



SUIVI DES SYMPTÔMES FOLIAIRES À PROXIMITÉ DE L'USINE DE VALE NOUVELLE-CALÉDONIE.

COMPTE RENDU DE
MISSION

AVEC LA PARTICIPATION SCIENTIFIQUE DE LAURENT L'HUILLIER
(INSTITUT AGRONOMIQUE NÉO-CALÉDONIEN)



1. Contexte et objet de l'étude

A la suite d'observations faites sur le dépérissement de la végétation située sous le vent des installations industrielles par Vale Nouvelle-Calédonie (VNC) en 2010, plusieurs études ont été menées par l'industriel pour identifier la cause de ce dépérissement et l'étendue de la zone impactée et ainsi permettre le suivi de l'état sanitaire de la végétation impactée.

L'OEIL souhaite établir un diagnostic sur l'état de santé actuel de la végétation située sous le vent de l'usine de Vale Nouvelle-Calédonie. Pour réaliser ce travail, il est nécessaire :

- **d'examiner la pertinence des protocoles mis en place par VNC et entrevoir la possibilité de contrôler les résultats obtenus sur la base d'un même protocole.**
- **de proposer des modifications aux protocoles si nécessaire.**

Le cabinet d'expertise SoREco-NC a été missionné pour étudier la faisabilité de ce travail. Un soutien scientifique a été apporté par l'Institut Agronomique néo-Calédonien (Laurent L'Huillier).

Pour bien appréhender les méthodes de suivi mises en place par VNC, une visite de terrain a eu lieu le 13 mars 2013 en présence de deux agents de l'OEIL (Fabien Albouy et Adrien Bertaud), du cabinet d'expertise SoREco-NC (Adrien Wulff) et de la responsable du service de Préservation de l'Environnement de VNC (Julie Goxe).

Cette synthèse détaille uniquement les observations faites sur les symptômes foliaires, elle ne prend pas en compte les autres indicateurs détaillés dans le rapport du Pr. Murray, le cabinet SoREco-NC n'étant pas compétent dans l'analyse de ceux-ci.

2. Retour sur les études déjà réalisées par VNC.

Nous détaillons uniquement les opérations déjà menées sur l'étude et le suivi de la dégradation de la végétation aux alentours de l'usine de VNC.

2.1 Suivi de la forêt à *Arillastrum gummiferum*

Une première étude, réalisée en 2011 par le service de revégétalisation de VNC, a permis de mettre en évidence l'étendue impactée de la forêt à chênes gommés (*Arillastrum gummiferum*, Myrtaceae), en contrebas de l'usine (Fig. 1). Cette étude a aussi permis de mettre en évidence le degré de dégradation des populations de cette espèce en identifiant le pourcentage d'individus sains, atteints et morts (en prenant en compte différentes classes d'âge), le long de transects allant d'ouest en est. Ces derniers étaient espacés de 50 m les uns des autres et chaque transect était lui-même subdivisé tous les 50 m. Tous les individus d'*Arillastrum gummiferum* étaient pris en compte sur une largeur de 5 m le long de ces transects. Des balisages tous les 50 m ont été réalisés en lisière de la forêt et les transects ont été tracés à l'aide d'une boussole et matérialisés par un topofil biodégradable. Il faut noter que ces transects ne sont aujourd'hui plus matérialisés et il n'est pas possible de les parcourir à nouveau, VNC ne peut fournir que les points GPS du début des transects en lisière de la forêt.

