



Version finale – Février 2019

Méthode de diagnostic : Estimation de la qualité des milieux dans le Grand Sud - Des données de suivis aux scores environnementaux.

Léa Desoutter (OEIL)



OEIL

Observatoire de
l'environnement

Table des matières

I. Introduction	5
I.1. Présentation des documents du « Bilan Grand Sud »	5
I.2. Modalités d'élaboration et d'amélioration continue de la méthode de diagnostic	5
I.3. Définitions.....	5
II. Méthodologie générale	7
II.1. Données analysées	7
II.2. Zone d'étude.....	7
II.1. Pressions.....	8
II.1.1. Activités de Vale NC.....	8
II.1.2. Autres activités.....	10
II.2. Mesures de gestion	10
II.3. Principes généraux de l'estimation de l'état de santé des milieux dans le grand sud.....	10
II.3.1. Réflexion par grands types de milieux : terrestre, dulçaquicole et marin.....	10
II.3.2. Approche par zone au sein de chaque milieu	11
II.3.3. Stations de suivi, natures de prélèvements et paramètres suivis.....	11
II.3.4. Notions d'états chimiques et écologiques	11
II.3.5. Attribution de notes aux paramètres suivis.....	12
II.3.6. Attribution de scores chimiques et écologiques aux zones	15
III. Le milieu marin	17
III.1. Données analysées.....	17
III.2. Zone d'étude	17
III.2.1. Zones en milieu marin	17
III.2.2. Stations de suivi et stations de référence par zone	18
III.3. Outils méthodologiques à disposition.....	20
III.3.1. Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie.....	20
III.4. Synthèse des paramètres suivis, métriques et référentiels utilisés pour l'attribution de notes.....	20
III.4.1. Tableaux de synthèse	20
III.4.2. Paramètres clés	23
III.4.3. Métriques utilisées	24
III.4.4. Calcul des gammes de référence géographique	25
III.4.5. Calcul des gammes de référence temporelle.....	25
III.5. Détail par nature de prélèvement et par paramètre : des stations, fréquences de suivi, métriques et référentiels utilisés pour l'attribution de notes	25
III.5.1. Prélèvements d'eau	25

III.5.2. Structure de la colonne d'eau : profils verticaux (température, turbidité, fluorescence, salinité)	32
III.5.3. Pièges à sédiments : flux de particules	33
III.5.4. Prélèvements de sédiments de surface :	35
III.5.5. Prélèvements de sédiments par carottage	36
III.5.6. Suivi des habitats récifaux, des communautés de poissons, des macro-invertébrés et des perturbations par LIT	38
III.6. Informations non intégrables au diagnostic	41
IV. Les milieux eaux douces	44
IV.1. Données analysées	44
IV.2. Zone d'étude	44
IV.2.1. Zones des eaux de surface (rivières et dolines)	44
IV.2.2. Zones des eaux souterraines	46
IV.2.3. Représentation cartographique des stations de suivi en milieux eaux douces	48
IV.3. Outils méthodologiques à disposition	50
IV.3.1. Directive Cadre sur l'Eau (DCE)	50
IV.3.2. Indice Biotique de Nouvelle-Calédonie (IBNC) et Indice Bio sédimentaire (IBS)	53
IV.3.3. Cartographie des zones de perturbation des cours d'eau sous influence	54
IV.4. Synthèse des paramètres suivis, métriques et référentiels utilisés pour l'attribution de note	57
IV.4.1. Tableaux de synthèse	57
IV.4.2. Paramètres clés	60
IV.4.3. Métriques utilisées	61
IV.4.4. Calcul des gammes de référence géographique	62
IV.4.5. Calcul des gammes de référence temporelle	63
IV.5. Détails par nature de prélèvement et par paramètre : des stations, fréquences de suivi, métriques et référentiels utilisés pour l'attribution de notes	63
IV.5.1. Prélèvements d'eaux de surface et d'eaux souterraines	63
IV.5.2. Flux de matières en suspensions (MES)	73
IV.5.3. Prélèvements de sédiments de surface	73
IV.5.4. Suivi des macro-invertébrés	74
IV.5.5. Suivi de la faune ichthyenne	76
V. Les milieux terrestres	78
V.1. Données analysées	78
V.2. Zonage	78
V.2.1. Zones en milieu terrestre	79
V.2.2. Compartiments suivis	79
V.2.3. Stations de suivi et stations de référence par zone	80

V.3. Synthèse des paramètres suivis dans les différents compartiments des milieux terrestres	82
V.4. Détail par compartiment et par paramètre : des stations, fréquences de suivi, métriques et référentiels utilisés pour l'attribution de notes	82
V.4.1. Compartiment atmosphérique (air et pluies)	82
V.4.2. Compartiment flore	88
V.4.3. Compartiment faune	97
V.5. Suivis non intégrables au diagnostic	99
V.5.1. Compartiment faune	99
V.5.2. Compartiment flore	104
VI. Limites de la méthode	107
VI.1. Recours fréquent au dire d'expert au regard des données disponibles	107
VI.2. Carence en outils méthodologiques adaptés au contexte calédonien	107
VI.3. Evolutions trop fréquentes de la méthode	107
VII. Bibliographie :	108
VII.1. Milieux marins	108
VII.2. Milieux eaux douces	108
VII.3. Milieux terrestres	109

I. Introduction

I.1. Présentation des documents du « Bilan Grand Sud »

Dans le cadre de ses missions de suivi de l'environnement et d'information, l'Observatoire de l'environnement en Nouvelle-Calédonie (OEIL) réalise depuis 2013 une mission d'estimation de la qualité des milieux du Grand Sud, appelée également « Bilan Grand Sud ».

Pour ce faire, une méthodologie d'évaluation a été développée en 2013 et révisée plusieurs fois (2014, 2018), afin de pouvoir analyser les données issues des suivis environnementaux opérés dans le Grand Sud et principalement centrés autour de Vale NC. L'ensemble des aspects méthodologiques sont présentés dans un document spécifique intitulé « méthode de diagnostic », qui précise les règles utilisées pour attribuer des scores environnementaux aux différentes zones d'étude à partir des données de suivis disponibles.

Chaque année, les résultats issus de ce travail d'analyse sont présentés annuellement dans deux documents destinés à un public averti :

- Un « rapport technique », qui présente de façon détaillée les résultats obtenus pour chaque milieu, paramètre et station.
- un « bilan technique », qui synthétise les résultats obtenus par grande zone pour chaque type de milieu

NB : La vérification de la conformité de l'état du milieu avec les études d'impact des industriels n'est pas l'objet du Bilan Grand Sud, cette compétence relevant de l'autorité publique en charge des inspections sur les ICPE.

I.2. Modalités d'élaboration et d'amélioration continue de la méthode de diagnostic

Un comité technique (COTEC 1) composé de différents acteurs de l'environnement (scientifiques, bureaux d'études, gestionnaires et industriels) impliqués dans les suivis réalisés sur la zone d'étude, se réunit régulièrement depuis 2014 afin d'élaborer la méthode de diagnostic du Bilan Grand Sud. Les méthodes présentées et validées en COTEC 1 sont les plus rigoureuses possibles, considérant les outils et les données de suivis disponibles.

La considération de trois milieux dans un diagnostic d'état de santé environnemental est une démarche novatrice sur le territoire, qui nécessite des ajustements et des améliorations. Les méthodes utilisées pour diagnostiquer l'état de santé des milieux dans le grand Sud s'inscrivent ainsi dans un processus d'amélioration continue. Les révisions de la méthode font l'objet d'une consultation en réunion du COTEC 1, qui se déroule au premier semestre des années concernées par ce processus de modification, la dernière en date remontant à mars 2018.

I.3. Définitions

Paramètre : « Le paramètre est l'objet de la mesure ou du dénombrement. De façon imagée, le paramètre est le contenant du résultat de l'analyse ou de l'observation ; la donnée générée est donc le contenu. La *concentration en chlorophylle a*, le *nombre de poissons comptés* sont des paramètres » (tiré de Beliaeff, Bouvet, Fernandez, David, & Laugier, 2011).

Paramètres clé : paramètres désignés en COTEC 1 de mars 2018 pour leur capacité à traduire sans ambiguïté une perturbation anthropique du milieu.

Métrique : « Une métrique est une formule de calcul appliquée aux valeurs obtenues pour un paramètre donné. Pour le paramètre *concentration en chlorophylle a*, une métrique utilisable est, par exemple, la *concentration moyenne* observée sur un secteur donné pendant une période donnée. Cette valeur peut

alors être confrontée à des valeurs de référence ou à une série de données ». (tiré de Beliaeff, Bouvet, Fernandez, David, & Laugier, 2011).

La médiane est une métrique qui permet d'exclure les valeurs marginales potentiellement aberrantes vis-à-vis du reste des données. Au contraire, la moyenne ne s'en affranchira pas puisque que toutes les valeurs entrent dans son calcul.

Le choix de la métrique a un impact très fort sur les résultats. Le maximum est une métrique particulièrement conservatrice, tandis que le minimum est une métrique très permissive. Dans ces conditions, une seule valeur très haute ou très basse dans la série de données suffit à faire basculer le résultat. Moyenne, médiane, et percentile 90 sont à l'inverse des choix modérés.

Référentiel : Le référentiel constitue un point de comparaison. Il peut prendre la forme de valeur seuils, mais aussi de tout autre élément permettant une comparaison sur la base d'un référentiel temporel, spatial, ou d'une appréciation.

II. Méthodologie générale

Méthode révisée en réunion du Comité Technique le 19 mars 2018, avec la participation et/ou consultation de J. Chazeau (CS OEIL), P. Genthon (CS OEIL), B. Fogliani (CS OEIL), M. Allenbach (CS OEIL), L. Wantiez (CS OEIL), P. Boissery (CS OEIL), JM. N'Guyen (Vale NC), C. Casalis (Vale NC), JL. Folio (Vale NC), S. McCoy (Vale NC), G. Wotling (DAVAR), E. Coutures (DENV PS), LC. Corfdir (DENV PS), F. Le Borgne (DENV PS), M. Juncker (OEIL), M. Aubert (OEIL), A. Bertaud (OEIL).

II.1. Données analysées

La plage temporelle du diagnostic de l'état de santé des milieux dans le Grand Sud s'appuie sur les données de l'année révolue la plus récente (les résultats de suivis traités en 2018 concernent donc l'année considérée 2017). L'ensemble des données antérieures est pris en compte lorsque les protocoles de mesure mis en œuvre pour l'estimation du paramètre d'intérêt sont identiques ou comparables d'une année sur l'autre.

Si aucun suivi n'a été effectué au cours de l'année considérée n pour un paramètre donné (en raison de problèmes techniques ou d'une fréquence de suivi inférieure à une mesure annuelle), le diagnostic peut s'appuyer sur les résultats d'une à plusieurs années en arrière. Le pas de temps maximal sur lequel baser le diagnostic dépend du milieu et du type de paramètre considéré, selon sa variabilité (Tableau 1).

Lorsque les données les plus récentes proviennent de suivis antérieurs, aucun score n'est attribué au paramètre considéré.

