium, soufre et sulfates, est le reflet de la composition chimique des résidus contenus dans les cellules.

### **6.4.3 Conclusion**

Le suivi du creek de la Baie Nord, et plus particulièrement au niveau de sa branche sud, où est localisée la forêt rivulaire, ne présente pas de variation significative de la qualité physico-chimique de l'eau de surface. Les impacts observés n'ont donc pas pour origine une modification de la composition physico-chimique des surfaces.

Figure 42 : Résultats du suivi de la qualité des eaux de surface en aval de l'usine





## 7. CONSTATS ET ANALYSES PRELIMINAIRES

### 7.1. Etat des connaissances

#### 7.1.1 Assimilation du dioxyde de soufre par les plantes (par Francis MURRAY, professeur à Murdoch University)

Le dioxyde de soufre est assimilé par la plante à travers les stomates des feuilles. Des facteurs exogènes à la plante vont influencer l'ouverture des stomates. Ceux-ci incluent l'intensité lumineuse, l'humidité et la température de l'air ambiante, la force du vent, les conditions hydriques et nutritives liées au sol ainsi que la durée d'exposition aux polluants et la présence d'autres polluants (Bell, 1980 ; Murray et Wilson, 1987). En parallèle, des facteurs endogènes liés au stade de développement de la plante et à la spécificité de l'espèce végétale vont influencer la quantité de SO<sub>2</sub> assimilée par la plante (Murray et Wilson, 1987). Dès lors, tous ces facteurs combinés influenceront la sévérité de l'impact sur la plante. En revanche, il faut noter que lorsque le stomate reste fermé, ce qui peut arriver sous condition d'obscurité ou de sécheresse, la plante résiste au polluant et sera alors moins susceptible aux dommages qui y sont liés.

#### 7.1.2 Effets du dioxyde de soufre sur la plante (par Francis MURRAY, professeur à Murdoch University)

Des concentrations élevées en dioxyde de soufre peuvent engendrer de sévères dommages sur la plante. Ceux-ci apparaîtront sous la forme de nécrose foliaire (mort de tissus foliaires) et de chlorose foliaire (décoloration de la feuille due à un manque de chlorophylle) (Figure 1), même après une durée d'exposition relativement courte (Emberson *et al*, 2003). Cependant, les dommages les plus critiques pour la plante sont les dommages chroniques résultants d'une exposition à de faibles concentrations de SO<sub>2</sub> mais sur du long terme.

En général, les dommages causés sur la plante sont cumulatifs engendrant ainsi un ralentissement de la croissance de la plante et une accélération du vieillissement des tissus cellulaires. Ce phénomène peut avoir lieu sans qu'aucun symptômes visibles tels que la chlorose et la nécrose n'apparaissent sur la plante et peut entraîner l'abscission des feuilles et ainsi aboutir à la mort de l'organisme. En conséquence, les espèces sensibles à la pollution atmosphérique disparaîtront de l'écosystème environnant la source de pollution modifiant ainsi la composition des formations végétales. Ce constat a été fait dans de nombreux pays (Emberson *et al*, 2003).

Quel que soit la concentration de SO<sub>2</sub> affectant la plante, les effets observés peuvent être modifiés par les conditions environnementales. Inversement, le SO<sub>2</sub> peut aussi modifier la réponse de la plante face à un autre stress environnemental qu'il soit biotique (maladies, attaques d'insecte, etc.) ou abiotique (ex. des températures extrêmes). Le SO<sub>2</sub> a le plus souvent tendance à aggraver les effets néfastes causés par d'autres stress (WHO, 2000).

Des études scientifiques récentes ont permis de définir des seuils de concentration sans effets néfastes pour la plante. La relation entre la concentration de SO<sub>2</sub> et la réponse de la plante a été mise en évidence pour différentes cultures agricoles et divers espèces forestières (Emberson *et al*, 2003), mais il existe encore très peu de données concernant les herbacées. Ces connaissances sont issues d'études de fumigation effectuées en conditions environnementales contrôlées avec

l'utilisation d'un dispositif de filtration. Il est possible de réaliser ces expériences de fumigation en conditions partiellement contrôlées *in situ* suivant un gradient de SO<sub>2</sub>. Ces différentes études exposent la plante à des conditions réelles permettant ainsi de décrire avec précision ses diverses réponses. Il existe cependant des limitations à ces études, liées notamment aux conditions environnementales difficiles à contrôler.

Les études majeures concernant le SO<sub>2</sub> ont été effectuées en Europe par différentes équipes de chercheurs et utilisant des techniques diverses dont celles décrites plus hauts. Ces études ont permis de fixer une valeur annuelle de 20 µg/m<sup>3</sup> pour la protection des végétaux (Krupa & Arndt 1990; Jager et al 1993; McLeod&Skeffington 1995).

En parallèle, une autre étude majeure effectuée par McLeod & Skeffington (1995) a permis de développer une base de données 'Liphook sulphur dioxide release experiment'. Ce guide concerne 4000 espèces d'arbres et attribue une valeur seuil de SO<sub>2</sub> à chaque espèce en décrivant également les symptômes observés pour chacune de ces espèces. Par exemple, les espèces *Pinus sylvestris*, *Picea abies* et *Picea sitchensis* ont été plantées dans un sol forestier (un podzol humoferrique) pendant plus de 3 ans et demi. Les traitements imposés à la plante sont l'air ambiant (avec une concentration en SO<sub>2</sub> d'environ 12 µg/m<sup>3</sup>) et deux niveaux de concentration en SO<sub>2</sub> (des valeurs continues de 32 µg/m<sup>3</sup> ou 53 µg/m<sup>3</sup>) en combinaison avec l'ozone. La fumigation par l'ozone n'a pas affecté la croissance des arbres, en revanche le gradient d'exposition au SO<sub>2</sub> a permis d'observer divers réponses de la plante. *P. sylvestris* n'a montré aucune réponse au SO<sub>2</sub> contrairement au *P. sitchensis* qui a vu sa croissance accélérée avec les deux traitements de SO<sub>2</sub>. Aucun effet significatif n'a été enregistré sur le développement des racines alors que la co-déposition du SO<sub>2</sub> et de NH<sub>3</sub> a permis une accélération de la croissance des bourgeons.

En général, la valeur seuil retenue est comprise entre 16 et 26,6 µg/m<sup>3</sup> sur une période de 2 ans, puis entre 22,3 µg/m<sup>3</sup> et 47,9 µg/m<sup>3</sup> durant la 3ème année. Si ces valeurs ne sont pas dépassées alors la croissance de la plante n'est pas ralentie (McLeod & Skeffington 1995).