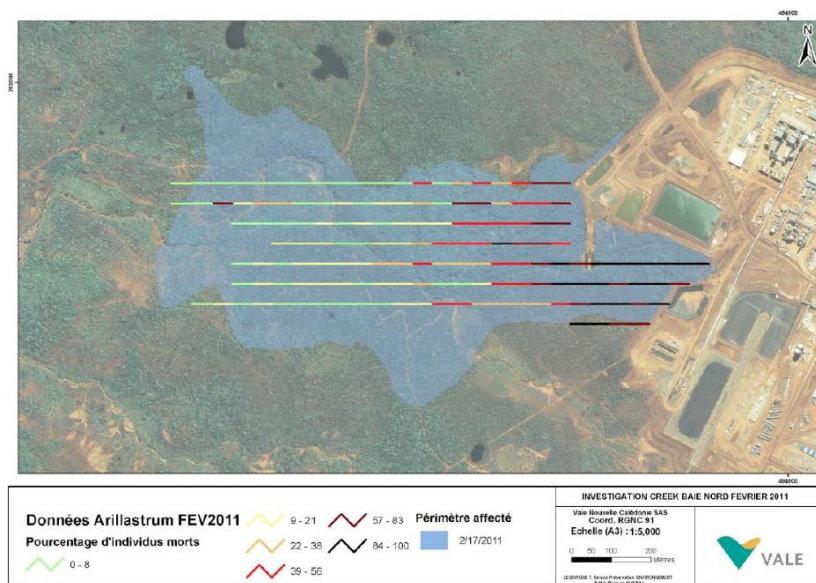


Figure 1: Impact sur la forêt d'*Arillastrum gummiferum*.

Ce travail représente une forte charge de travail pour les équipes de VNC (environ 6 semaines pour 3 personnes à temps plein). A première vue, ce suivi semble être trop précis et mériterait d'être allégé. En outre certaines améliorations sont à apporter. Il faudrait tout d'abord marquer les individus que l'on va suivre. En effet les transects ne sont pas figurés de manière permanente. De ce fait il ne sera pas possible de faire exactement le même comptage d'individus que la session précédente. Par ailleurs, les résultats sont exprimés en pourcentage d'individus ce qui peut poser un problème pour un faible nombre d'individus. Un suivi par quadrats ou sur un nombre d'individus défini serait envisageable pour obtenir des

résultats plus robustes et des expérimentations reproductibles. Par ailleurs, il est possible de se demander si l'orientation des transects, d'est en ouest, est justifiée sachant que les alizés soufflent en général vers le nord-ouest. En fonction de l'étendue de la forêt d'*Arillastrum gummiferum*, il serait opportun d'orienter les transects dans le sens des alizés (SE-NO).

Il ne nous semble pas pertinent, dans la configuration actuelle, de refaire ce suivi principalement à cause de l'importante charge de travail que ça représente. Toutefois VNC prévoit de le refaire au mois de Juin 2013. Des recommandations sur cette approche sont détaillées dans la partie 4 de ce document.

2. 2 Parcelles de suivi des symptômes foliaires de la végétation

Depuis 2012, VNC a mis en place un protocole de surveillance sur la végétation et les émissions atmosphériques des installations. Ce suivi se base sur un travail réalisé par le Professeur Murray de l'Université de Murdoch. Ce dernier a synthétisé les données recueillies par VNC et a proposé des actions permettant de comprendre les facteurs mis en cause et de les contrôler. Ce rapport a permis de bien mettre en évidence l'effet néfaste des émissions de soufre sur la végétation aux alentours et plus particulièrement sur les populations d'*Arillastrum gummiferum*.

Le suivi mis en place par VNC comprend 29 stations. Pour chaque station, une à plusieurs espèces sont observées afin d'identifier des symptômes tels que des chlorose, nécrose ou déformation. Ces relevés sont effectués tous les mois et nécessite 2 jours de travail pour 3 personnes. Des résultats préliminaires de cette étude sont synthétisés dans la figure 2