Milieu	Prélèvement	Type de paramètre	Pas de temps maximal
Marin	Eau de surface	Physico-chimie	<u>n</u>
	Flux de particules	Physico-chimie	<u>n</u>
	Sédiment de surface (benne)	Physico-chimie	<u>n-3</u>
	Sédiments profond (carottage)	Physico-chimie	<u>n-3</u>
	Faune (suivis Vale NC, RORC, ACROPORA)	Biologie	<u>n-1</u>
	Faune (suivis Unesco)	Biologie	<u>n-1</u>
Eaux douces	Eau de surface	Physico-chimie	<u>n</u>
	Sédiments	Physico-chimie	<u>n</u>
	Eau souterraine	Physico-chimie	<u>n</u>
	Faune (macro-invertébrés)	Biologie	<u>n</u>
	Faune (poissons et crustacés)	Biologie	<u>n</u>
Terrestre	Air	Physico-chimie	<u>n</u>
	Sol et litière (N)	Physico-chimie	<u>n</u>
	Sol et litière (autres éléments)	Physico-chimie	<u>n-2</u>
	Faune (oiseaux)	Biologie	<u>n-1</u>
	Faune (lézards)	Biologie	<u>n-1</u>
	Flore (MFIP)	Biologie	<u>n-1</u>
	Flore (symptomatoLOGIE, fluorimétrie)	Biologie	<u>n</u>

Tableau 1: Pas de temps maximal à retenir en fonction du milieu et du paramètre considéré (n correspond à l'année révolue la plus récente)

II.2. Zone d'étude

Il est globalement admis que la zone d'étude sur laquelle est dressée le diagnostic de l'état de santé des milieux se concentre autour de la zone d'influence du complexe industriel et minier de Vale NC, même si le périmètre de la zone d'étude peut être réajusté chaque année en regard des nouvelles informations de suivis disponibles.

Pour ce diagnostic, la zone d'étude s'étend de la rivière Fausse Yaté au Nord, à l'île des pins au Sud-Est. La limite Ouest est représentée par L'île Ouen (Figure 1)

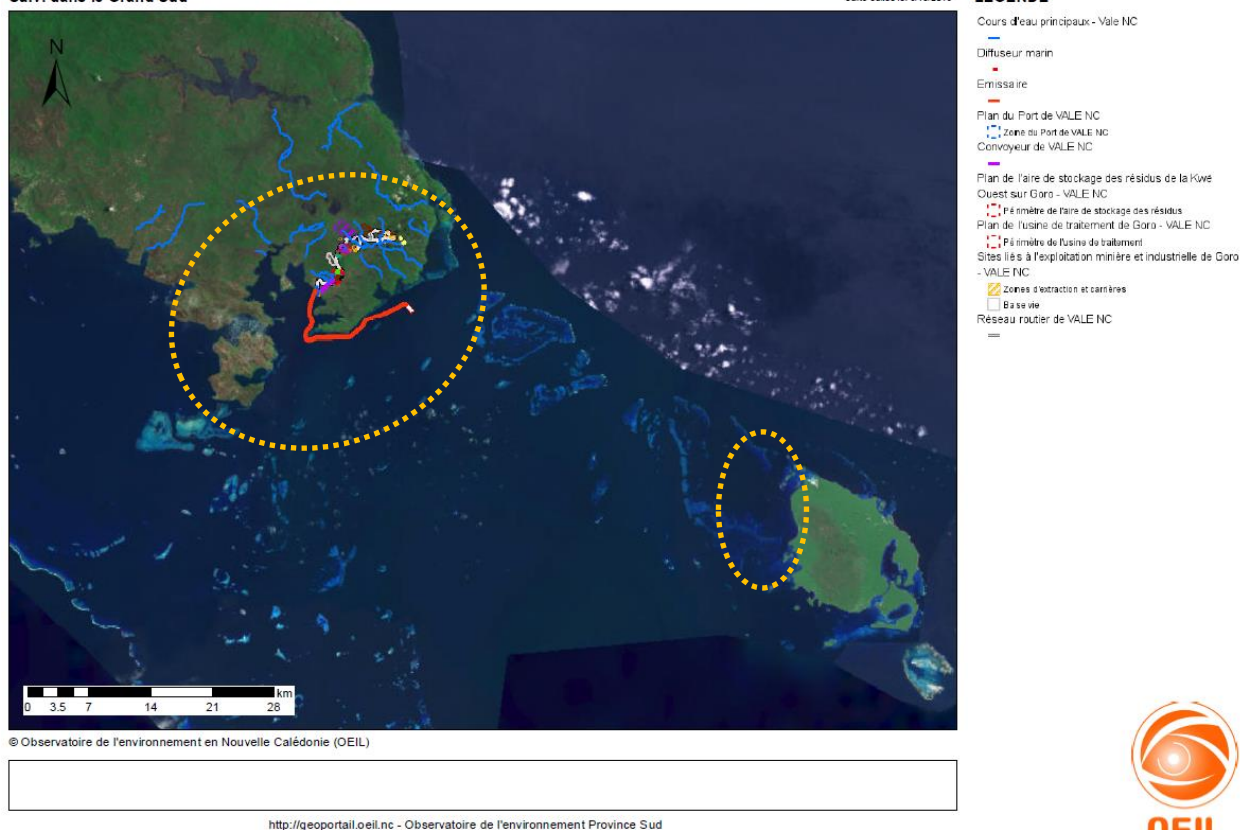


Figure 1 : Carte générale de l'emprise géographique du diagnostic de l'état de santé des milieux du Grand Sud (la zone d'étude est délimitée en pointillés jaunes) - source OEIL

II.1. Pressions

II.1.1. Activités de Vale NC

Les principales installations de Vale NC (Figure 2) sont réparties sur trois bassins versants :

- Le bassin versant de la Kwé, qui comporte la fosse minière, l'aire de stockage des résidus, l'unité de préparation du minerai, le centre industriel de la mine et le stockage de minerai long terme
- Le bassin versant du Creek Baie Nord, qui comporte l'usine de traitement du minerai
- Le bassin versant de Kadji, qui comporte la base-vie

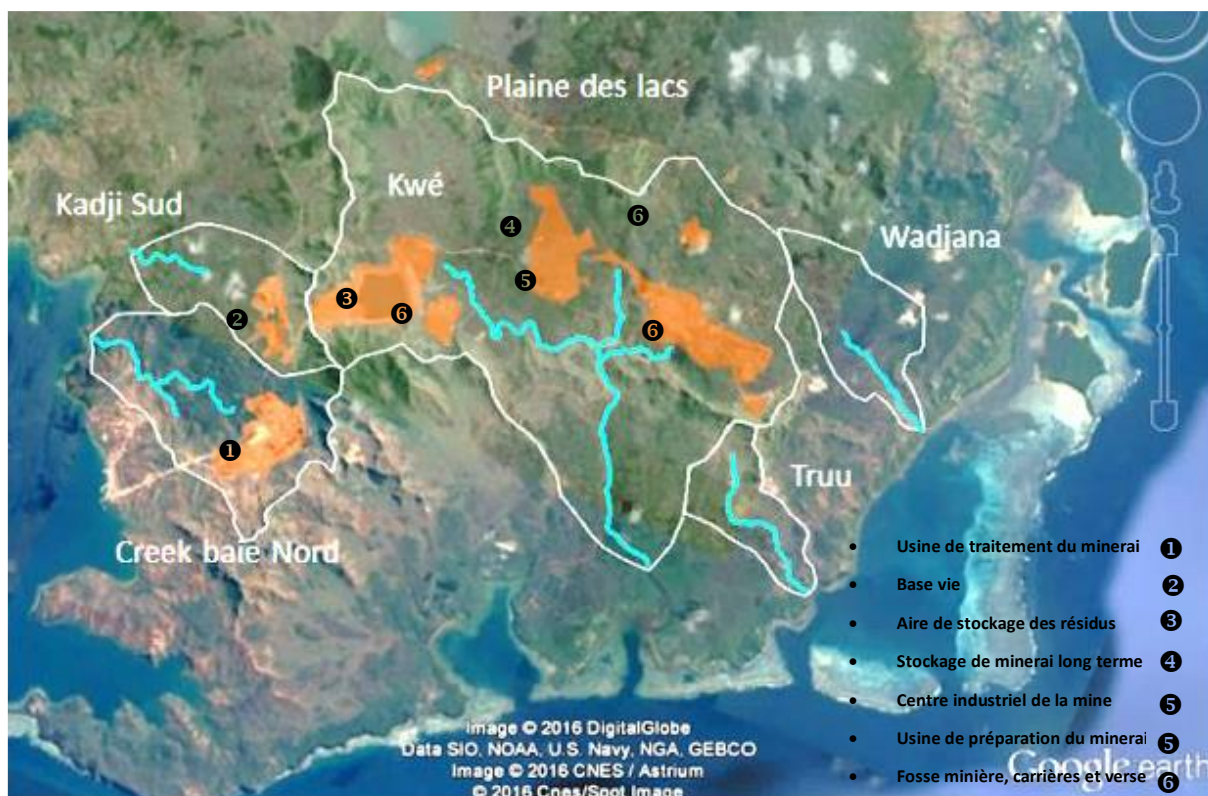


Figure 2: Carte de l'emprise des installations de Vale NC (en orange) sur les différents bassins versants impactés (source CÉIL)

Les activités et installations de Vale-NC sont intrinsèquement polluantes. En effet, elles engendrent l'émission de composés chimiques susceptibles de se retrouver dans l'eau, dans l'atmosphère ou dans les sols et de contaminer par ce biais l'ensemble des milieux aquatiques et terrestres de la zone d'étude (Tableau 2)

Par ailleurs, les travaux de défrichement nécessaires à la mise en place de l'usine et à son développement ont engendré un accroissement du phénomène d'érosion des sols, tandis que les activités portuaires présentent un risque non négligeable d'introduction d'espèces envahissantes.

Activités et installations Vale-NC	Pressions engendrées	
	Milieux aquatiques	Milieux terrestres
Défrichement	accroissement de l'érosion et apports terrigènes	fragmentation des habitats
Activités portuaires	hydrocarbures, soufre (milieu marin seulement)	introduction d'espèces envahissantes
Base vie	enrichissement	introduction d'espèces envahissantes
Routes		poussière, fragmentation des habitats, nuisance sonore, propagation d'espèces envahissantes
Usine de traitement du minerai	fuite d'acide, rejets chimiques	dégagement de dioxyde de soufre, nuisances lumineuses
Aire de stockage des résidus (ASR),	rejets chimiques	
Stockage de minerai long terme (SMLT)	rejets chimiques	
Centre industriel de la mine	rejets chimiques	
Usine de préparation du minerai (UPM)	rejets chimiques	
Fosse minière, carrières et verses	accroissement de l'érosion et apports terrigènes	nuisances sonores
Emissaire marin	rejets chimiques (milieu marin seulement)	

Tableau 2: Nature des pressions engendrées par les activités et installations de Vale-NC sur les différents milieux

L'ensemble de ces pressions menace les espèces aquatiques et terrestres, qui réagissent mal aux perturbations environnementales et aux modifications de leurs habitats. Par exemple, les macro-invertébrés, les poissons et les coraux sont particulièrement sensibles aux apports terrigènes, tandis que les oiseaux sont incommodés par les nuisances sonores et lumineuses.