### 7.1.3 Etude de fumigation sur les plantes endémiques australiennes

Les premières études sur les effets du dioxyde de soufre sur les plantes indigènes australiennes ont utilisé de fortes expositions pour expliquer les symptômes des plantes touchées (Murray, 2003). De très hautes concentrations ont été utilisées pendant seulement quelques heures. O'connor et al (1975), ont dépisté 131 espèces indigènes australiennes dans des enceintes à température contrôlée présentant des dommages importantes et visibles sur le feuillage. Les concentrations en dioxyde de soufre utilisées étaient de 2750, 5500 et 8250 µg/m<sup>3</sup>. Ils ont remarqué que le genre *Eucalyptus* était le genre le plus sensible à ces expositions, montrant de sévères dommages après 3 heures d'expositions à 2750 µg/m<sup>3</sup>. Norby et Kozlowski (1981) ont montré qu'*Eucalyptus camaldulensis* et *E. globulus* présentaient des lésions moins de 24 heures après une exposition à 963 µg/m<sup>3</sup>, et qu'elles étaient les espèces les plus sensibles parmi 5 espèces testées. Howe et Woltz (1981) ont testé 43 espèces ornementales différentes d'origines variées. Ils ont montré que toutes les espèces d'*Eucalyptus* testées (*E. amphifolia*, *E. robusta*, *E. torrelliana*, *E. viminalis*) montraient une sensibilité importante aux lésions dues au dioxyde de soufre.

Des études supplémentaires relatives aux effets du dioxyde de soufre sur les cultures et les arbres indigènes ont été menées en utilisant des enceintes sans toit et des plantes poussant dans des conditions climatiques proches des conditions de terrains, avec des expositions continues et intermittentes sur une période de 6 mois. Les résultats sont résumés au Tableau 23 et à la Figure 43.

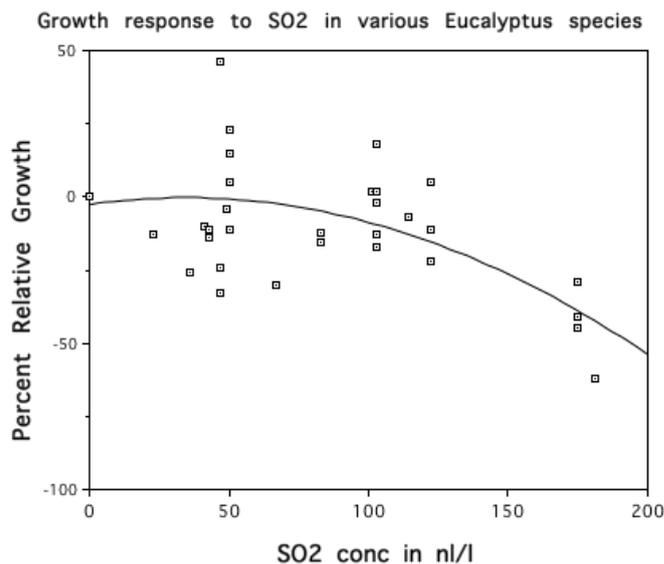
La réaction au dioxyde de soufre des espèces *Eucalyptus* ou des cultures a été analysée en fonction de l'exposition journalière. Aucune tendance particulière en fonction du temps d'exposition n'a été mise en évidence. Une exposition de 4h/jour a donné le même résultat qu'une exposition de 8h/jour (Murray et al, 1992). Il a été montré que la concentration en dioxyde de soufre est plus déterminante que la durée d'exposition. De plus, la durée totale d'exposition au SO<sub>2</sub> a peu d'impact sur l'importance de la réponse végétale sur une période de 90-130 jours (Murray et al, 1992). La concentration est donc le paramètre le plus déterminant pour ce type d'exposition.

**Tableau 23 : Données utilisées pour établir un modèle de réponse afin d'évaluer l'impact du dioxyde de soufre sur les espèces d'*Eucalyptus***

Espèces d' <i>Eucalyptus</i>	Concentration de dioxyde de soufre en µg/m <sup>3</sup>	Référence
<i>E. pilularis</i>	336, 481, 913	Wilson & Murray, 1994
<i>E. rudis</i>	138, 283	Clarke & Murray, 1990
<i>E. tereticornis</i>	135, 278	Murray & Wilson, 1988a
<i>E. moluccana</i>	118, 228	Murray, 1984a
<i>E. marginata</i>	129, 283	Murray & Wilson, 1988c
<i>E. calophylla</i>	129, 283	Murray & Wilson, 1988c
<i>E. calophylla</i>	138, 283	Clarke, 1987
<i>E. regnans</i>	138, 336, 481, 913	Wilson & Murray, 1994
<i>E. crebra</i>	118, 228	Murray, 1984a
<i>E. microcorys</i>	138, 336, 481, 913	Wilson & Murray, 1994
<i>E. gomphocephala</i>	129, 283	Murray & Wilson, 1988c
<i>E. gomphocephala</i>	113, 314	Fulford & Murray, 1990
<i>E. wandoo</i>	63, 99, 184, 498	Murray et al. 1991

Les données présentées dans le Tableau 10 ont été utilisées pour étudier l'effet de l'exposition au dioxyde de soufre sur la croissance du genre *Eucalyptus*. Il a été montré qu'il existait une très grande variabilité de réponse au sein des différentes espèces soumises à la même concentration de SO<sub>2</sub> (Figure 21). Par exemple, une exposition à 138 µg/m<sup>3</sup> de SO<sub>2</sub> produit une gamme de résultats compris entre -36% pour *E. gomphocephala* et + 54% pour *E. marginata*.

Cette différence n'est pas due à des différences dans la durée de l'exposition journalière ou aux conditions environnementales. Elle est uniquement due aux différences de comportement et de réaction au SO<sub>2</sub> chez les espèces testées. Ces comportements différents permettent d'obtenir une courbe générale de réaction au SO<sub>2</sub>. Cette courbe générale donne une indication sur la réaction moyenne ainsi qu'une plage de réactions et donc ne peut être utilisé pour prévoir la réaction d'une espèce particulière qui n'a pas fait l'objet d'étude spécifique. La Figure 43 suivante montre les effets négatifs d'une concentration de 63 µg/m<sup>3</sup> sur la croissance des espèces d'*Eucalyptus* (Murray et al, 1991)



**Figure 43 : Variation de croissance chez certaines espèces d'*Eucalyptus* en fonction de leur exposition au dioxyde de soufre**

Comme cela a été montré chez les espèces d'*Eucalyptus*, d'autres espèces endémiques australiennes ont montré une large gamme de réactions au SO<sub>2</sub>. Dans ces études, les dommages ont été évalués en termes de croissance et de productivité. Cependant, 4 des 5 espèces (*Acacia saligna*, *Banksia attenuata*, *Banksia menziesii*, et *Eucalyptus wandoo*) exposés lors de l'étude à 1034 µg/m<sup>3</sup> de dioxyde de soufre pendant 1 heure ont subi d'important dégâts bien visibles (Murray *et al*, 1991). Des tissus morts étaient présent immédiatement après l'exposition. Ainsi, la concentration seuil en dioxyde de soufre induisant des dommages visibles chez les espèces indigènes sensibles est inférieure à 1034 µg/m<sup>3</sup> pour une heure d'exposition. Des expositions fréquentes à des concentrations de 498 µg/m<sup>3</sup> 3 jours par semaines, ont provoqué le développement de dommages visibles chez ces 4 espèces.

## 7.2. Retour d'expérience (par Francis MURRAY, professeur à Murdoch University)

L'impact du SO<sub>2</sub> sur la végétation naturelle a été abondamment référencé et étudié en Europe et Amérique du Nord (Armentano et Bennett, 1992).