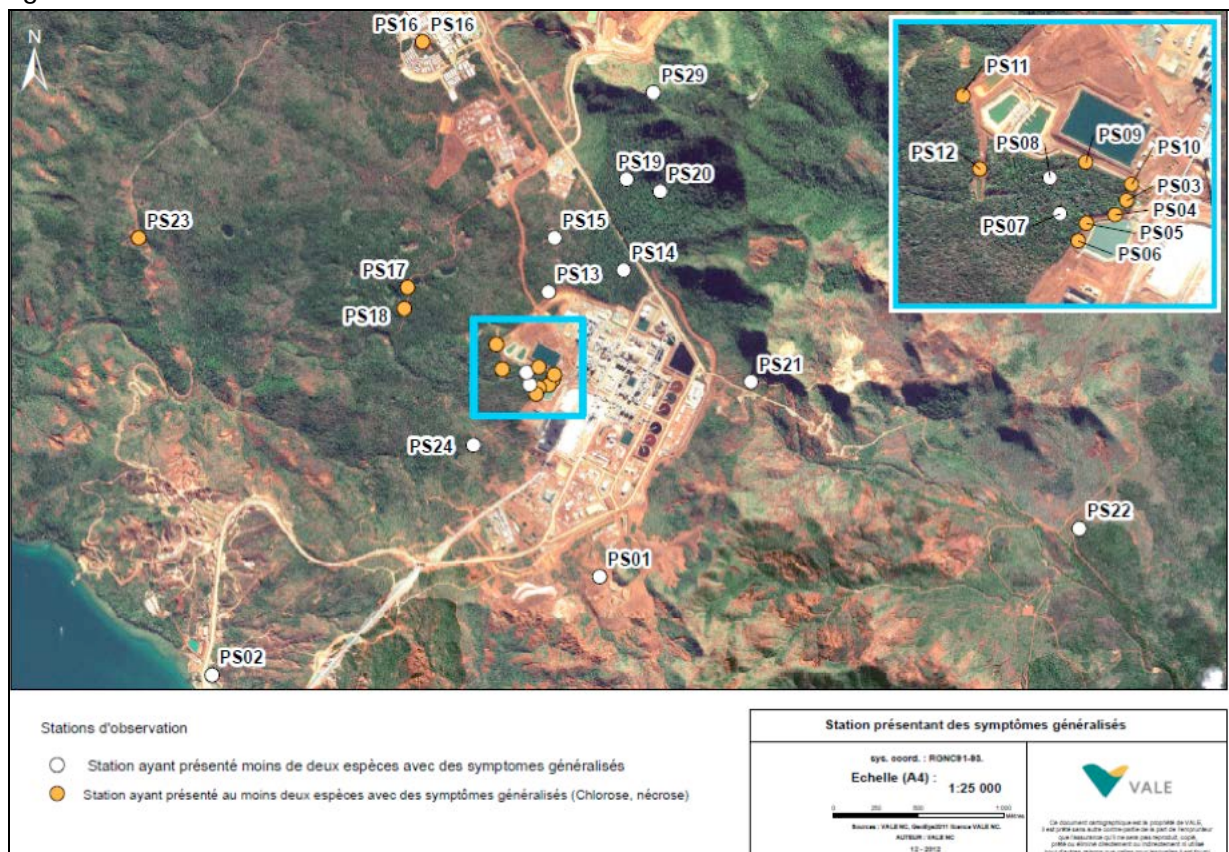


Figure 2 : Résultats préliminaires de l'observation des symptômes foliaires.

Plusieurs remarques peuvent être faites sur ces suivis pour réduire le nombre de biais dans cette étude et améliorer sa robustesse. Premièrement, les emplacements des stations ont été calqués sur ceux des stations de mesures atmosphériques. De ce fait, le cortège d'espèces n'est pas forcément similaire dans chaque station, allant d'une à neuf espèces suivies (Tableau 1 en annexe pour exemple), rendant difficile la comparaison au sein d'une espèce et entre les stations. Par ailleurs, les différentes espèces suivies sur ces parcelles ne font pas l'objet d'un marquage pour chaque individu, ce qui introduit un biais dans l'analyse des résultats, d'autant plus qu'aucun nombre d'individus n'est défini pour chaque parcelle. Il est aussi important de noter des difficultés opérationnelles tel que la hauteur de la canopée et le biais inter-opérateur sur l'analyse des symptômes.

Il serait aussi opportun de standardiser le nombre de stations de suivi en fonction du type d'habitat. En effet, le nombre de stations par habitat est très différent entre les classes de station (à haut risque, risque modéré et faible risque) allant d'une forte proportion de forêt dans les zones à haut risque à une prédominance des maquis dans les zones à faible risque (Tableau 2 en annexe).