II.1.2. Autres activités

En dehors des activités industrielles et minières de Vale NC, d'autres sources de pression sont présentes au sein de la zone d'étude, à savoir une autre mine en activité (mine Ada exploitée par MKM), des hôtels, des habitations, des éoliennes et larges pistes en haut des bassins versant se déversant dans le Canal Woodin, ainsi que des mines orphelines non revégétalisées influençant notamment la baie de Prony.

Historiquement, les activités d'exploitation forestière et minière se sont développées dans la zone depuis plus d'un siècle, et ont conduit au défrichage de nombreuses surfaces du Grand Sud. Les sources de pression à caractère accidentel ne sont pas négligeables, avec notamment une dégradation importante de la végétation par les incendies. Les effets de l'érosion sur l'environnement s'accumulent ainsi depuis lors sur l'ensemble de la région. Dans le milieu marin, les échouages de bateaux peuvent également être source de pollution du littoral par les hydrocarbures.

II.2. Mesures de gestion

Compte tenu des nombreuses pressions engendrées sur les milieux, Vale-NC est contraint de respecter les prescriptions environnementales d'arrêtés provinciaux pris pour chacune de ses installations. Ces arrêtés précisent notamment la nature et le contenu des suivis environnementaux dont il est question dans ce document.

Par ailleurs, des mesures de protection mises en place au sein de la zone permettent de limiter l'étendue de l'influence des sources de pression, et de maintenir des aires non impactées constituant des zones de référence avec lesquelles comparer les résultats des suivis en zone d'influence des activités industrielles et minières. Ainsi, le milieu marin de la région comprend deux réserves naturelles marines, une aire de gestion durable des ressources et un parc provincial intégrant la zone du lagon sud inscrite au patrimoine mondial de l'UNESCO. Concernant le milieu terrestre, le Grand Sud compte par ailleurs huit réserves naturelles, deux aires de gestion durable des ressources et un parc provincial.

II.3. Principes généraux de l'estimation de l'état de santé des milieux dans le grand sud

II.3.1. Réflexion par grands types de milieux : terrestre, dulçaquicole et marin

La réflexion autour de l'appréciation de l'état de santé des milieux dans le Grand Sud est basée sur un découpage en 3 milieux : le milieu marin, le milieu des eaux douces, et le milieu terrestre. Pour chaque type de milieux, plusieurs compartiments sont suivis, comme indiqué dans le schéma ci-dessous (Figure 3).

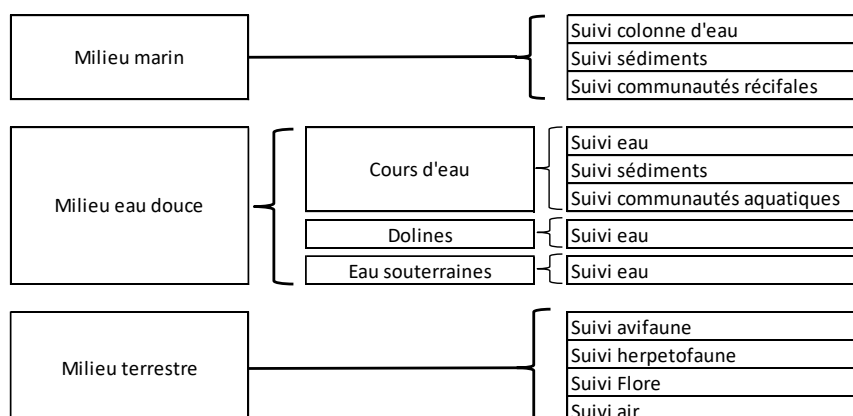


Figure 3: Schéma récapitulatif des compartiments suivis dans chacun des milieux naturels du Grand Sud

Les suivis, de nature physico-chimiques ou biologiques, sont complémentaires entre eux.

II.3.2. Approche par zone au sein de chaque milieu

Afin de pouvoir étudier précisément les pressions qui s'exercent, des zones sont délimitées au sein de chaque milieu selon deux critères :

- Le degré d'exposition aux perturbations industrielles et minières (ex : distance aux sources de polluants atmosphériques, exposition aux vents dominants, courants marins...)
- L'homogénéité du fonctionnement écologique (ex : continuum forestier).

II.3.3. Stations de suivi, natures de prélèvements et paramètres suivis

Au sein de chaque zone, des stations de suivi de types physico-chimiques ou biologiques sont positionnées. Elles sont en majorité de nature réglementaire, mais peuvent également être volontaires. La plupart des stations de suivi appartiennent à Vale-NC, mais d'autres acteurs possèdent également des stations (ex : Acropora, Scal'Air).

Au niveau de chaque station, des prélèvements de différentes natures (eaux superficielles, sédiments, flux sédimentaires...) sont réalisés à une fréquence bien déterminée (continue, hebdomadaire, mensuelle, trimestrielle, semestrielle, annuelle), afin d'y mesurer différents paramètres (chimiques, physico-chimiques ou biologiques).

Au total, près de 110 paramètres contribuant aux scores environnementaux du milieu marin, dulçaquicole ou terrestre sont évalués dans ce bilan (Tableau 5, Tableau 27 et Tableau 34).

II.3.4. Notions d'états chimiques et écologiques

L'objectif principal de la communication de l'OEIL étant d'atteindre la cible grand public par des messages simples, il est convenu d'attribuer des scores sur l'état écologique et chimique de ces grandes zones.

Définition des termes inspirés de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) (validés au cours du COTEC 1 de juillet 2016) :

Etat écologique : l'état écologique est l'appréciation de la structure et du fonctionnement des écosystèmes. Il est établi à partir de critères appelés éléments de qualité qui peuvent être de nature biologique (flore et/ou faune), physicochimiques dès lors que les paramètres considérés supportent la biologie (température, nutriments, minéraux...) ou géomorphologiques (habitat ou encore débit pour les milieux aquatiques).

Etat chimique : l'état chimique rend compte du niveau de perturbation du milieu sur la base des concentrations en polluants mesurés. Il s'appuie donc sur des paramètres traduisant de la manière la plus directe possible les perturbations anthropiques.

Remarque : en milieu terrestre, la contribution des paramètres suivis à un état chimique ou écologique a été jugée non pertinente par le COTEC (réunion de mars 2018). L'agrégation des scores par paramètres suivis en scores environnementaux par zones se fait donc selon un découpage par compartiment : faune, flore et air.

La terminologie employée pour qualifier les différents états est similaire à celle des classes de qualité de grilles d'évaluation d'indicateurs biologiques (ex. Indice biotiques IBS – IBNC). Par souci d'homogénéité

dans la qualification des scores de l'ensemble des paramètres suivis dans le cadre du Bilan Grand Sud, il a été acté en COTEC de mars 2018 de conserver cette terminologie pour tous les paramètres.

Les notes et scores des **paramètres biologiques** des trois milieux sont donnés sur une échelle de 4 à 5 niveaux, dont la définition est la suivante (inspirée de Beliaeff, Bouvet, Fernandez, David, & Laugier, 2011) :

- **Très bon** : Conditions naturelles hors d'impact.
- **Bon** : Proche des conditions naturelles, impact faible (avéré ou soupçonné).
- **Moyen** : Impact avéré, modéré.
- **(Médiocre)** : Impact avéré préoccupant.
- **Mauvais** : Milieu très fortement impacté.

Les notes et scores des **paramètres chimiques et physico-chimiques** sont donnés sur 3 ou 4 niveaux :

- **Bon, Moyen et Mauvais** pour les paramètres mesurés dans le milieu des eaux douces, pour les paramètres chimiques du milieu marin, ainsi que pour les paramètres de suivi du sol et de la litière en milieu terrestre ;
- **Très bon, Bon, Moyen et Mauvais** pour les paramètres de suivi chimique des sédiments marins, ainsi que pour les paramètres concourant à la qualité de l'air.

Dans le cas où les données ne permettent pas de conclure, la note ou le score attribué est **Inconnu**.

II.3.5. Attribution de notes aux paramètres suivis

II.3.5.a. Critères d'évaluation

Les critères d'évaluation utilisés pour évaluer les paramètres sont de 4 types :

- La comparaison d'une métrique annuelle aux valeurs mesurées **en stations de référence (référentiel spatial)** : pour ce critère, une note est attribuée en comparant la métrique annuelle aux fourchettes de valeurs indiquées dans une grille de qualité, pouvant prendre les valeurs Bon, Moyen, Mauvais
- La comparaison d'une métrique annuelle aux valeurs mesurées **sur cette même station sur une période de référence (référentiel temporel)** : pour ce critère, une note est attribuée en comparant la métrique annuelle aux fourchettes de valeurs indiquées dans une grille de qualité, pouvant prendre les valeurs Bon, Moyen, Mauvais
- L'occurrence de dépassements **de valeurs seuil (référentiel éco-toxicologique, sanitaire...)** : pour ce critère, la note est attribuée en comparant la métrique annuelle aux fourchettes de valeurs d'une grille de qualité (pouvant varier de Très bon à Mauvais, selon le paramètre) ; dans le cas d'une valeur seuil unique, la note est Bonne si la métrique annuelle est < à la valeur seuil, Mauvaise si la métrique est ≥ à la valeur seuil.
- La **note attribuée l'année précédente**, dans le souci d'assurer une logique de continuité dans les diagnostics successifs.

II.3.5.b. Modalité de calcul des gammes de référence

Ce point a fait l'objet d'une révision importante de la méthode lors du COTEC 1 de mars 2018. En effet, les précédents bilans se basaient sur des gammes de référence calculées en ne prenant en compte que les données mesurées au cours de l'année considérée. Afin d'accorder un poids égal aux différentes stations de référence, sans surpondérer celles dont l'effort d'échantillonnage était le plus important, les gammes de

référence correspondaient à une moyenne et un percentile 90 calculés à partir des moyennes annuelles du paramètre considéré dans chacune de ces stations de référence.

En COTEC 1 de mars 2018, il a été décidé que les gammes de référence des paramètres physico-chimiques seront désormais construites à partir de l'ensemble des données disponibles, sur l'ensemble de la chronique temporelle, dans l'ensemble des stations situées hors zone d'influence des activités industrielles et minières. Les différentes métriques (moyenne, médiane, percentiles 90, percentile 75...) seront calculées à partir de l'ensemble de ces valeurs, toutes stations de références confondues.

II.3.5.c. Appréciation des tendances d'évolution

Lors du COTEC 1 de juillet 2016, les participants ont été sollicités pour préciser le sens à donner à la notion de tendance dans ce bilan annuel. *Les conclusions des membres du COTEC étaient les suivantes :*

« L'analyse de tendance depuis l'état initial (long terme) est exclue, en raison des difficultés à caractériser cet état initial et d'une chronique de données parfois trop courte pour certains paramètres ou certaines stations. Il est acté de faire une comparaison de note avec l'année précédente (court terme), accompagné d'un tableau des résultats pour les 5 années précédentes (moyen terme) lorsque cela est possible. »

Une stratégie d'analyse des tendances à l'évolution à moyen terme est donc retenue. Cette décision a été réaffirmée lors du COTEC 1 de mars 2018, au cours duquel il a été décidé d'attribuer une note pour le critère d'évolution temporelle se basant sur l'évaluation de la tendance sur 5 ans glissants : dans le cas d'une tendance observée à la dégradation par rapport à la variabilité naturelle, la note d'évolution temporelle est Mauvaise, dans le cas d'une relative stabilité ou d'une tendance à l'amélioration, la note d'évolution temporelle est Bonne.