### 7.2.1 Les émissions des fonderies à Sudbury au Canada

Elles ont causé la perte de la totalité de la végétation sur 3km en aval de nombreuses fonderies de Nickel. Les communautés de plantes se sont vues changées sur des distances allant de 10 à 15 km de la source d'émission (Freedman et Hutchinson, 1979 ; Amiro et Courtin, 1981).

Des réductions de la diversité végétale ont été observées aux alentours de fonderies d'autres métaux avec des taux et des durées d'émission de SO<sub>2</sub> variables. Ces exemples incluent les forêts caduques de Yellowknife (territoire du Nord-ouest, Canada) avec des impacts détectés jusqu'à 13 km sous le vent (Hocking *et al.*, 1978); Les forêts de conifères à Trail (British Columbia, Canada) avec un impact observé jusqu'à 17 km sous le vent (Archibold, 1978); Les forêts de feuillus de l'Ohio River (Ohio, USA) (McClanahan, 1978) ; les forêts type Tundra du cercle Arctique (Kola Peninsula, Russie) où l'impact des fonderies s'observe clairement à 15 kms (Kryuchkov, 1993 ; Nojd *et al*, 1996) ; ainsi que les plaines herbacées arides à proximité du site Superior (Arizona, USA) avec impacts détectés à 5 km

sous le vent (Wood and Nash, 1976 ; Dawson et Nash, 1980). A Mount Lyell, en Tasmanie, les émissions de SO<sub>2</sub> ont causé des dégâts considérables sur la végétation naturelle (Blainey, 1978; Koehnken, 1997).

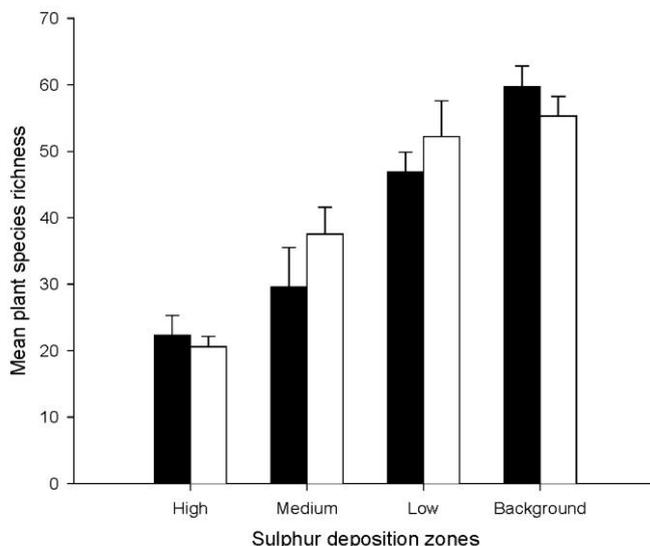
Un nombre important d'études ont tenté d'évaluer l'effet du SO<sub>2</sub> au Mont Isa dans l'état du Queensland, Australie, sur la végétation aux alentours de la fonderie. Bennett (1977) et Wallis (1983) ont tous les deux trouvé une corrélation positive entre la diversité floristique et la distance de l'usine et des fonderies du Mont Isa.

### **7.2.2 L'étude sur les effets à long terme des émissions de dioxyde de soufre des installations du Mont Isa**

Cette étude sur les écosystèmes voisins a montré que la richesse spécifique de la flore augmente jusqu'à 15 km de la fonderie (Griffiths, 1998). Seulement 20 espèces ont été recensées dans la zone de dépôt majeur (moins de 7 kms) comparé à 58 espèces notées dans l'arrière zone (plus de 30 km) (Figure 44). Les symptômes foliaires ont été enregistrés sur 35% des espèces dans la zone de dépôt majeur. Un total de 34 espèces a montré des brûlures et nécroses sur les feuilles et les plantes sur les crêtes ont affiché les symptômes les plus sévères dans cette zone de fort impact. Sur les espèces recensées dans la zone immédiate, 40% des espèces ont manifesté des symptômes d'altération par le SO<sub>2</sub> (Griffiths, 1998).

Au-delà de la zone immédiate de dépôt majeur, les symptômes foliaires étaient faibles à moyenne distance (7-15 km) et difficilement perceptibles à plus grande distance (15-30 km) et dans le fond (au-delà de 30 km). L'environnement naturel à 15 km sous le vent des fonderies du Mont Isa a subi des changements considérables, soit par impact direct ou indirect du SO<sub>2</sub> (Griffiths, 1998).

Il est possible que d'autres facteurs soient en cause dans la perte de diversité floristique et le changement dans la structure des communautés de plantes entre 5-10 km sous le vent des émissions. Il est également connu que de faibles concentrations de SO<sub>2</sub> peuvent suffire à altérer la croissance et la reproduction des espèces de plantes (Emberson *et al.*, 2003).



Colonnes noires = habitats de crête  
Colonnes blanches = habitats de plaine

**Figure 44 : Moyenne (avec erreurs standard) de la diversité spécifique de plantes aux quatre niveaux de distance de la zone métallurgique du Mont Isa (Griffiths, 1998)**

### 7.2.3 Le cas de la fonderie de Nickel de Kalgoorlie

Cette fonderie de l'Australie occidentale émettait environ 36 000 Tonnes annuelles de SO<sub>2</sub> pour l'année 2005. D'après l'Inventaire National des Polluants en 2009 et 2010, la Fonderie de Kalgoorlie émettait 27 000 tonnes de SO<sub>2</sub> (NPI, 2011). L'exposition au soufre correspond pour la plupart du temps à des taux très bas de SO<sub>2</sub> avec des pics occasionnels de très hautes concentrations (Murray, 1988).

Le suivi de la végétation impactée conduit en 1981-1982 a montré que beaucoup de plantes étaient mortes à moins d'un kilomètre des cheminées et que les effets du SO<sub>2</sub> étaient bien visibles jusqu'à 2-3 km de la source (Fermco, 1983). Les symptômes causés par le SO<sub>2</sub> étaient visibles sous forme de chlorose (blanchissement et perte de chlorophylle dans les feuilles) et de nécroses (mort des tissus de la feuille) jusqu'à 2 km des installations en 1988 (Murray, 1988). Un nombre important d'individus d'espèces d'Eucalyptus, Acacia et Cassia morts a été observé, et la voûte des arbres en étaient également altérée. Une perte de la croissance apicale et une augmentation nette des repousses latérales ou sur le vieux bois ont été observées de façon claire. Au-delà de 2 km, l'impact était notable sur les lignes de crêtes et sur les pentes faisant face aux installations (Murray, 1988).

Une révision des résultats des suivis de la végétation autour de la fonderie de Nickel de Kalgoorlie sur la période de 1988-1995 rapporte que le stress dans les communautés de plantes a été évalué à 1 km autour des cheminées des installations (Mattiske Consulting Pty Ltd, 1996). Des rapports plus récents cite un stress du au SO<sub>2</sub> et aux poussières de 1 à 1,5 km des cheminées (Mattiske Consulting Pty Ltd, 2004).