En reprenant les premiers résultats de ce suivi, il est important de noter qu'il n'est pas possible d'identifier la limite à partir de laquelle plus aucun symptôme ne peut être observé sur la végétation (sur la figure 2, la station 23 la plus éloignée sous le vent est signalée comme étant impactée). Par ailleurs, il serait nécessaire de réfléchir s'il est pertinent de garder la limite de deux espèces impactées pour qualifier une station atteinte (cf. figure 2).

A la lumière de ces différents éléments il ne nous semble pas pertinent de refaire ce suivi pour valider les résultats de VNC. Des approches alternatives sont développées dans la partie 4 du présent document.

3. Eléments appréhendés au cours de la mission terrain du 13 mars 2013.

Au cours de cette visite il a été possible d'observer l'état de dégradation de la végétation au niveau de la forêt d'*Arillastrum gummiferum* et de cinq stations de suivi des symptômes foliaires (stations 08, 11, 13, 17 et 18).

Par ailleurs, les différentes études mises en place depuis l'observation des premiers symptômes ont été détaillées par Julie Goxe. Celle-ci nous a aussi précisé les nouvelles expérimentations mises en place, notamment le suivi photographique d'individus marqués à intervalles réguliers.

Conformément à l'arrêté ICPE n°1946-2012/ARR/DIMEN du 5 septembre 2012, VNC a soumis un plan de suivi de la flore à la province Sud qui n'a pas encore rendu ces observations.

L'étendue des impacts a pu être observée directement sur le terrain sur les *Arillastrum gummiferum* mais aussi sur les autres espèces (Figure 3 A-G).