Afin d'illustrer visuellement les résultats de ces analyses, en complément des tableaux de données et d'analyse, des graphiques de type boxplots représentant visuellement les séries de données sur 5 ans seront produits pour les paramètres clés.

Lors de la réalisation du Bilan Grand Sud 2018, il a été décidé que le critère de tendance d'évolution à moyen terme (5 ans) n'entrerait plus dans l'attribution du score final. De plus, la tendance d'évolution sur 5 ans glissants est désormais évaluée non plus par un score Bon ou Mauvais, mais par un sens d'évolution à la hausse ou à la baisse.

II.3.5.d. Analyses statistiques des critères d'évaluation

Parmi les quatre critères participant à l'attribution d'une note par paramètre et par station, deux peuvent s'appuyer sur des tests statistiques pour déterminer des résultats fiables et garantis par un degré d'erreur très faible :

- La comparaison des valeurs mesurées durant l'année considérée avec celles des **gammes de référence géographique** mesurées hors zone d'influence la même année : une différence significative ou non des valeurs mesurées en station de suivi avec celles de sa gamme de référence entraîne l'attribution d'une note bonne ou mauvaise en conséquence ;
- La **tendance à l'évolution des valeurs mesurées à moyen terme**, caractérisée par une diminution ou une augmentation significative et correspondant selon le paramètre à une dégradation ou à une amélioration avérée de l'état du milieu ; des résultats non significatifs sont à interpréter comme une stabilité relative du paramètre considéré.

Selon le type de distribution des données, une transformation peut s'avérer nécessaire pour garantir une puissance de détection et d'analyse optimales. Dans le cadre de mesures environnementales, notamment pour les mesures de paramètres chimiques, la distribution la plus commune est de type « log normal » : de nombreuses valeurs sont très faibles et correspondent généralement aux limites de détection, les occurrences se faisant de plus en plus rares à mesure que la valeur augmente. Pour s'affranchir de ces valeurs très faibles et se rapprocher d'une distribution normale, une transformation par la fonction $\log(y+1)$ est effectuée.

Des tests statistiques paramétriques (ANOVA) ou non paramétriques (Kruskal-Wallis) sont réalisés, selon les résultats de tests *ad hoc*, à l'aide de modèles qui prennent en compte la structure des données (distribution, effectif, variance...) pour effectuer des comparaisons robustes entre les séries de valeurs :

- un test évaluant la significativité (p-value) des différences entre le jeu de données de chaque station avec les données de la gamme de référence. Pour ce critère, un score Mauvais est attribué à toute station de suivi dont le jeu de données est significativement supérieur à celui de sa zone de référence ; un score intermédiaire Bon est attribué dans le cas contraire (pas de différence significative, ou valeurs significativement inférieures).
- un test évaluant la significativité (p-value) des différences entre les jeux de données des différentes années suivies pour une station donnée. Pour ce critère, un score Mauvais est attribué à toute station de suivi dont la chronique des données présente une hausse significative ; un score intermédiaire Bon est attribué dans le cas contraire (pas de tendance significative, ou diminution significative).

Ces tests seront réalisés uniquement pour les paramètres clés des milieux aquatiques, identifiés lors du COTECH 1 de mars 2018.

II.3.5.e. Méthode d'agrégation des critères d'évaluation

Lors de la réalisation du Bilan Grand Sud 2018, des changements ont été apportés à la méthode d'agrégation des critères d'évaluation. Une des modifications majeures est que le critère « d'évolution temporelle de moyen terme (sur 5 ans glissants) » n'entre plus dans l'attribution du score final pour aucun milieu. Par ailleurs, il a été décidé :

- Pour le **milieu marin**, que la note attribuée par la « grille de qualité ZONECO » correspondrait au score final. Pour les paramètres ne disposant pas de grille de qualité ZONECO, ce sera la note attribuée au critère « comparaison à la gamme de référence géographique » (pour les stations de suivi) ou la note attribuée au critère « comparaison à la gamme de référence temporelle » (pour les stations hors influence) qui correspondra au score final.
- Pour le **milieu eaux douces**, que la note attribuée au critère « comparaison à la gamme de référence géographique » correspondrait au score final. En cas de doute concernant la fiabilité de la gamme de référence géographique, ce sera la note attribuée au critère « comparaison à la gamme de référence temporelle » qui sera retenue pour l'attribution du score final.
- En ce qui concerne les **milieux terrestres**, que la note attribuée par la « grille de qualité » correspondrait au score final.

II.3.6. Attribution de scores chimiques et écologiques aux zones

L'agrégation des notes des différents paramètres chimiques mesurés sur une station permet d'obtenir une note chimique pour cette station. Dans la même logique, l'agrégation des notes chimiques des différentes stations appartenant à une même zone permet d'attribuer un **score chimique** à cette zone. Le raisonnement est similaire pour l'attribution d'un **score écologique** à une zone à partir des différents paramètres écologiques mesurés dans les stations de suivi de cette zone (Figure 4).

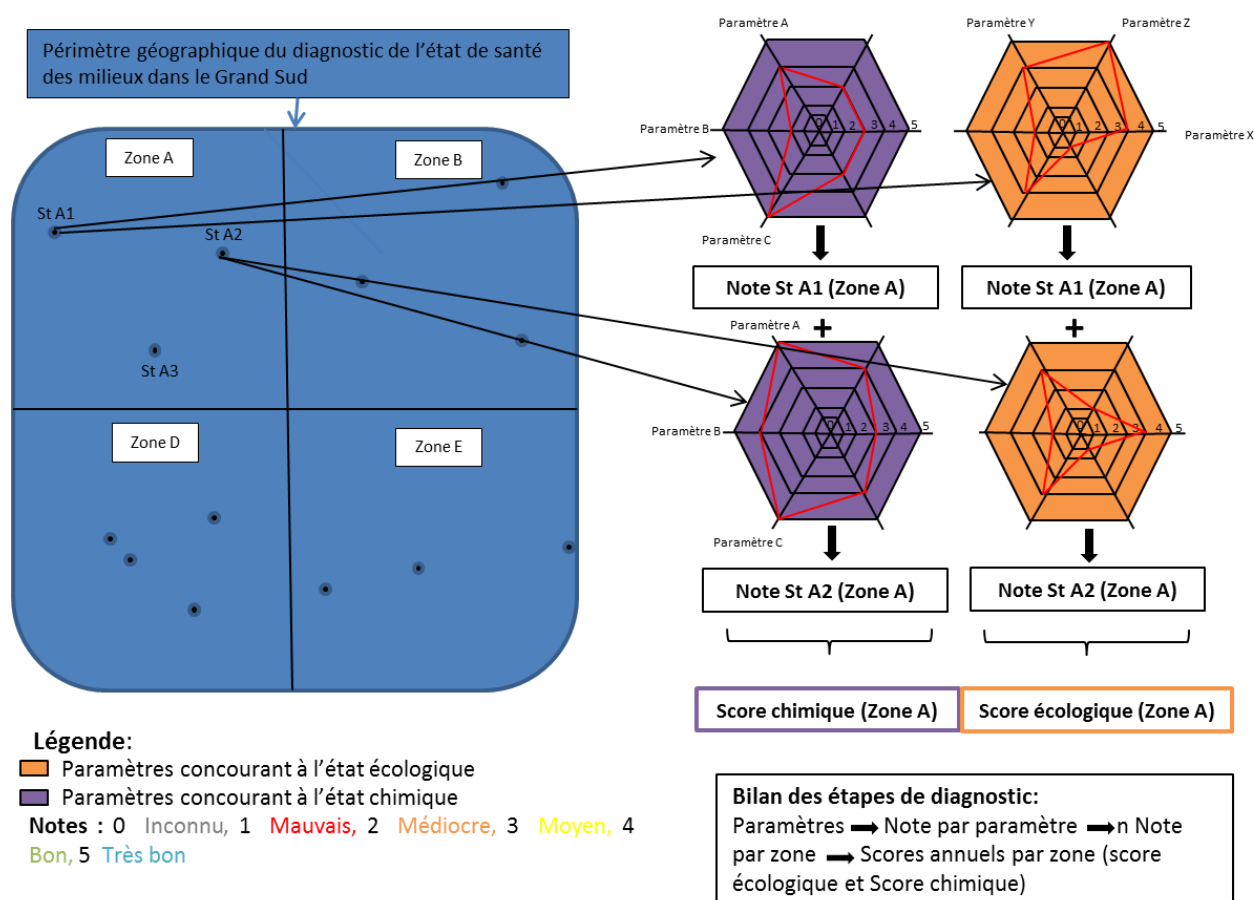


Figure 4: Schéma explicatif de l'attribution de scores chimiques et écologiques à une zone donnée (dans l'exemple, la zone A), en fonction des notes prises par les paramètres mesurés sur chacune des stations de cette zone

Afin d'attribuer un score par station puis par zone, la méthode d'agrégation des notes de paramètres respecte les règles suivantes :

- Le principe de conservation de la note du paramètre le plus déclassant.
- Pour l'attribution d'un score écologique, un poids plus important est donné aux notes issues des suivis biologiques par rapport aux notes issues de la physicochimie. Seuls certains paramètres physico-chimiques clés entrent en compte dans l'attribution du score écologique : soit pour faire apparaître une perturbation lorsque les données biologiques sont bonnes, soit pour attribuer le

score écologique en absence de données biologiques, sous réserve qu'au moins 3 de ces paramètres clés soient renseignés pour l'année considérée.

- L'avis d'expert intervient en complément de ces règles, lors du COTEC 2 de validation des résultats, pour ajuster les scores en regard de son expertise.

III. Le milieu marin

Méthode révisée en réunion du Comité Technique le 19 mars 2018, avec la participation et/ou consultation de : J. Chazeau (CS OEIL), P. Genthon (CS OEIL), B. Fogliani (CS OEIL), M. Allenbach (CS OEIL), L. Wantiez (CS OEIL), P. Boissery (CS OEIL), JM. N'Guyen (Vale NC), C. Casalis (Vale NC), E. Coutures (DENV PS), F. Le Borgne (DENV PS), M. Juncker (OEIL), M. Aubert (OEIL), A. Bertaud (OEIL).

III.1. Données analysées

Le diagnostic environnemental du milieu marin s'appuie sur l'exploitation des informations extraites des suivis environnementaux listés ci-après, et dont le nombre de stations et la fréquence de suivi a varié selon les années :

- Suivi environnemental réglementaire de Vale NC (depuis 2007), couvrant les zones du Canal Woodin, Baie du Prony, Baie de port Boisé, Baie Kwë, Canal de la Havannah, Réserve Merlet jusqu'à l'île Ouen ;
- Suivi environnemental OEIL/CCCE « Acropora » (depuis 2012) : île Ouen, Goro et île des pins ;
- Suivi environnemental RORC (depuis 2003) : Bonne Anse et Casy ;
- Suivi environnemental UNESCO (depuis 2008) : Réserve Yves Merlet.