### 7.3. Constats

Suite à l'observation du dépérissement des chênes gommés sur une surface de 55 ha en aval de l'usine, la direction de l'environnement de Vale Nouvelle-Calédonie a lancé une série d'analyses et de mesures afin de mieux appréhender ce phénomène. Les constats des diverses investigations peuvent être ainsi regroupés :

**Ce phénomène n'est apparu qu'à cet endroit précis à une période donnée.**

L'analyse dynamique sur la condition des arbres dans ce secteur a permis de montrer qu'il y a un lien évident entre l'impact et la proximité de l'usine. En effet, de façon générale, l'impact décroît avec la distance. Par ailleurs, il a été constaté que les individus de plus gros diamètre (et donc de plus grande taille) sont touchés de façon plus importante que ceux de petite taille. Ces premières observations terrain sur la végétation ont permis d'élaborer un plan d'échantillonnage afin de mettre en évidence d'éventuelles anomalies dans la chimie des parties aériennes de la plante et du sol. Les premiers résultats d'analyse ont mis en évidence :

**Une augmentation de l'azote** contenu dans les échantillons de feuille, d'écorce et de litière de la zone impactée est notable mais cette tendance à l'augmentation n'est cependant **pas statistiquement significative**.

L'augmentation d'oxydes d'azote et d'oxydes de soufre dans le milieu peut provoquer un déséquilibre dans l'assimilation des nutriments et éventuellement des perturbations dans les mécanismes de contrôle de l'évapotranspiration, ce que tend à confirmer l'analyse sur la perte d'eau accrue des feuilles issues du site impacté. Il est possible également que les anomalies observées soit le résultat d'une combinaison de plusieurs facteurs, et non d'un seul. **En revanche, les résultats n'ont pas mis en évidence de variation en S dans les échantillons analysés.** Il existe donc des incertitudes sur la traçabilité des éléments SO<sub>2</sub> et SO<sub>3</sub>, potentiellement présents mais non retrouvés en excès de façon claire.

Remarque : de nouveaux échantillons ont été récemment envoyés à l'IRD pour analyser de manière plus précise les taux de S contenus.

**Ces informations préliminaires tendent à appuyer une ou plusieurs causes d'origine atmosphérique, les causes envisagées et énumérées au chapitre 3 ont été écartées : changements d'ordre hydrologique ; qualité de l'eau ; maladie ou attaques de ravageurs et biocides.**

Vale Nouvelle-Calédonie a fait appel à un spécialiste en pollution atmosphériques et effet phytotoxique, le Docteur Francis Murray de l'université de Murdoch (Perth- Australie). Cet expert est déjà intervenu dans le cadre du développement du projet en 2005 et précisément dans l'évaluation des impacts environnementaux liés aux émissions atmosphériques.

**L'expertise terrain du Docteur Francis Murray (octobre 2011) a permis de mettre en avant l'hypothèse atmosphérique.**

En effet, l'analyse des symptômes foliaires observés s'apparente classiquement à des dommages causés par le SO<sub>2</sub> (sans exclure les autres polluants gazeux). F. Murray a validé la pertinence de l'approche déployée jusqu'à présent et a fait des recommandations sur les études complémentaires à mettre en place. L'objectif est de cibler plus précisément les polluants en cause et leur source.

Les paragraphes suivants expliquent les éléments en cours d'acquisition ainsi que la démarche recommandée et initiée afin de mieux cerner les causes potentielles de cet impact environnemental.

## 8. PROGRAMME D'INVESTIGATION EN COURS

### 8.1. Définition d'un document-guide qui résume les symptômes par espèce avec une notion de gradient

Pour une même espèce la sévérité de l'impact doit être notifiée pour une localité donnée, de même que la proportion des individus atteints pour l'espèce observée. Ce document guide servira de base de suivi du phénomène sur le terrain afin de mieux cartographier les symptômes.

Ce guide symptomatique va être réalisé de la façon suivante :

- Un certain nombre de sites vont être visités à distances variables du site industriel et sous différentes orientations de vents. Sur chacun des sites un ensemble de symptômes sera enregistré (dont les chloroses marginales ou inter-vénales, les brûlures ou nécroses foliaires, les pertes prématurées de feuilles, la déformation des parties foliaires ou encore les rejets sur vieux bois...) ainsi que le nom de l'espèce touchée par ces symptômes.
- Des sites permanents seront mis en places dans les zones de dépérissement de la forêt pour suivre de près les changements écologiques dans le temps. Le document guide aidera les équipes sur le terrain à identifier et évaluer la gravité des symptômes observés dans les zones de dépérissement.

### 8.2. Suivi de la qualité de l'air et élaboration d'un nouveau plan d'échantillonnage passif

**Une station mobile de suivi de la qualité de l'air a été mise en place à proximité de la zone impactée.** Son rôle est de mieux caractériser les concentrations, les pics et les concentrations moyennes à long terme en polluants atmosphériques dans cette zone. Une attention particulière est apportée sur le suivi des mesures de SO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>.

Inspiré de campagnes faites autour de projets industriels en Australie, Vale Nouvelle-Calédonie a **lancé un programme d'échantillonnage *in situ* de la qualité de l'air en utilisant des tubes de prélèvement passifs.** Quelques dizaines de tubes passifs montés sur des perches télescopiques seront déployés dans la forêt rivulaire concernée pour caractériser les concentrations en SO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub> *in situ* sur une période à déterminer. L'objectif est dans un premier temps de préciser les concentrations atteintes au sein de la formation concernée et dans un deuxième temps d'effectuer le calage du modèle de dispersion atmosphérique à venir.

### 8.3. Etude multi-temporelle de la végétation en périphérie immédiate du site de Vale Nouvelle-Calédonie par photographie satellitaire

Afin de préciser l'étendue et l'évolution des impacts sur la forêt en périphérie directe du complexe industriel, une étude multi-temporelle par télédétection a été engagée en début septembre.

Il s'agit, à partir des données satellitaires disponibles entre 2009 et 2011, de caractériser les changements en terme (1) de modification de la radiométrie en tant qu'indicateur de l'augmentation ou de la diminution de l'activité chlorophyllienne et (2) de modifications spatiales de l'activité chlorophyllienne de la végétation.

Ces changements seront replacés sur une échelle chronologique afin de déterminer les dates ou périodes temporelles clés de l'évolution de l'activité de ce type de végétation et de déterminer une dynamique (intensité de l'évolution, contagion spatiale) des évolutions constatées.

Les objectifs de cette études sont donc de :

- Mettre en évidence l'évolution de la santé de la forêt de Chêne Gomme sur la zone d'intérêt (25km<sup>2</sup>) depuis 2009 jusqu'à aujourd'hui.
- Dater l'apparition des changements remarquables sur cette espèce végétale.
- Quantifier les changements (caractéristiques radiométriques des changements, modalité spatio-temporelle, dynamique radiométriques et spatio-temporelle).
- Mettre en évidence des changements de même nature qui pourraient affecter d'autres espèces dans leur voisinage.

Les résultats de cette étude sont attendus pour début décembre. Les données issues des images satellites seront vérifiées sur le terrain pour permettre une validation in-vivo des informations.

#### **8.4. Revue de la modélisation de dispersion atmosphérique**

Afin d'estimer l'impact des émissions du complexe industriel sur l'air ambiant et définir un réseau de suivi pour en effectuer le contrôle, Vale Nouvelle-Calédonie a sollicité la société KATESTONE ENVIRONMENTAL pour réaliser un modèle de dispersion dans l'air (2003, révisé en 2004, 2005 et 2007).