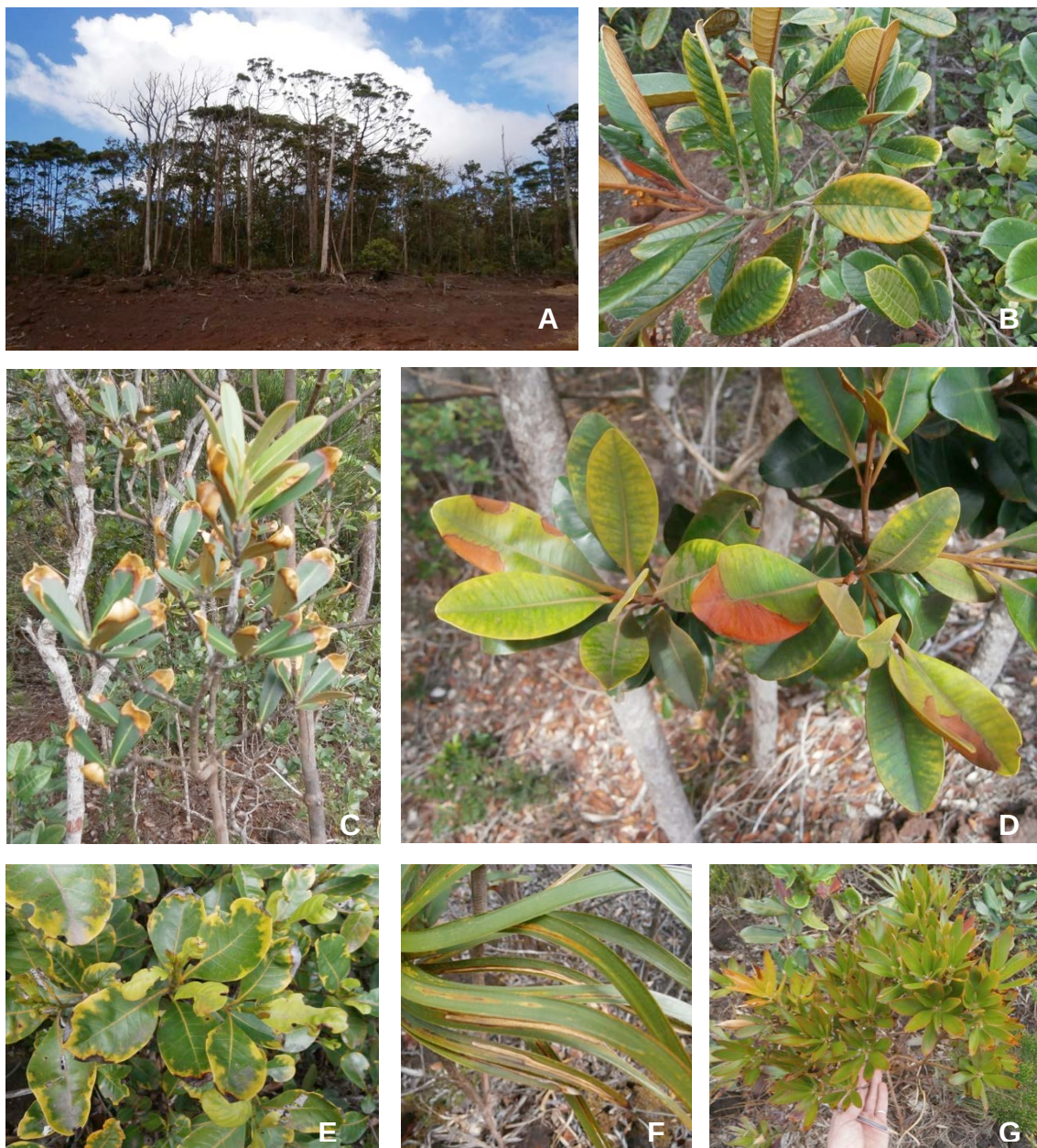


Figure 3 : Symptômes observés sur plusieurs espèces végétales : A : Défoliation d'*Arillastrum gummiferum* ; B : Chlorose sur *Aphitonia neocaledonica*; C : Nécroses sur *Montrouziera sphaeroidea* ; D : Chlorose et nécroses sur *Tristaniopsis guillaunii* ; E : Chlorose et nécroses sur *Codia spatulata* : F : Nécroses sur *Lomandra insularis* ; G : Nécroses sur *Styphelia cymbulae*.

4. Proposition d'amélioration des protocoles de suivi des symptômes foliaires

L'objectif principal de cette étude de faisabilité était de savoir s'il était possible, sur la base des travaux déjà réalisés, de faire un diagnostic de l'état de santé de la végétation à proximité de l'usine. A la vue des observations faites précédemment, il semble nécessaire d'apporter des modifications aux procédures de suivi déjà en place. Il est toutefois judicieux de séparer les suivis en deux grandes thématiques, l'étude de la forêt d'*Arillastrum gummiferum* d'une part (se justifie par la haute sensibilité de cette espèce aux émissions de soufre) et le suivi de la végétation en générale sur une plus grande distance géographique.

Il est nécessaire de bien identifier les questions permettant d'appréhender l'état de dégradation et la résilience des formations naturelles. Ces études doivent pouvoir répondre aux attentes des collectivités et de VNC en termes de suivi des impacts des activités industrielles sur l'environnement, dans l'immédiat mais aussi sur le long terme.

Nous détaillons ci-dessous ces questions de recherche et abordons des approches permettant d'y répondre.

4. 1. Pour le suivi de la forêt d'*Arillastrum gummiferum*

Question 1 : Est-ce que l'étendue de la zone de forêt à *Arillastrum gummiferum* impactée a régressé, s'est stabilisée ou a augmenté ?

Il est important de redéfinir le périmètre de la forêt d'*Arillastrum gummiferum* impactée. Pour cela, il est nécessaire de faire des observations sur le terrain et voir jusqu'à quelles limites des dégradations sont observables sur cette espèce. Il serait opportun de valider la cartographie, réalisée par VNC (<http://geoportail.oeil.nc/cartexpert>) à partir d'images satellitaires, de ce type de formation et reporter la surface impactée sur la surface totale de la formation.