Remarque : l'OEIL a interrompu en 2014 le suivi des stations biologiques de la Baie Kwé et de la Baie de Port Boisé.

III.2. Zone d'étude

III.2.1. Zones en milieu marin

Le choix d'une représentation cartographique par zone est scientifiquement discutable mais la volonté éditoriale et technique est d'aboutir à une représentation simplifiée utilisant cette agrégation géographique. Entourée des précautions nécessaires, cette simplification est assumée.

Dans le cadre de la révision du plan de suivi du milieu marin de Vale NC (G Bouvet & Guillemot, 2015), l'étude commanditée par l'OEIL a abouti à la production d'un zonage pertinent fondé sur deux critères :

- le degré d'exposition aux pressions de Vale NC (notion de distance aux zones sources de pressions : champs proche, moyen, lointain) ;
- les caractéristiques géomorphologiques (courantologie, type de milieu).

Ainsi le zonage a donc été arrêté et validé lors du COTEC 2 de 2015 ; 12 zones ont été définies (Tableau 3, Tableau 4 et Figure 5).

Champ d'exposition	Zones	Intérêt du suivi des zones définies
Proche	Baie Nord	zone en aval des BV de Kadji et du Creek Baie Nord
	Port de Prony	zone centrée sur le Port de Prony
	Baie Kwé	zone en aval du Grand BV de la Kwé
	Emissaire	zone centrée sur le diffuseur de l'effluent marin
Modéré	Bonne Anse et Casy	zone en contact avec les zones de champ proche (Baie Nord et Port de Prony), zone de référence pour Baie Nord et Port de Prony
	Pointe Puka	zone en contact avec les zones de champ proche (Baie Kwé)
Lointain	Canal de la Havannah	zone de référence pour la zone Emissaire
	Baie de Port Boisé	zone de référence pour la Baie de Kwé
	Ile Ouen	zone d'intérêt patrimonial
	Ugo et Merlet	zone d'intérêt patrimonial
	Goro	zone d'intérêt patrimonial
	Ile des Pins	zone d'intérêt patrimonial

Tableau 3: Intérêt du suivi des 12 zones délimitées en milieu marin

III.2.2. Stations de suivi et stations de référence par zone

Stations de référence							Stations de suivi									
Typologie	Zone	Station	Prélèvement				Typologie	Zone	Station	Prélèvement						
Fond de baie, littoral	Baie de Port Boisé	ST03*					Fond de baie, littoral	Baie Kwé	ST06*							
		ST18°								ST06-KW1						
	Bonne Anse et Casy	ST19"									Bekwe					
		ST17								ST15°						
		Bonne Anse								ST01						
		Casy								ST16"						
Pointe Puka	ST35							Port de Prony	ST12							
Proche récif barrière		ST02					Proche récif	Emissaire	ST09'							
		ST07								ST60-NE						
		ST40					Total stations				4	3	3	1	3	
		ST28					Légende *, °, ', " : paires de stations de suivi et leurs stations de référence attribuées Station Vale Station Acropora Degré d'influence par rapport à l'activité industrielle et minière: Champ proche Champ modéré Champ lointain Nature du prélèvement: Eau de mer Sédiments de surface Flux sédimentaires Sédiments profonds Peuplements biologiques									
		ST30														
		ST29														
		ST27														
		Passe Toemo														
Ugo et Merlet	ST05'															
	ST21															
	ST42															
	ST41															
Goro	Paradis															
	ST14															
Ile Ouen	ST13															
	ST20															
	ST23															
	Bodjo															
	Daa Moa															
	Nemondja															
Ile des Pins	Kanga Daa															
	Daa Kouguie															
	Daa Yetaii															
Total stations			10	9	0	0	20									

Tableau 4: Nature des prélèvements effectués (eau, sédiments, peuplements biologiques) au niveau des stations de suivi et des stations de référence des différentes zones du milieu marin

Des données supplémentaires mesurées dans la zone par d'autres opérateurs pourraient être intégrées au bilan, sous réserve de leur obtention par l'OEIL, notamment les suivis effectués par MKM au niveau de Ué et N'go et ayant une influence présumée sur le canal Woodin.

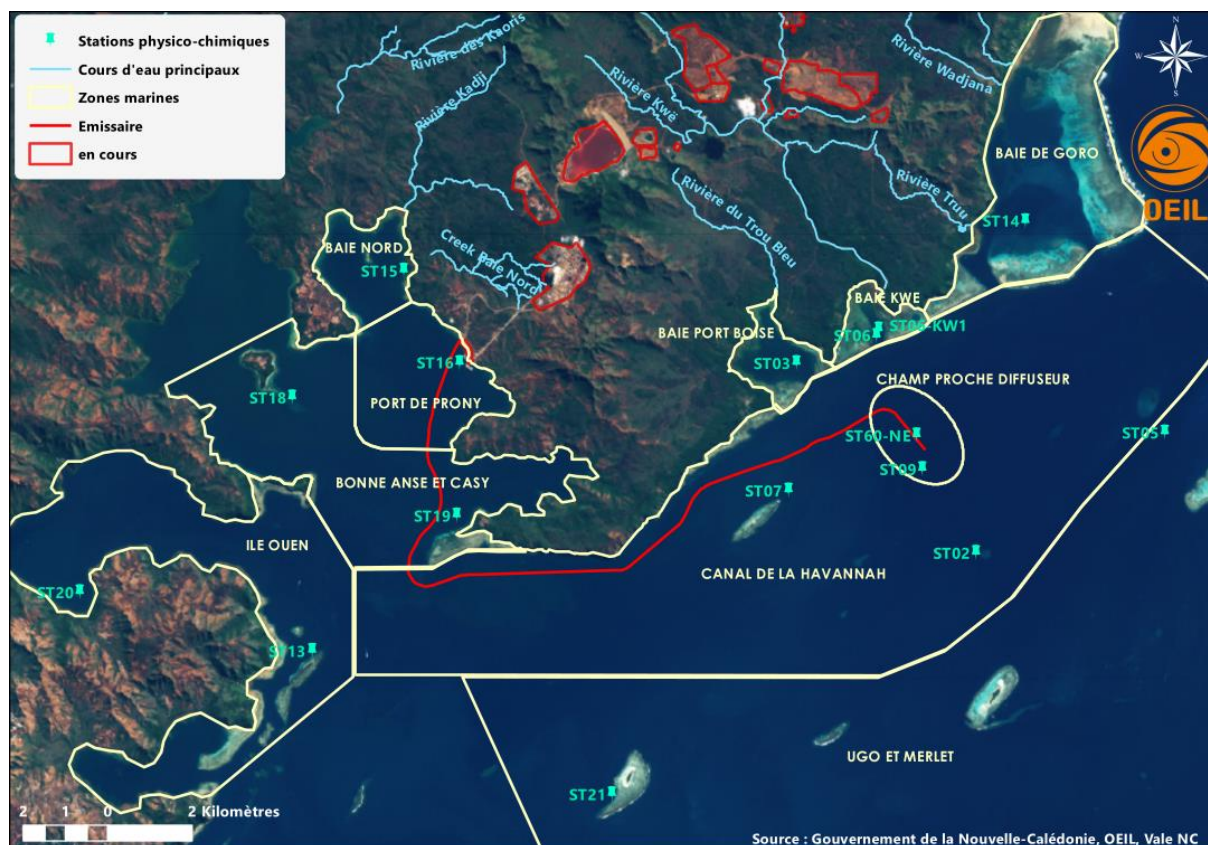


Figure 5: Carte des zones et des stations de suivi physicochimiques pour le milieu marin (source CEIL)

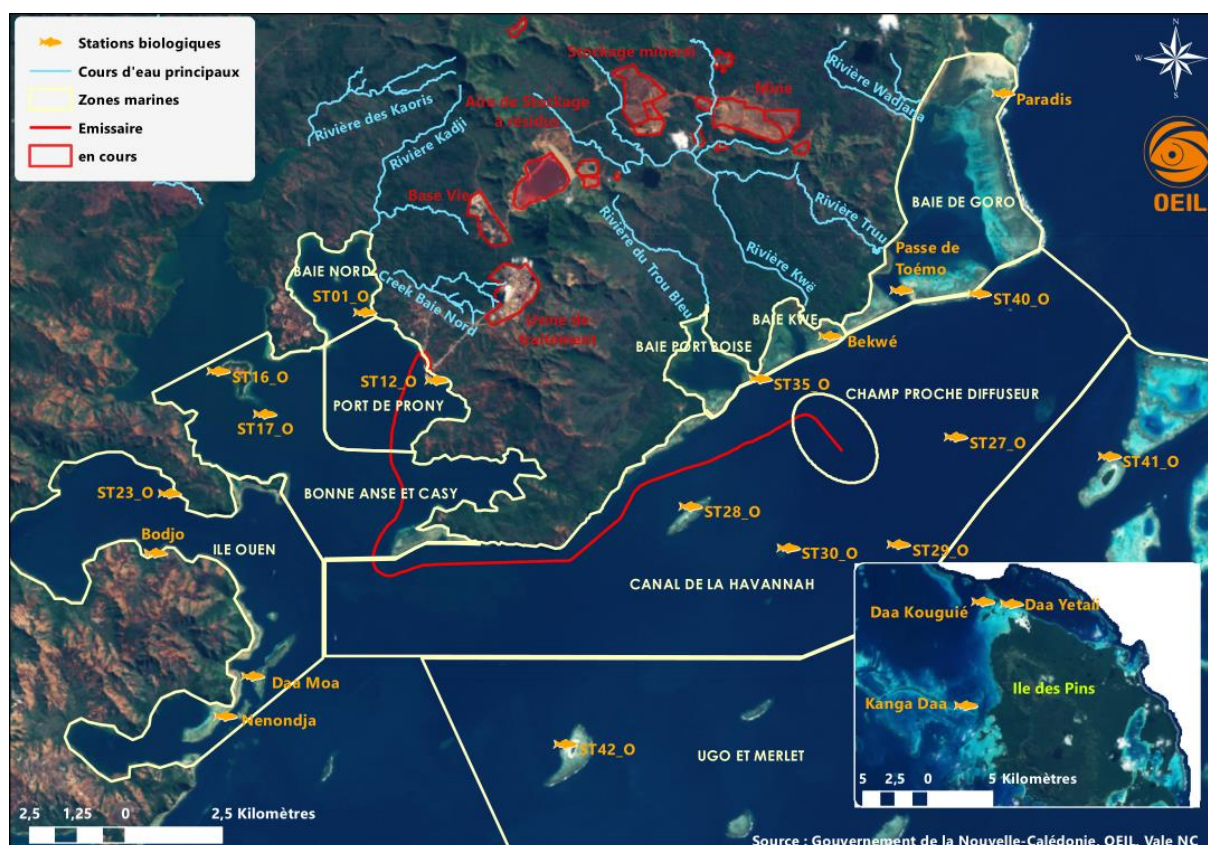


Figure 6 : Carte des zones et des stations de suivi biologiques pour le milieu marin (source CEIL)

III.3. Outils méthodologiques à disposition

III.3.1. Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie

Le guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie (Beliaeff et al., 2011), financé par le Programme Zoneco et le CNRT Le Nickel, est un document de référence adapté au contexte de la Nouvelle-Calédonie. Il recueille de nombreuses valeurs seuils qualitatives pour différents paramètres de suivi du milieu marin permettant d'évaluer l'état du milieu en regard du paramètre considéré. La méthodologie développée pour le diagnostic de l'état de santé du milieu marin dans le Grand Sud s'appuie sur des grilles de qualité lorsque les données le permettent, selon la typologie des zones considérées.