Le modèle « Katestone » est pour l'instant la référence du projet en termes d'émissions atmosphérique et de programmes de suivis (qualité de l'air, de la pluie et de la végétation).

Afin d'adopter une démarche en continuité avec les étapes précédentes du projet, nous souhaitons procéder à une nouvelle modélisation suivant deux phases :

##### **Phase 1 : Revue des études précédentes**

Cette phase a pour objectif d'obtenir :

1. Une analyse critique des modèles de diffusion atmosphérique précédents, portant entre autres sur le choix du modèle, les paramètres de calage, les conditions aux limites et les hypothèses d'émissions retenus. L'analyse détaillera les limites et faiblesses des modèles de référence en terme de résolution au regard des objectifs de modélisation et des particularités du site : topographie, nature et quantités des émissions canalisées et non canalisées, localisation des zones d'habitation et des zones de réserves naturelles.
2. Une analyse critique du plan de surveillance de la qualité de l'air et des métaux dans l'environnement.
3. La définition d'une nouvelle méthode de modélisation au regard des particularités du site incluant une phase de calage puis de validation du modèle sur la base des enregistrements existant (météo et AQMS) et complémentaires si nécessaire.

##### **Phase 2 : Modélisation atmosphérique**

En fonction des résultats de la phase 1, en particulier les limites et faiblesse éventuellement identifiées lors de l'analyse critiques des modélisations précédentes ainsi que les conclusions permettant de déterminer la méthode la plus adaptée au contexte local, une nouvelle modélisation sera réalisée. La modélisation se basera sur l'historique des émissions enregistrées depuis fin 2009

ainsi que sur les émissions attendues au regard de la montée en production et aux modifications de procédé en cours. Elle devra prendre en compte à la fois les émissions canalisées et non canalisées.

La modélisation sera calée puis validée par les résultats des réseaux de surveillance existants (météo et AQMS) et de réseaux complémentaires si nécessaire.

La résolution temporelle de la modélisation permettra la prévision des dépassements des seuils réglementaire : horaires, journaliers et annuels.

La résolution géographique devra permettre la prévision des concentrations en polluants à l'échelle du site (Usine et sa périphérie directe) et à une échelle plus étendue (sud calédonien), en fonction du niveau de production des différentes unités du complexe industriel et des conditions atmosphériques.

Les résultats de ces modélisations permettront d'obtenir :

- la concentration de chaque polluant attendu au sein de l'usine et dans sa périphérie (cartes d'iso-concentration et d'iso-dépôts) ;
- des cartes représentant le nombre de dépassement attendus des différents seuils et valeurs limites pour la protection de la santé humaines et des écosystèmes (en moyenne horaires, journalières et annuelles), selon les différents scénarios d'émission ;
- des cartes représentant le nombre de dépassements attendu des concentrations en polluants correspondant à 70%, 80% et 90% des seuils précédemment cités ;
- les concentrations présentant des risques d'effets chroniques sur la végétation périphérique au regard des niveaux déterminés dans le cadre d'une caractérisation éco-toxicologique des végétaux endémiques en cours de réalisation par Vale Nouvelle-Calédonie (en fonction des résultats obtenus).

Les résultats de la phase 1 et 2 sont respectivement attendus pour les mois de janvier et de juin 2012.

### **8.5. Etudes sur la sensibilité des espèces florales locales aux polluants par la technique de fumigation**

Il est prévu d'évaluer la sensibilité des espèces florales locales aux polluants tels que le SO<sub>2</sub> et les NO<sub>x</sub> en utilisant des enceintes de fumigation. Il s'agit de mesurer les effets du dioxyde de soufre sur une sélection d'espèces indigènes néo-calédonienne. La priorité devra porter sur l'évaluation des effets sur les espèces concernés par le présent impact. L'objectif sera d'établir la relation concentration/réaction pour ces espèces et de définir les symptômes des dommages causés par le dioxyde de soufre.

Des enceintes ouvertes sur la partie supérieure similaires à celles décrites par Heagle et al (1973) seront utilisées pour fumigé une sélection d'espèces indigènes néo-calédonienne avec du dioxyde de soufre. Ces enceintes se présenteront sous la forme de cylindres de 2,4 m de haut et 3m de diamètre. Le SO<sub>2</sub> sera libéré dans les enceintes 4h par jour sur une période de 2 ou 3 mois. 3 concentrations seront utilisées : 0µg/m<sup>3</sup> SO<sub>2</sub> pour l'enceinte "contrôle", 400 µg/m<sup>3</sup> pour l'enceinte "faible concentration" et 800µg/m<sup>3</sup> pour l'enceinte "forte concentration". Le protocole d'étude détaillé est annexé à ce présent rapport (annexe 2).



## 9. REFERENCES

- Archibold OW. 1978. Vegetation recovery following pollution control at Trail, British Columbia. *Canadian Journal of Botany* 56: 1625-1637.
- Amiro BD, & Courtin GM. 1981. Patterns of vegetation in the vicinity of an industrially disturbed ecosystem, Sudbury, Ontario. *Canadian Journal of Botany* 59: 1623-1639.
- Armentano TV, & Bennett JP. 1995. Air pollution effects on the diversity and structure of communities. In: *Air Pollution Effects on Biodiversity* (Eds. Barker JR, & Tingey DT). Van Nostrand Reinhold, New York.
- Bell JNB. 1980. Response of plants to sulphur dioxide. *Nature* 284: 399-400.
- Bennett M. 1977. Effects of smelter emissions on the surrounding environment. MIM Internal Report No. 838. Mt Isa Mines Ltd. Mt Isa.
- Blainey G. (1978). *The Peaks of Lyell*. Melbourne University Press, Melbourne.
- Clarke K. 1987. Growth and anatomical effects of low concentrations of sulfur dioxide on *Eucalyptus rudis* and *Eucalyptus calophylla*, Murdoch University, Perth.
- Clarke K. and Murray F. 1990. Stimulatory effects of SO<sub>2</sub> on growth of *Eucalyptus rudis* Endl. *New Phytologist* 115: 633-637.
- Dawson JL, & Nash TH 1980. Effects of air pollution from copper smelters on a desert grassland community. *Environmental and Experimental Botany* 20: 61-72.
- Emberson L Ashmore M & Murray F. Editors, 2003. *Air pollution impacts on crops and forests: A global assessment*. Imperial College Press, London
- Fermco Pty Ltd. 1983. Vegetation survey of the area surrounding the Kalgoorlie nickel smelter 1981-82. Report prepared for Western Mining Corporation, Melbourne.
- Freedman B, & Hutchinson TC. 1980. Long-term effects of smelter pollution at Sudbury, Ontario, on forest community composition. *Canadian Journal of Botany* 58: 2123-2140.
- Fulford G. and Murray F. 1990. Morphogenic changes in *Eucalyptus gomphocephala* exposed to SO<sub>2</sub>. *Environmental and Experimental Botany* 30: 343-347.
- Griffin GF and Dunlop SR 2008a. Emissions dispersion patterns and impacts on soils and vegetation in the Olympic Dam area. A report to BHP Billiton Olympic Dam. Datasticians, Pillar Valley, NSW.
- Griffin GF and Dunlop SR 2008b. Impact of emissions from the Olympic Dam operation on the flora and soil of the Special Mining lease and surrounding areas. A report to BHP Billiton Olympic Dam. Datasticians, Pillar Valley, NSW.
- Griffiths AD. 1998. Impacts of sulphur dioxide emissions on savanna biodiversity at Mt Isa, Queensland. Final report to Mount Isa Mines Ltd. Tropical Savannas CRC, CSIRO, Winnellie, NT.
- Hocking D, Kuckar P, Plambeck JA, & Smith A. 1978. The impact of gold smelter emissions on vegetation and soils of a sub-arctic forest-tundra transition ecosystem. *Journal of the Air Pollution Control Association* 28: 133-137.