Question 2 : Observe-t-on toujours le même gradient de dégradation sur la forêt d'*Arillastrum gummiferum* que celui observé par VNC ?

Pour observer le stade de dégradation de la forêt à *Arillastrum gummiferum*, deux options se présentent :

- Refaire le même protocole tout en installant un balisage permanent des transects et des individus pris en compte dans le suivi. Cet aspect est important pour permettre un suivi précis de l'évolution de la dégradation dans le temps. Dans l'exploitation des résultats, il serait intéressant de notifier si aucun individu n'est impacté (classe 0 %) en plus des classes déjà identifiées. De plus dans le rendu des résultats, il est nécessaire de compléter la figure avec les densités en individus le long des transects. En effet le pourcentage seul ne peut rendre compte de l'état de dégradation de la population. Cette option permet d'avoir un suivi très fin de la dégradation de cette espèce, toutefois il demande un important effort en temps de travail (6 semaines/3 pers.)

- Développer un nouveau protocole avec des parcelles permanentes de suivi où tous les individus suivis seront marqués. Afin de placer géographiquement ces dernières, il faudra définir différentes classes en fonction de la distance à l'usine (stations très proches, proches, distantes). Une attention particulière sera apportée pour suivre le même nombre de parcelles et d'individus. Cette approche permettra de réduire le temps nécessaire pour réaliser le suivi tout en garantissant la robustesse de l'étude.

4. 2. Parcelles de suivi des symptômes foliaires de la végétation

Question 3 : Quelle est l'étendue de la zone où la végétation (incluant *Arillastrum gummiferum*) montre des signes de dégradation en lien avec les émissions de soufre ?

Ce travail nécessitera de prospector les formations sous le vent pour identifier jusqu'à quelles distances des symptômes peuvent être observés.

Question 4 : Est-ce que l'état sanitaire des espèces indicatrices s'améliore, se stabilise ou se dégrade ?

Cet aspect peut être appréhendé par la mise en place de parcelles permanentes de suivi où tous les individus seront marqués. Ces dernières devront prendre en compte l'étendue totale de zone impactée et même au-delà. En effet, il sera nécessaire de mettre en évidence la limite à partir de laquelle la végétation n'est plus impactée et installer des parcelles au-delà de celle-ci pour pouvoir identifier une possible progression du front de dégradation au cours du temps. Il sera aussi indispensable de garder des stations de suivi dans les formations au vent. Il sera nécessaire de définir des classes de distance dans lesquelles un nombre standardisé de parcelles sera établi. Pour avoir la possibilité de faire des comparaisons entre les parcelles et les classes de parcelles, il sera nécessaire de suivre le même nombre d'individus par espèces, le même nombre d'espèces et prendre en compte, la même proportion de formations naturelles suivies (forêt-maquis). Il est peut-être même opportun de se focaliser sur les formations ouvertes car elles sont plus simples à suivre, la canopée se trouvant à hauteur d'homme.

Il sera important de réfléchir à la quantification des symptômes par individu pour être capable de suivre son évolution dans le temps. Pour ce faire, une observation de la quantité totale de feuilles affectées est possible en définissant plusieurs classes (Pas d'impact : 0 % ; impact faible : 1-25 % ; impact moyen : 25-50 % ; impact fort : 50-75 % ; impact extrême : >75 %). En comparaison avec les suivis actuels des symptômes qui se font tous les mois, nous préconisons un suivi tous les 3 à 4 mois. Les relevés pourront s'étaler sur cette période mais devront être faits aux mêmes dates entre les années pour être comparables.

Question 5 : Y'a-t-il des symptômes de dégradation sur d'autres espèces que celles déjà identifiées par VNC ?

Cet aspect pourra être appréhendé par l'identification d'espèces présentant des symptômes en lien avec des émissions de soufre. Cette opération peut être réalisée en parallèle de la délimitation de la zone dégradée (question 3). Les observations pourront être validées par le Pr. Murray.