Une révision de ce guide est en cours en 2018 ; lorsqu'elles seront disponibles, les nouvelles grilles de qualité disponibles seront prises en compte en remplacement de celles du guide de 2011.

III.4. Synthèse des paramètres suivis, métriques et référentiels utilisés pour l'attribution de notes

III.4.1. Tableaux de synthèse

Les tableaux ci-dessous (Tableau 5, Tableau 6, Tableau 7, Tableau 8 et Tableau 9) synthétisent les informations suivantes :

- La nature des 41 paramètres suivis dans le milieu marin
- Leur contribution à l'état chimique ou à écologique
- Leur qualification de paramètres clé ou non
- La nature des prélèvements dans lesquels ils sont mesurés (eaux de surfaces, sédiments, flux sédimentaire ou peuplements biologiques)
- Les métriques retenues pour être comparées à un référentiel donné (gamme de référence géographique ou temporelle, valeur seuil ou grille de qualité et tendance d'évolution à moyen terme)

Type de paramètre		Nom	Symbole	Paramètre clé	Nature du prélèvement					
Etat chimique	Paramètres chimiques	Métaux dissouts ou bioaccumulés	Manganèse	Mn	Oui	E	S	M	P	
			Nickel	Ni	Oui	E	S	M	P	
			Chrome hexavalent	Cr(VI)	Oui	E				
			Chrome	Cr	Oui	E	S	M	P	
			Arsenic	As	Non	E				
			Cadmium	Cd	Non	E				
			Cobalt	Co	Oui	E	S	M	P	
			Cuivre	Cu	Oui	E				
			Fer	Fe	Oui	E	S	M	P	
			Plomb	Pb	Non	E				
			Zinc	Zn	Oui	E				
			Soufre	S	Non			M	P	
Ratio Ca/Fe	Ca/Fe	Oui			M	P				
Etat écologique	Paramètres physico-chimiques	Profil aquatique	Température	T°	Non	E				
			Turbidité	Turb.	Non	E				
			Salinité	Sal.	Non	E				
			Fluorescence	Fluor.	Non	E				
		Matière en suspension		MES	Non	E		M		
		Eléments majeurs	Chlorures	Cl ⁻	Non	E				
			Magnésium	Mg ²⁺	Non	E				
			Sodium	Na ⁺	Non	E				
			Calcium	Ca ²⁺	Non	E		M		
			Potassium	K ⁺	Non	E				
		Sulfate	SO ₄ ²⁻	Non	E					
		Sels nutritifs	Chlorophylle a		Chl.a	Oui	E			
			Nitrites	NO ₂ ⁻	Non	E				
			Nitrates	NO ₃ ⁻	Non	E				
			Ammonium	NH ₄ ⁺	Non	E				
			Phosphates	PO ₄ ³⁻	Oui	E				
		Matière organique	Carbone org. Partic.	COP	Non	E				
			Azote org. Partic.	NOP	Non	E				
			Azote org. Dissout	NOD	Non	E				
			Azote total	Nt	Oui	E				
			Phosphore org. Partic.	POP	Non	E				
			Phosphore org. Dissout	POD	Non	E				
	Phosphore total		Pt	Oui	E					
	Param. biotiques	Communauté benthique	Couverture corallienne	%CC	Non				B	
			Diversité habitats	Div.H	Non				B	
			Diversité spec. Poissons	DSp.P	Non				B	
Densité poissons			Dens. P	Non				B		
Diversité spec. Invert.			DSp. I	Non				B		
Densité invertébrés			Dens. I	Non				B		

Légende : Nature du prélèvement :

E

S

M

P

B

Eau de mer

Sédiments de surface

Flux sédimentaires

Sédiments profonds

Peuplements biologiques

Tableau 5: Paramètres suivis dans le milieu marin et nature des prélèvements pour chaque paramètre

Type de paramètre		Nom	Symbole	Paramètre clé		Référentiel "comparaison à valeur seuil ou grille de qualité"	Référentiel "comparaison à gamme de référence géographique "	Référentiel "comparaison à gamme de référence temporelle"	Référentiel "évolution temporelle de court et moyen terme"	
						Métrique retenue	Métrique retenue	Métrique retenue	Métrique retenue	
Etat chimique	Paramètres chimiques	Métaux dissouts	Manganèse	Mn	Oui	E	médiane 2015-2017	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Nickel	Ni	Oui	E	médiane 2015-2017	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Chrome hexavalent	Cr(VI)	Oui	E	médiane 2015-2017	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Chrome	Cr	Oui	E	-	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Arsenic	As	Non	E	-	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Cadmium	Cd	Non	E	-	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Cobalt	Co	Oui	E	-	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Cuivre	Cu	Oui	E	-	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Fer	Fe	Oui	E	-	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Plomb	Pb	Non	E	-	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Zinc	Zn	Oui	E	-	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
Etat écologique	Paramètres physico-chimiques	Profil aquatique	Température	T°	Non	E	-	d'après rapport	d'après rapport	d'après rapport
			Turbidité	Turb.	Non	E	-	d'après rapport	d'après rapport	d'après rapport
			Salinité	Sal.	Non	E	-	d'après rapport	d'après rapport	d'après rapport
			Fluorescence	Fluor.	Non	E	-	d'après rapport	d'après rapport	d'après rapport
		Éléments majeurs	Matière en suspension	MES	Non	E	-	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Chlorures	Cl ⁻	Non	E	-	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Magnésium	Mg ²⁺	Non	E	-	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Sodium	Na ⁺	Non	E	-	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Calcium	Ca ²⁺	Non	E	-	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Potassium	K ⁺	Non	E	-	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
		Sels nutritifs	Sulfate	SO ₄ ²⁻	Non	E	-	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Chlorophylle a	Chl.a	Oui	E	percentile 90 2015-2017	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Nitrites	NO ₂ ⁻	Non	E	-	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Nitrates	NO ₃ ⁻	Non	E	-	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Ammonium	NH ₄ ⁺	Non	E	moyenne	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Phosphates	PO ₄ ³⁻	Oui	E	moyenne	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
		Matière organique	Carbone org. Partic.	COP	Non	E	-	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Azote org. Partic.	NOP	Non	E	-	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Azote org. Dissout	NOD	Non	E	-	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Azote total	Nt	Oui	E	percentile 90 2015-2017	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Phosphore org. Partic.	POP	Non	E	-	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Phosphore org. Dissout	POD	Non	E	-	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Phosphore total	Pt	Oui	E	percentile 90 2015-2017	Ecart Moy. suivi-ref	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
Param. biotiques	Communauté benthique	Couverture corallienne	%CC	Non		B	-	-	moyenne	-écart moyenne N et N-1 - moyenne sur 5 ans glissants
		Diversité habitats	Div.H	Non		B	d'après rapport	-	-	d'après rapport
		Diversité spec. Poissons	DSp.P	Non		B	d'après rapport	-	-	d'après rapport
		Densité poissons	Dens. P	Non		B	d'après rapport	-	-	d'après rapport
		Diversité spec. Invert.	DSp. I	Non		B	d'après rapport	-	-	d'après rapport
		Densité invertébrés	Dens. I	Non		B	d'après rapport	-	-	d'après rapport
Légende : Nature du prélèvement : Eau de mer E - : pas de valeur disponible Peuplements biologiques B										

Tableau 6: Métriques et référentiels utilisés pour l'attribution des notes des paramètres mesurés dans l'eau de mer

Type de paramètre			Nom	Symbole	Paramètre clé		Référentiel "comparaison à valeur seuil ou grille de qualité"	Référentiel "comparaison à gamme de référence géographique"	Référentiel "évolution temporelle de moyen terme"
							Métrique retenue	Métrique retenue	Métrique retenue
Etat chimique	Par. Chim.	Métaux dissouts	Manganèse	Mn	Oui	S	moyenne	moyenne	moyenne sur 5 ans glissants
			Nickel	Ni	Oui	S	moyenne	moyenne	moyenne sur 5 ans glissants
			Chrome	Cr	Oui	S	moyenne	moyenne	moyenne sur 5 ans glissants
			Cobalt	Co	Oui	S	moyenne	moyenne	moyenne sur 5 ans glissants
			Fer	Fe	Oui	S	moyenne	moyenne	moyenne sur 5 ans glissants
Légende : Nature du prélèvement : Sédiments de surface S - : pas de valeur seuil disponible									

Tableau 7: Métriques et référentiels utilisés pour l'attribution des notes des paramètres mesurés dans les sédiments de surface

Type de paramètre			Nom	Symbole	Paramètre clé		Référentiel "comparaison à valeur seuil ou grille de qualité"	Référentiel "comparaison à gamme de référence temporelle"	Référentiel "comparaison à valeur de référence 2007"	Référentiel "évolution temporelle de moyen terme"
							Métrique retenue	Métrique retenue	Métrique retenue	Métrique retenue
Etat chimique	Paramètres chim.	Métaux dissouts	Manganèse	Mn	Oui	M	-	moyenne ± écart type	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Nickel	Ni	Oui	M	-	moyenne ± écart type	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Chrome	Cr	Oui	M	-	moyenne ± écart type	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Cobalt	Co	Oui	M	-	moyenne ± écart type	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Fer	Fe	Oui	M	-	moyenne ± écart type	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Soufre	S	Non	M	-	moyenne ± écart type	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Ratio Ca/Fe	Ca/Fe	Oui	M	-	moyenne ± écart type	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Matière en suspension	MES	Non	M	moyenne semestrielle	moyenne ± écart type	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
			Calcium	Ca ⁺⁺	Non	M	-	moyenne ± écart type	moyenne ± écart type	moyenne sur 5 ans glissants
Légende : Nature du prélèvement : Flux sédimentaires						M	- : pas de valeur seuil disponible			

Tableau 8: Métriques et référentiels utilisés pour l'attribution des notes des paramètres mesurés dans les flux sédimentaires

Type de paramètre			Nom	Symbole	Paramètre clé		Référentiel "comparaison à valeur seuil ou grille de qualité"	Référentiel "comparaison à gamme de référence géographique"	Référentiel "évolution temporelle de moyen terme"
							Métrique retenue	Métrique retenue	Métrique retenue
Etat chimique	Paramètres chim.	Métaux dissouts	Manganèse	Mn	Oui	P	moyenne	-	moyenne sur 5 ans glissants
			Nickel	Ni	Oui	P	moyenne	-	moyenne sur 5 ans glissants
			Chrome	Cr	Oui	P	moyenne	-	moyenne sur 5 ans glissants
			Cobalt	Co	Oui	P	moyenne	-	moyenne sur 5 ans glissants
			Fer	Fe	Oui	P	moyenne	-	moyenne sur 5 ans glissants
			Soufre	S	Non	P	-	-	moyenne sur 5 ans glissants
			Ratio Ca/Fe	Ca/Fe	Oui	P	-	-	moyenne sur 5 ans glissants
Légende : Nature du prélèvement : Sédiments profonds						P	- : pas de valeur disponible		

Tableau 9: Métriques et référentiels utilisés pour l'attribution des notes des paramètres mesurés dans les sédiments profonds

A noter que les tableaux ci-dessus synthétisent les informations présentées dans la partie qui suit intitulée « III.5. Détail par nature de prélèvement et par paramètre : des stations, fréquences de suivi, métriques et référentiels utilisés pour l'attribution de notes ».