- Howe TK. and Woltz, SS. 1981. Symptomology and relative susceptibility of various ornamental plants to acute airborne sulfur dioxide exposure. Proceedings of the Florida State Horticultural Society 94, 121-123.
- Jager HJ. et al., Editor. 1993. Effects of air pollution on agricultural crops in Europe. Air Pollution Research Report, No. 46. Brussels, European Commission,
- Koehnken L. 1997. Mount Lyell Remediation Research and Demonstration Program. Final Report. Supervising Scientist Report 126. Supervising Scientist, Canberra.
- Krupa SG. & Arndt, U. 1990. Special issue on the Hohenheim Long Term Experiment. Environmental Pollution, 68: 193-478.
- Kryuchkov VV. 1993. Extreme anthropogenic loads and the northern ecosystem condition. Ecological Applications 3: 622-630.
- Mattiske Consulting Pty Ltd 1996. Assessment of plant communities in the Kalgoorlie region: review of changes in the vegetation plots 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, and 1995. Mattiske Consulting Pty Ltd., Perth.
- Mattiske Consulting Pty Ltd 2004. Assessment of plant communities in the Kalgoorlie region: review of changes in the vegetation plots 2003. Mattiske Consulting Pty Ltd., Perth.
- McClenahan JR. 1978. Community changes in a deciduous forest exposed to air pollution. Canadian Journal of Forest Research 8: 432-438.
- McLeod AR. & Skeffington RA. 1995. The Liphook Forest Fumigation Project – an overview. Plant, cell and environment, 18:
- Murray F. 1984a. Effects of sulfur dioxide on three *Eucalyptus* species. Australian Journal of Botany 32: 139-145.
- Murray F. 1984b. The accumulation by plants of emissions from a coal-fired power plant. Atmospheric Environment, 18, 1705-1709.
- Murray F. 1988. Effects of sulphur dioxide on plant communities around the Kalgoorlie nickel smelter and the Windarra nickel/gold roaster: A report to the Environmental Protection Authority. Murdoch University, Perth.
- Murray F. 1989. Acid rain and acid gases in Australia. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 18: 131-136.
- 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, Clarke K. Wilson S. and Monk R. 1991. Development of Australian secondary ambient air quality criteria for sulphur dioxide and nitrogen oxides - Final report to the Energy Research and Development Corporation. Murdoch University, Perth.
- Murray F, Clarke K. Wilson S. and Monk R. 1992. The relationship between exposure to sulphur dioxide and yield or growth of crops and trees in Australia. Proceedings of the 11th International Clean Air Conference, Brisbane, Vol 1, pp. 273-286. Edited by P. Best, N. Bofinger, and D. Cliff, Clean Air Society of Australia and New Zealand.
- Murray F, & Wilson S. 1987. Effects of SO<sub>2</sub> and HF and Their Combination on Plants of Ecological or Agricultural Importance in Australia. Department of Primary Industries and Energy, Canberra.

- Murray F. and Wilson S. 1988a. Joint action of sulfur dioxide and hydrogen fluoride on growth on *Eucalyptus tereticornis*. *Environmental and Experimental Botany* 28: 343-349.
- Murray F. and Wilson S. 1988b. Effects of sulphur dioxide, hydrogen fluoride and their combination on three *Eucalyptus* species. *Environmental and Experimental Botany* 28: 343-349.
- Murray F. and Wilson S. 1988c. Effects of sulphur dioxide, hydrogen fluoride and their combination on three *Eucalyptus* species. *Environmental Pollution* 52: 265-279.
- Murray F. and Wilson S. 1989a. Sulfur dioxide-induced growth changes in *Eucalyptus calophylla*. *European Journal of Forest Pathology* 19: 193-199.
- NPI 2011. National Pollutant inventory 2009-10. Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities, Canberra.
- Nojd P, Mikkola K, & Saranpaa P. 1996. History of forest damage in Monchegorsk, Kola; a retrospective analysis based on tree rings. *Canadian Journal of Forest Research* 26: 1805-1812.
- Norby RJ. and Kozlowski TT. 1981. Interactions of SO<sub>2</sub> concentrations and postfumigation temperature on growth of five species of woody plants. *Environmental Pollution. Series A*, 25: 27-39.
- O'Connor JA, Parbery DG and Strauss W. 1975. The effects of phytotoxic gases on native Australian plant species: Part 2. Acute effects of sulphur dioxide. *Environmental Pollution* 9: 181-192.
- Wallis J. 1983. The effect of smelter emissions from Mt Isa on the surrounding environment. MIM Internal Report 768. Mt Isa Mines Ltd. Mt Isa.
- WHO 2000. Air quality guidelines for Europe; second edition. Chapter 10. WHO regional publications. European series; No. 91. World Health Organisation Regional Office for Europe, Copenhagen.
- Wilson SA. and Murray F. 1994. The growth response of sclerophyllous *Eucalyptus* species to SO<sub>2</sub> exposure compared to *Pinus radiata*. *Forest Ecology and Management* 68: 161-172.
- Wood CW, & Nash TH. 1976. Copper smelter effluent effects on Sonoran desert vegetation. *Ecology* 57: 1311-1316.



## ANNEXE 1 : SYMPTÔMES



Mort des chênes gomme à proximité de la zone industrielle, la strate arborée est la plus sévèrement touchée



Brûlure de la pointe des feuilles, chlorose périphérique et mort tissulaire (nécrose) sur les extrémités du limbe, ici sur *Garcinia balansae*



Même phénomène sur la pointes des feuilles de *Montrouziera sphaeroidea*



Même phénomène sur la pointe des feuilles de *Styphellia veillonii*



## ANNEXE 2 : ETUDE SYMPTOMATIQUE DES EFFETS DU DIOXYDE DE SOUFRE PAR FUMIGATION SUR LES ESPECES ENDEMIQUES DU GRAND SUD CALEDONIEN

### Introduction

La Nouvelle-Calédonie est un territoire français qui a bénéficié d'une industrialisation depuis plus d'un siècle, associée à l'exploitation et à la transformation de gisements de nickel par pyrométallurgie, et plus récemment par hydrométallurgie. L'impact de l'exploitation minière sur l'environnement est bien documentée en Nouvelle-Calédonie (Bird *et al*, 1984 ; Jaffré *et al*, 1995; Sarraih *et al*, 1995), très peu d'information et aucune étude scientifique n'ont cependant été publiées sur l'impact des émissions atmosphériques engendrées par les exploitations minières et industrielles sur la végétation. Les seuils limites et les normes appliqués proviennent des seuils des études sur la végétation des autres pays. Les seuils limites réglementaires pour la santé de la végétation sont fixés à un maximum de 1 heure à  $570\mu\text{g}/\text{m}^3$  et  $230\mu\text{g}/\text{m}^3$  par jour pour le  $\text{SO}_2$  (OMS, 2000).