7. Conclusion

À la lumière des éléments détaillés ci-dessus, **les protocoles développés par VNC ne permettent pas de répondre en totalité à l'objectif de diagnostique** de l'état de dégradation et surtout ne permettent pas de faire un suivi dans le temps. **De ce fait, la question posée par l'ŒIL, notamment sur le contrôle des données recueillies, ne semble pas se justifier de part la présence de nombreux biais dans les protocoles.**

Pour établir ce diagnostic, des améliorations doivent être apportées aux différents protocoles et plus particulièrement sur les parcelles de suivi des symptômes foliaires de la végétation. L'étude avec les transects dans la forêt d'*Arillastrum gummiferum* est trop importante en terme de charge de travail pour être réalisé par un consultant extérieur. Un nouveau protocole en utilisant des parcelles permanentes est à envisager, en complément de la redéfinition de la zone affectée. Pour les stations de suivi des symptômes, il est nécessaire d'apporter d'importants changements aux protocoles actuels, notamment en définissant différentes classes de distances à l'usine. Une attention particulière sera apportée à la possibilité de comparer statistiquement les résultats des observations entre les parcelles, notamment en standardisant le nombre d'individus, d'espèces, parcelles par classe et les types de formations naturelles.

Ces préconisations devraient être reprises dans les protocoles de VNC qui sont, pour rappel, en cours de validation auprès de la province Sud. Il est recommandé à l'ŒIL d'analyser précisément ces nouveaux plans de suivi de la flore pour voir si les préconisations proposées apparaissent dans les nouveaux plans de suivi de VNC.

Annexes

Tableau 1 : Exemple des espèces suivies par stations

Station	Espèces suivies	Station	Espèces suivies
1	<i>Aphitonia neocaledonica</i>	4	<i>Aphitonia neocaledonica</i>
	<i>Codia sp.</i>		<i>Arillastrum gummiferum</i>
	<i>Guioa sp.</i>		<i>Codia sp.</i>
	<i>Gymnostoma deplancheanum</i>		<i>Gymnostoma deplancheanum</i>
	<i>Lomandra insularis</i>		<i>Lomandra insularis</i>
	<i>Montrouzieria sphaeroidea</i>		<i>Machaerina deplanchei</i>
	<i>Styphelia sp.</i>		<i>Styphelia sp.</i>
2	<i>Codia sp.</i>	5	<i>Arillastrum gummiferum</i>
	<i>Gymnostoma deplancheanum</i>		<i>Codia sp.</i>
	<i>Montrouzieria sphaeroidea</i>		<i>Garcinia sp.</i>
	<i>Styphelia sp.</i>		<i>Guioa sp.</i>
3	<i>Aphitonia neocaledonica</i>		<i>Gymnostoma deplancheanum</i>
	<i>Garcinia sp.</i>		<i>Lomandra insularis</i>
	<i>Gymnostoma deplancheanum</i>		<i>Machaerina deplanchei</i>
	<i>Lomandra insularis</i>		<i>Styphelia sp.</i>
	<i>Machaerina deplanchei</i>	6	<i>Aphitonia neocaledonica</i>
	<i>Styphelia sp.</i>		<i>Arillastrum gummiferum</i>
	<i>Tristaniopsis guillainii</i>		<i>Codia sp.</i>
			<i>Garcinia sp.</i>
			<i>Gymnostoma deplancheanum</i>
			<i>Lomandra insularis</i>
			<i>Styphelia sp.</i>
			<i>Tristaniopsis guillainii</i>