III.4.2. Paramètres clés

Le concours de chaque paramètre suivi au score chimique ou écologique a été défini comme suit à la suite du COTEC 2 de septembre 2015. L'ensemble de ces paramètres est pris en compte dans l'attribution des scores finaux par zone, selon les règles d'agrégation décrites précédemment.

Décisions du COTEC 1 de mars 2018, concernant l'identification de **paramètres clés** :

- Les paramètres « clés » ont été désignés pour leur capacité à traduire sans ambiguïté une perturbation anthropique du milieu.
- Les paramètres indiqués comme « clés » dans le tableau font l'objet, en plus de l'évaluation commune à l'ensemble des paramètres, d'une analyse plus poussée : des tests statistiques et des représentations graphiques sont réalisés pour déterminer le caractère significatif de la comparaison aux valeurs mesurées en stations de références, et celui de l'évolution temporelle sur les 5 dernières années.
- Les paramètres physico-chimiques clés entrent par ailleurs en considération dans l'attribution du score écologique, y compris en l'absence de données biologiques, sous réserve qu'un minimum de 3 de ces paramètres clés soit renseigné pour l'année considérée.

III.4.3. Métriques utilisées

Pour les paramètres chimiques et physico-chimiques des **eaux de surface**, les métriques calculées sont :

- Selon les paramètres considérés, la médiane calculée à partir des données des 3 dernières années, le percentile 90 calculé à partir des données des 3 dernières années ou la moyenne, à comparer aux valeurs seuils des grilles de qualité issues du programme ZONECO
- Le nombre de campagnes où l'écart entre la moyenne de la station de suivi et sa station de référence dépasse le percentile 90 de sa gamme de référence géographique, à comparer aux valeurs seuil d'une grille de qualité (Tableau 10)
- Le nombre de campagnes où la moyenne de la station (hors influence) dépasse le percentile 90 de sa gamme de référence temporelle, à comparer aux valeurs seuil d'une grille de qualité (Tableau 11)
- Les moyennes des 5 dernières années, afin d'évaluer leur évolution au cours du temps

Nbre de campagnes où l'écart entre moyennes station suivi et station ref > Per90 gamme de ref géographique	Note
0	Bon
1	Moyen
2	Mauvais

Tableau 10: Grille de qualité pour l'attribution d'une note au critère « comparaison à la gamme de référence géographique »

Nbre de campagnes où la moyenne de la station (hors influence) > Per90 gamme de ref temporelle	Note
0	Bon
1	Moyen
2	Mauvais

Tableau 11: Grille de qualité pour l'attribution d'une note au critère « comparaison à la gamme de référence temporelle »

Pour les paramètres chimiques des **sédiments de surface**, les métriques calculées sont :

- La moyenne, à comparer aux valeurs seuils des grilles de qualité issues du programme ZONECO
- La moyenne, à comparer aux valeurs de la gamme de référence géographique
- Les moyennes des 5 dernières campagnes, afin d'évaluer leur évolution au cours du temps

Pour les paramètres chimiques des **flux sédimentaires**, les métriques calculées sont :

- La moyenne, à comparer aux valeurs seuils des grilles de qualité issues du programme ZONECO
- Le nombre de campagnes où la moyenne de la station de suivi dépasse le percentile 90 de sa gamme de référence temporelle, à comparer aux valeurs seuil d'une grille de qualité (Tableau 11)
- La moyenne $\pm$ écart type, à comparer aux valeurs de références (2006-2007), mesurées avant la mise en activité de l'usine de Vale (2009)
- Les moyennes des 5 dernières campagnes, afin d'évaluer leur évolution au cours du temps

Pour les paramètres chimiques des **sédiments profonds**, les métriques calculées sont :

- La moyenne, à comparer aux valeurs seuils des grilles de qualité issues du programme ZONECO
- Les moyennes des 5 dernières années, afin d'évaluer leur évolution au cours du temps

L'ensemble de ces informations est synthétisé dans les tableaux suivants :Tableau 6, Tableau 7, Tableau 8 et Tableau 9.

III.4.4. Calcul des gammes de référence géographique

Avant toute chose, il est nécessaire de tenir compte du fonctionnement des zones étudiées pour constituer les gammes de référence géographique des différents paramètres. En effet, une station de suivi donnée ne pourra être comparée qu'à des stations de référence de même typologie. Ainsi, des paires de stations de suivi/station de référence ont été constituées comme indiqué dans le Tableau 4.

Pour construire les 4 gammes de référence géographique associées aux 4 stations de suivi, on calcule, pour chaque campagne prise séparément, les écarts entre la moyenne de la station de suivi et la moyenne de sa station de référence sur la période antérieure à 2016. Ensuite, à partir de ces données, on calcule pour chaque campagne les percentiles 90 de la gamme de référence géographique.

III.4.5. Calcul des gammes de référence temporelle

Pour construire les 10 gammes de référence temporelle associées aux 10 stations hors d'influence (Tableau 4), on calcule, pour chaque campagne prise séparément, les moyennes sur la période antérieure à 2016. Ensuite, à partir de ces données, on calcule pour chaque campagne les percentile 90 de la gamme de référence temporelle.

III.5. Détail par nature de prélèvement et par paramètre : des stations, fréquences de suivi, métriques et référentiels utilisés pour l'attribution de notes

III.5.1. Prélèvements d'eau

Stations et fréquences de suivi

Des prélèvements d'eaux sont effectués sur 14 stations réparties dans 10 zones, dont 4 stations de suivi (ST06, ST09, ST15 et ST16), leurs stations de référence respectives (ST03, ST05, ST19 et ST18), et 6 autres stations hors zone d'influence des activités industrielles et minières (Tableau 4 et Figure 7). La fréquence de prélèvement est semestrielle, à l'exception des stations ST15 et ST16 qui sont échantillonnées trimestriellement (seuls quelques paramètres sont mesurés dans les 2 prélèvements annuels supplémentaires sur ces stations).

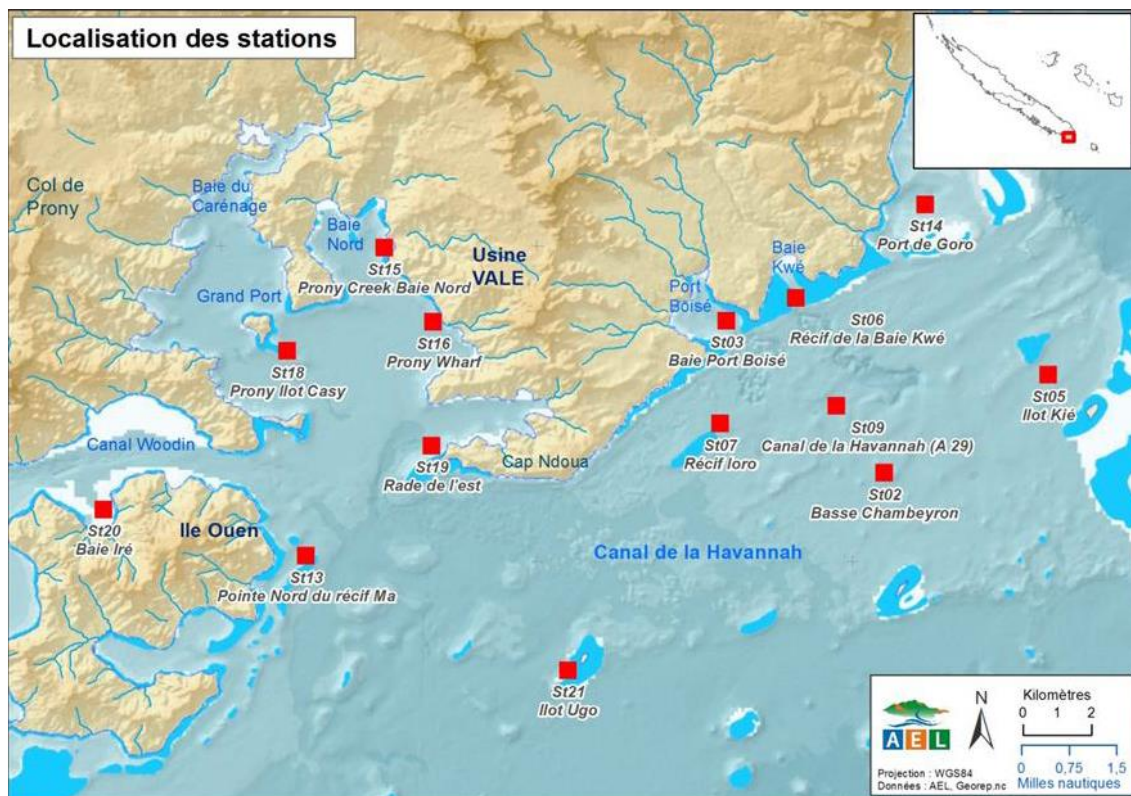


Figure 7: Carte des stations de suivi avec prélèvement d'eau de mer (source Vale-NC)

Protocole de suivi

Les conditions hydro-climatiques précédant et durant la campagne de prélèvement sont relevées pour servir à l'interprétation des résultats.

Les prélèvements d'eaux sont réalisés à bord d'un bateau au niveau du point de référence de la station, à 3 profondeurs différentes (surface, mi-profondeur et fond) afin de déterminer la distribution des paramètres au niveau de la colonne d'eau.

Les prélèvements sont réalisés avec précaution pour éviter toute contamination, à l'aide de flacons :

- « General Océanics modèle Go-Flo », adaptés au dosage des métaux et des hydrocarbures
- « Niskin » : adaptés au dosage des autres paramètres (éléments majeurs, sels nutritifs, matière organique...)

Les paramètres chimiques sont ensuite dosés sur le terrain (dans le cas où ils sont non conservables) ou en laboratoire, selon des méthodes normées et limites de quantification (LQ) qui leurs sont propres.

III.5.1.a. Métaux dissouts : manganèse (Mn), nickel (Ni), et chrome hexavalent (Cr VI)

Gamme de référence géographique

La comparaison entre les valeurs mesurées en stations de suivi et leurs stations de référence respectives est réalisée à l'aide de tests statistiques prenant en compte la structure des données. Un score Bon ou Mauvais est attribué pour ce critère selon le caractère significatif du dépassement de la gamme de référence.