### Objectifs

Les objectifs de l'étude de fumigation des plantes sous tonnelle sont les suivants :

- Etablir une base de données de symptômes foliaires correspondant à différents temps d'exposition et de concentration de  $\text{SO}_2$  pour les espèces communes du maquis et de la forêt à proximité de l'usine de Goro.
- Déterminer les seuils de concentration en  $\text{SO}_2$  et la durée d'exposition qui génèrent des symptômes pour les espèces communes.
- Déterminer les seuils de tolérance à l'exposition au  $\text{SO}_2$  pour ces espèces (pas de symptôme).
- Proposer une liste de plantes indicatrices sensibles à l'exposition au  $\text{SO}_2$  pour surveiller l'évolution de l'impact des émissions atmosphériques sur la végétation avoisinante.
- Proposer une liste de plantes tolérantes à l'exposition au  $\text{SO}_2$  pour des opérations de revégétalisation à proximité de l'activité et dans le complexe industriel.

### Les espèces sélectionnées

Les 8 espèces utilisées sont actuellement en culture à la pépinière de Vale NC. Toutes les espèces se retrouvent dans divers habitats à proximité de l'usine. Certaines d'entre elles (*Arillastrum gummiferum*, *Tristaniopsis guillanii*, *Flindersia fourrierii*, *Codia discolor*) montrent des symptômes foliaires typiques de chloroses et de brûlures dues à des émissions de  $\text{SO}_2$ .

**Espèces du maquis :** (arbres) *Tristaniopsis guillanii* (Myrtaceae), *Alphitonia neocaledonica* (Rhamnaceae), *Grevillea exul rubiginosa* (Proteaceae), *Codia discolor* (Cunoniaceae).

**Espèces de forêt :** (arbres) *Arillastrum gummiferum* (Myrtaceae), *Flindersia fourrierii* (Flindersiaceae), *Araucaria nemorosa* (Araucariaceae), *Bureavella wakere* (Sapotaceae). Des individus de *Nothofagus aequalateralis* (Nothofagaceae) seront également utilisés en supplément.

## Méthodologie

### Seuils utilisés

Les concentrations de polluants utilisées ont été sélectionnées sur la base des valeurs moyennes et maximales mesurées par les stations de surveillance de la qualité de l'air de l'usine, ainsi que les seuils réglementaires pour le SO<sub>2</sub> applicables dans l'arrête ICPE de 2008.

### Dispositif de l'étude

Dix chambres cylindriques à ciel ouvert (Heagle *et al*, 1973 ; Murray, 2003) seront utilisées pour l'étude de fumigation. Chacun des tunnels mesure 3m de diamètre sur 2,4 m de hauteur. Leur structure est composée d'un cadre en aluminium enveloppé sur les façades d'un plastique anti-UV de 200 microns. De l'air est envoyé à l'intérieur des tunnels par un ventilateur à travers un filtre à poussière. Le dioxyde de soufre est insufflé à l'entrée des chambres de fumigation après avoir été mélangé avec de l'air sec et contrôlé au moyen d'un régulateur et d'une série de vannes à pointeau.

La fumigation consiste à exposer les plantes par intermittence à une gamme de concentrations de SO<sub>2</sub> durant une saison de météorologie stable et relativement sèche. Le régime de l'exposition est composé d'un traitement de contrôle (air ambiant, moins de 5 nl SO<sub>2</sub><sup>1-1</sup>) et d'une gamme de quatre concentrations de SO<sub>2</sub> (50, 200, 400 et 800 nl 1-1). Les plantes sont exposées en continu pendant 4 heures de 10h à 14heures, 7 jours par semaine pendant une durée de 3 mois. Chaque traitement est dupliqué.



**Figure 1 : Dispositif technique montrant les tunnels verticaux et le local contenant les appareils de dosage de SO<sub>2</sub> et les détecteurs (Australie occidentale)**



Figure 2 : Dispositif de la tonnelle montrant le système de ventilation et d'alimentation en SO<sub>2</sub>

### Localisation de l'étude

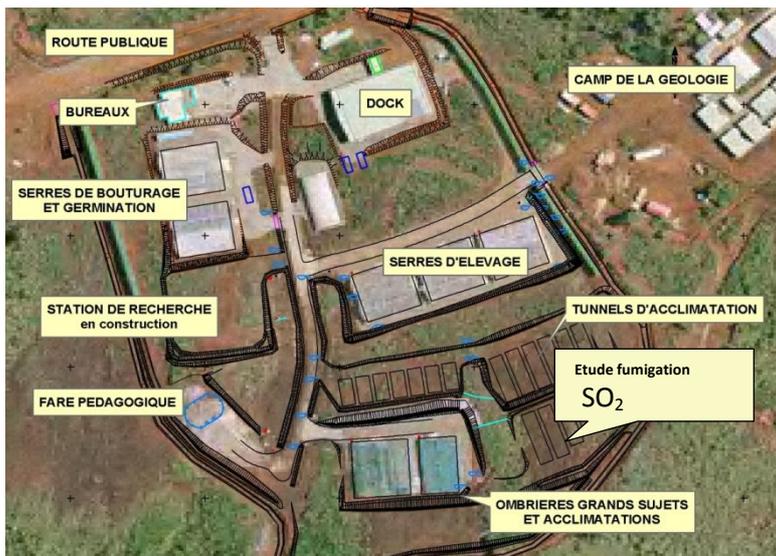


Figure 3 : Localisation de l'étude sur la pépinière de Vale NC

L'étude de fumigation sera installée sur la partie supérieure de la pépinière sur une plate-forme éloignée des autres cultures d'une distance de 20 m. Les 10 tonnelles verticales seront placées à l'intérieur des 5 rangées de chapiteaux à raison de 2 tonnelles par chapiteau. L'arrosage des plantes dans les tonnelles sera assuré par l'aspersion aérienne programmée déjà existante.