Tableau 2 : Détails des stations de suivi

Station observation	Localisation	Distance à la source (m)	Orientation par rapport à la source	Végétation	Exposition	GPS RGNC 91 X Y	Classe	Remarque
PS 3	Exutoire Ck Baie Nord PE	200	W	Maquis arbustif dense	Lisière du creek	-22.33268 166.91039	Proche	Stations à haut risque susceptible de montrer une teneur moyenne en SO2 pouvant engendrer des dommages sévères sur les espèces sensibles
PS 4	Bassin souffre lisière 1	200	W	Forêt Rivulaire	Lisière de l'usine	-22.33294 166.91017		
PS 5	Bassin souffre exutoire lisière 2	250	WSW	Forêt Rivulaire	Lisière de l'usine	-22.33310 166.90961		
PS 6	Bassin souffre lisière 3	250	WSW	Forêt Rivulaire	Lisière de l'usine	-22.33342 166.90945		
PS 7	Forêt Rivulaire Galerie	300	WSW	Forêt Rivulaire	Fermée	-22.33293 166.90909		
PS 8	Forêt Rivulaire Chêne gomme	350	W	Forêt à Chêne gomme	Fermée	-22.33228 166.90889		
PS 9	Bassin eau brute lisière	300	W	Forêt à Chêne gomme	Lisière de l'usine	-22.33199 166.90959		
PS 10	Bassin eau brute station pompage	200	W	Forêt à Chêne gomme	Lisière de l'usine	-22.33239 166.91048		
PS 11	Exutoire Bassins Premier Flo Nord	600	WNW	Maquis arbustif dense	Lisière de l'usine	-22.33080 166.90718		
PS 12	Piste décanteur Ck Baie Nord	500	W	Maquis para-forestier	Lisière de l'usine	-22.33212 166.90752		
PS 13	Drain Périphérique PE	700	NNW	Maquis arbustif ouvert	Ouvert	-22.32802 166.91013	Moyenne	Station à risque modéré susceptible de montrer une teneur moyenne en SO2 pouvant engendrer des dommages légers sur les espèces sensibles
PS 14	Forêt McCoy	800	NNE	Forêt Humide	Lisière du creek	-22.32683 166.91443		
PS 24	Doline aval Usine pilote	650	WSW	Maquis arbustif dense	Lisière du piste	-22.33618 166.90590		
PS 1	Plantation parabolique	1050	S	Maquis ligno-herbacé dense	Ouvert	-22.34313 166.91316		
PS 15	Ligne haute tension PE Forêt McCoy	1000	NNW	Maquis arbustif ouvert	Ouvert	-22.32513 166.91046		
PS 17	Piste émissaire STEP Doline	1200	NW	Maquis arbustif dense	Lisière du piste	-22.32781 166.90207		
PS 18	Piste Emissaire STEP CDE	1150	NW	Maquis arbustif dense	Lisière du piste	-22.32894 166.90189		
PS 19	Forêt Nord Piste forestière	1350	NNE	Forêt Humide	Lisière du piste	-22.32197 166.91457	Loin	Faible risque et pouvant montrer une teneur moyenne en SO2 n'engendrant aucun dommage sur la végétation
PS 20	Forêt Nord Reserve	1350	NNE	Forêt Humide	Fermée	-22.32261 166.91649		
PS 21	Col Paillard	1050	E	Maquis ligno-herbacé dense	Lisière du piste	-22.33272 166.92174		
PS 29	Forêt Nord AQMS	1900	NNE	Maquis ligno-herbacé dense	Ouvert	-22.31736 166.91608		
PS 16	Base vie AQMS	2300	NNW	Maquis arbustif ouvert	Ouvert	-22.31474 166.90286		
PS 2	Port	2700	SSE	Maquis ligno-herbacé sur gabbro	Ouvert	-22.34851 166.89102		
PS 23	Route du Ferry	2750	WNW	Maquis arbustif ouvert	Ouvert	-22.32525 166.88667		
PS 22	Paillard Entrée Camping Attiti	3050	ESE	Maquis arbustif dense	Ouvert	-22.34044 166.94058		Sites utilisés pour évaluer les teneurs normales de SO2 de l'air
PS 25	Pic du Grand Kaori	5800	NNW	Maquis arbustif dense	Ouvert	-22.28448 166.89494		
PS 26	Pépinière	6500	N	Maquis ligno-herbacé dense	Ouvert	-22.27429 166.91238		
PS 28	Mine Prony	17000	WNW	Maquis arbustif ouvert	Ouvert	-22.29833 166.80188		
PS 27	Madeleine	20000	NNW	Maquis ligno-herbacé dense	Ouvert	-22.21230 166.84280		