### Planification

#### Phasage de l'étude

Plusieurs éléments techniques sont nécessaires pour le déroulement de cette étude. Le planning suivant est proposé pour les années 2011 et 2012 :

	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept	Oct.
<b>Administrative et Logistique</b>											
Finaliser besoins pour étude fumigation avec Murdoch Université et établir convention											
Autorisations et démarches logistiques et financière											
Achat, vérification et transfert équipement											
Création contrat avec entreprise locale BTP pour montage tonnelle fumigation											
Construction tonnelles fumigation											
Réception et mise en marche équipement en collaboration avec personnel Murdoch Université											
Suivies et contrôles des appareillage et mesures par Murdoch Université en collaboration avec Vale NC											
<b>Elément techniques étude fumigation</b>											
Mise en culture gros sujet plantes pour l'étude											
Analyse foliaire des plantes à T(initial), Mesures destructives (poids fraîche, poids sec)											
Mesures croissance des plantes et symptômes foliaires											
Analyse foliaire des plantes à T(final), Mesures destructives (poids fraîche, poids sec)											
Analyses statistique et revu expert des résultat avec Frank Murray											
Remise du rapport Frank Murray de seuils de tolérance et toxicité SO2 végétation commun Goro											

### Démarche administrative et technique

Compte tenu du fait que le matériel et l'expertise pour l'étude de fumigation n'existent pas sur le Territoire, une convention sera établie avec professeur Frank Murray, de Murdoch University, comme suit :

- Etablir des liens avec les fabricants australiens pour obtenir un devis du matériel technique selon les spécifications adaptées pour l'étude et conformes aux normes industrielles en vigueur sur le Territoire. La commande sera effectuée par VNC, mais l'équipement sera vérifié par Frank Murray ou un membre technique de Murdoch University comme opérateur-expert avant envoi en Nouvelle-Calédonie.
- L'équipement sera livré et monté à la pépinière de Vale Nouvelle-Calédonie par un sous-traitant local suivant les instructions de Frank Murray ou d'un technicien-expert de Murdoch University lors du démarrage du chantier, selon des plans techniques et un dispositif fournis par le fournisseur et Frank Murray.
- Le démarrage de l'étude sera effectuée par le personnel technique de Vale Nouvelle-Calédonie (services Procédé technologique et Préservation de l'environnement) en collaboration avec Frank Murray pendant le premier mois de l'étude afin de s'assurer du bon fonctionnement de l'équipement et du bon déroulement de la collecte de données (plantes, équipement).
- L'étude de fumigation pourrait faire l'objet d'une thèse de Masters ou d'un PHD sous la supervision de Frank Murray ou d'un autre chercheur scientifique universitaire.
- Frank Murray fera des visites mensuelles dans le cadre des différents tests et mesures entrepris par l'étudiant et le personnel de Vale NC.

## Dispositif technique de l'étude de fumigation

### Mise en culture des plantes

L'objectif est de fournir des plantes en bonne santé et de bonne taille (>50cm) avec des feuilles adultes pour pouvoir prendre des mesures et des échantillons pour les analyses chimiques qui corroborent ou non les symptômes foliaires observés sur le terrain.

Pour ce faire, des plantes issues de la production en pépinière seront rempotées en octobre 2011 en sacs de 5 litres contenant un mélange de substrat composé de 30% terreau universel, 20% de bourse de coco, 50% de latérite (du topsoil tamisé) et de l'engrais enrobé (Nutricote tropical 270). Les plantes feront l'objet d'un apport bimensuel d'engrais foliaire (Combo) pour assurer une bonne croissance avant le démarrage de l'étude. Le nombre de plantes par espèce et par traitement sont présentés au tableau suivant.

Espèces	Block 1					Block 2					Suppl.	Total
	Control	Tr1	Tr2	Tr3	Tr4	Control	Tr1	Tr2	Tr3	Tr4		
<i>Tristaniopsis guillanii</i>	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	4	74
<i>Alphitonia neocaledonica</i>	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	4	74
<i>Grevillea exul rubiginosa</i>	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	4	74
<i>Codia discolor</i>	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	4	74
<i>Arillastrum gummiferum</i>	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	4	74
<i>Bureavella wakere</i>	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	4	74
<i>Flindersia fourrierii</i>	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	4	74
<i>Araucaria nemorosa</i>	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	4	74
<i>Nothofagus equilateralis</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11
<b>Nombre de plantes par tonnelle en pochon 5l</b>	<b>57</b>											
<b>Nombre de plantes étude</b>												<b>603</b>

### Mesures et analyses

Les plantes du lot supplémentaire de chaque espèce seront pesées et mesurées pour obtenir des informations sur la taille et le poids frais et sec des parties aériennes et des racines au départ (T0) de l'étude.

Des prélèvements de feuilles (20 grammes) seront effectués sur les individus du lot supplémentaire de chaque espèce pour établir un bilan chimique foliaire (N, P, K, S, Ca) au démarrage (T0) de l'étude. Chaque espèce sera représentée par 7 plantes par traitement (57 plantes par tonnelle au total) pour assurer une fiabilité statistique minimum.

La plus jeune feuille de la tige principale sera étiquetée sur chaque plante pour déterminer la vitesse de croissance pendant la durée de l'expérience. Des mesures de hauteur, de diamètre (au collet), du nombre de feuilles, de l'état de santé visuel des feuilles (chlorose, maladie) et de l'état de santé des systèmes photosynthétiques seront effectuées par l'équipe de Vale Nouvelle-Calédonie (services Procédé technologique et Préservation de l'environnement) sur toutes les plantes au démarrage de l'étude, et à des intervalles indiqués par Frank Murray. Le pH et la conductivité du sol seront également enregistrés aux mêmes intervalles.

Les plantes seront prélevées, mesurées et séparées en parties aériennes et racines pour analyses chimiques à des intervalles prescrits par Frank Murray selon le traitement par fumigation. Les

nouvelles feuilles et les anciennes sont prélevées séparément pour quantifier les symptômes visuels et photosynthétiques et pour obtenir un bilan final des conditions chimiques (N, P, K, S, Ca) de la plante selon les différents stades de croissance.

#### Résultats et remise de rapport

Une analyse de variance (ANOVA) sera appliquée aux mesures de croissance, d'activité photosynthétique et aux analyses chimiques pour déterminer les différences significatives et quels seuils de SO<sub>2</sub> présentent des symptômes irréversibles ou réversibles sur les plantes test. Le rapport et l'analyse des données seront effectués par Frank Murray avec les données recueillies par VNC et Frank Murray. Le rapport sera ensuite soumis à la direction de VNC et aux autorités pour évaluer les mesures de mitigation si nécessaire.

#### Bibliographie

Bird, E. C. F., Dubois, J. P. & Iltis, J. A (1981) The impacts of open cast mining on the rivers-coasts of New Caledonia. UN University, Tokyo, 53 p.

Heagle, A.S., Bedy, D.E. & Heck, W..W., (1973). An open topfield chamber to assess the impact of air pollution on plants. J. Environ. Qual., 2: 365-368.

Jaffré, T., McCoy, S., Rigault, F. & Dagostini, G. (1997 b) Quelle méthode de végétalisation pour la réhabilitation des anciens sites miniers de Nouvelle-Calédonie? In: *The ecology of ultramafic and metalliferous areas*. (Eds: T. Jaffré, R. D. Reeves & T. Becquer) pp 163-170. Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Conference on Serpentine Ecology, ORSTOM, Nouméa.

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.

OMS (2000). Air quality guidelines for Europe; second edition. Chapter 10. WHO regional publications. European series; No. 91. World Health Organisation Regional Office for Europe, Copenhagen.

Sarrailh, J-M. (1997) Sylviculture des terrains dégradés. In: *The ecology of ultramafic and metalliferous areas*. Eds: T. Jaffré, R. D. Reeves & T. Becquer) Proceedings of the Second International Conference on Serpentine Ecology. ORSTOM Nouméa, pages 189-196.

Wilson SA. and Murray F. (1994). The growth response of sclerophyllous *Eucalyptus* species to SO<sub>2</sub> exposure compared to *Pinus radiata*. Forest Ecology and Management 68: 161-172.