Gamme de référence temporelle

Le nombre de campagnes où la moyenne de la station hors influence dépasse le percentile 90 de sa gamme de référence temporelle est calculé, puis confronté aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 11). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué selon les résultats donnés par la grille de qualité.

Valeurs seuil

Les concentrations en **manganèse, nickel et chrome VI** mesurées dans les 14 stations sont évaluées suivant les **valeurs seuils disponibles** dans le guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie, produit par le Programme Zoneco et CNRT Le Nickel (Beliaeff et al., 2011).

La métrique comparée à ces grilles de référence (Tableau 6) est une médiane par station calculée sur les 3 dernières années à partir de l'ensemble des données disponibles, soit jusqu'à 18 valeurs (3 profondeurs x 2 campagnes annuelles x 3 ans).

Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué pour ce critère sur la base de la confrontation aux grilles de qualité (Tableau 12).

Grille de notation de référence ZONECO :				Grille de notation de référence ZONECO :				Grille de notation de référence ZONECO :			
Situation	Mn (µg/L)	Perturbation	Classe	Situation	Ni (µg/L)	Perturbation	Classe	Situation	Cr VI (µg/L)	Perturbation	Classe
Littoral	< 0,35	Nulle	Bon	Littoral	< 0,40	Nulle	Bon	Littoral	< 0,25	Nulle	Bon
	0,35 - 0,80	Modérée	Moyen		0,40 - 0,75	Modérée	Moyen		0,25 - 0,60	Modérée	Moyen
	≥ 0,80	Forte	Mauvais		≥ 0,75	Forte	Mauvais		≥ 0,60	Forte	Mauvais
Côtier	< 0,25	Nulle	Bon	Côtier	< 0,30	Nulle	Bon	Côtier	< 0,20	Nulle	Bon
	0,25 - 0,50	Modérée	Moyen		0,30 - 0,50	Modérée	Moyen		0,20 - 0,30	Modérée	Moyen
	≥ 0,50	Forte	Mauvais		≥ 0,50	Forte	Mauvais		≥ 0,30	Forte	Mauvais
Océanique	< 0,10	Nulle	Bon	Océanique	< 0,15	Nulle	Bon	Océanique	< 0,15	Nulle	Bon
	0,10 - 0,20	Modérée	Moyen		0,15 - 0,20	Modérée	Moyen		0,15 - 0,20	Modérée	Moyen
	≥ 0,20	Forte	Mauvais		≥ 0,20	Forte	Mauvais		≥ 0,20	Forte	Mauvais

Tableau 12: Grilles de notation de référence ZONECO des paramètres « manganèse », « nickel » et « chrome VI » dissouts

Evolution temporelle à moyen terme

L'évolution dans le temps des moyennes annuelles des concentrations en manganèse, nickel et chrome VI mesurées dans les 14 stations est analysée à l'aide d'un test statistique prenant en compte la structure des données.

Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon le caractère significatif de la tendance à la dégradation pour l'année considérée. Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

III.5.1.b. Autres métaux (Co, Cr, Cu, Zn, Fe, Pb, As, Cd, S)

Gamme de référence géographique

Pour les paramètres clés (Cr, Co, Cu, Fe, Zn), la comparaison entre les valeurs mesurées en stations de suivi et leurs stations de référence respectives est réalisée à l'aide de tests statistiques prenant en compte la structure des données. Un score Bon ou Mauvais est attribué pour ce critère selon le caractère significatif du dépassement de la gamme de référence.

Pour les autres paramètres (As, Cd, Pb, S), le nombre de campagnes où l'écart entre la moyenne de la station de suivi et sa station de référence dépasse le percentile 90 de sa gamme de référence géographique est calculé, puis confronté aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 10). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué selon les résultats donnés par la grille de qualité.

Gamme de référence temporelle

Le nombre de campagnes où la moyenne de la station hors influence dépasse le percentile 90 de sa gamme de référence temporelle est calculé, puis confronté aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 11). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué selon les résultats donnés par la grille de qualité.

Valeurs seuil

Il n'existe **pas de valeurs seuils** disponibles dans le guide Zoneco-CNRT pour les concentrations en **chrome total, arsenic, cadmium, cobalt, cuivre, fer, plomb et zinc dissouts** (Beliaeff et al., 2011). Aucun score n'est donc attribué aux stations sur la base de ce critère.

Evolution temporelle à moyen terme

Pour les paramètres clés (Cr, Co, Cu, Fe, Zn), l'évolution temporelle est analysée sur 5 à l'aide de tests statistiques prenant en compte la structure des données. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon le caractère significatif de la tendance à la dégradation.

Pour les autres paramètres (As, Cd, Pb, S), l'évolution temporelle des moyennes annuelles sur 5 ans est estimée de façon qualitative. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon la tendance observée à la stabilité, l'amélioration ou la dégradation.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

III.5.1.c. Matières en suspensions dans l'eau (MES)

Gamme de référence géographique

Le nombre de campagnes où l'écart entre la moyenne de la station de suivi et sa station de référence dépasse le percentile 90 de sa gamme de référence géographique est calculé, puis confronté aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 10). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué selon les résultats donnés par la grille de qualité.

Gamme de référence temporelle

Le nombre de campagnes où la moyenne de la station hors influence dépasse le percentile 90 de sa gamme de référence temporelle est calculé, puis confronté aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 11). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué selon les résultats donnés par la grille de qualité.

Valeurs seuil

Il n'existe **pas de valeurs seuils** disponibles dans le guide Zoneco-CNRT pour les concentrations en **MES** (Beliaeff et al., 2011). Aucun score n'est donc attribué aux stations sur la base de ce critère.

Evolution temporelle à moyen terme

L'évolution temporelle des moyennes annuelles sur 5 ans est estimée de façon qualitative. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon la tendance observée à la stabilité, l'amélioration ou la dégradation.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

III.5.1.d. Eléments majeurs (Ca^{2+} , Cl^- , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-})

Gamme de référence géographique

Le nombre de campagnes où l'écart entre la moyenne de la station de suivi et sa station de référence dépasse le percentile 90 de sa gamme de référence géographique est calculé, puis confronté aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 10). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué selon les résultats donnés par la grille de qualité.

Gamme de référence temporelle

Le nombre de campagnes où la moyenne de la station hors influence dépasse le percentile 90 de sa gamme de référence temporelle est calculé, puis confronté aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 11). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué selon les résultats donnés par la grille de qualité.

Valeurs seuil

Il n'existe **pas de valeurs seuils** disponibles dans le guide Zoneco-CNRT pour les concentrations en ions **calcium, chlorure, potassium, magnésium, sodium et sulfate** (Beliaeff et al., 2011). Aucun score n'est donc attribué aux stations sur la base de ce critère.

Evolution temporelle à moyen terme

L'évolution temporelle des moyennes annuelles sur 5 ans des concentrations en ions calcium, chlorure, potassium, magnésium, sodium et sulfate mesurées dans les 14 stations est estimée de façon qualitative. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon la tendance observée à la stabilité, l'amélioration ou la dégradation.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

III.5.1.e. Chlorophylle a

Gamme de référence géographique

La comparaison entre les valeurs mesurées en stations de suivi et leurs stations de référence respectives est réalisée à l'aide de tests statistiques prenant en compte la structure des données. Un score Bon ou Mauvais est attribué pour ce critère selon le caractère significatif du dépassement de la gamme de référence.

Gamme de référence temporelle

Le nombre de campagnes où la moyenne de la station hors influence dépasse le percentile 90 de sa gamme de référence temporelle est calculé, puis confronté aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 11). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué selon les résultats donnés par la grille de qualité.

Valeurs seuil

Les concentrations en **chlorophylle a** mesurées dans les 14 stations sont évaluées suivant les **valeurs seuils disponibles** dans le guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie, produit par le Programme Zoneco et CNRT Le Nickel (Beliaeff et al., 2011). La métrique comparée à ces grilles de référence (Tableau 6) est le percentile 90 par station calculé sur les 3 dernières années à partir de

l'ensemble des données disponibles, soit jusqu'à 18 valeurs (3 profondeurs x 2 campagnes annuelles x 3 ans). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué pour ce critère sur la base de la confrontation aux grilles de qualité (Tableau 13).

Grille de notation de référence ZONECO :		
Situation	Chl. a (µg/L)	Classe
Littoral	< 1,5	Bon
	1,5 - 5,0	Moyen
	≥ 5,0	Mauvais
Côtier	< 1,0	Bon
	1,0 - 2,0	Moyen
	≥ 2,0	Mauvais
Océanique	< 0,3	Bon
	0,3 - 0,5	Moyen
	≥ 0,5	Mauvais

Tableau 13: Grille de notation de référence ZONECO du paramètre « chlorophylle a »

Evolution temporelle à moyen terme

L'évolution temporelle des concentrations en chlorophylle *a* est analysée sur 5 ans à l'aide de tests statistiques prenant en compte la structure des données. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon le caractère significatif de la tendance à la dégradation.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

III.5.1.f. Sels nutritifs ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3$, NH_4^+ et PO_4^{3-})

Gamme de référence géographique

Pour les paramètres clés (NH_4^+ et PO_4^{3-}), la comparaison entre les valeurs mesurées en stations de suivi et leurs stations de référence respectives est réalisée à l'aide de tests statistiques prenant en compte la structure des données. Un score Bon ou Mauvais est attribué pour ce critère selon le caractère significatif du dépassement de la gamme de référence.

Pour les autres paramètres ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3$), le nombre de campagnes où l'écart entre la moyenne de la station de suivi et sa station de référence dépasse le percentile 90 de sa gamme de référence géographique est calculé, puis confronté aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 10). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué selon les résultats donnés par la grille de qualité.

Gamme de référence temporelle

Le nombre de campagnes où la moyenne de la station hors influence dépasse le percentile 90 de sa gamme de référence temporelle est calculé, puis confronté aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 11). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué selon les résultats donnés par la grille de qualité.

Valeurs seuil

Les concentrations en **ions ammonium et ortho-phosphate** mesurées dans les 14 stations sont évaluées suivant les **valeurs seuils disponibles** dans le guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie, produit par le Programme Zoneco et CNRT Le Nickel (Beliaeff et al., 2011). La métrique comparée à ces grilles de référence (Tableau 6) est la moyenne annuelle par station calculée sur les 3 dernières années à partir de l'ensemble des données disponibles, soit jusqu'à 18 valeurs (3 profondeurs x 2 campagnes annuelles x 3 ans). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué pour ce critère sur la base de la confrontation aux grilles de qualité (Tableau 14).

Grille de notation de référence ZONECO :			Grille de notation de référence ZONECO :		
Situation	NH4 ⁺ (μmol/L)	Classe	Situation	PO4 (μmol/L)	Classe
Littoral	< 0,5	Bon	Littoral	< 0,5	Bon
	0,5 - 1,0	Moyen		0,5 - 2,0	Moyen
	≥ 1,0	Mauvais		≥ 2,0	Mauvais
Côtier	< 0,3	Bon	Côtier	< 0,3	Bon
	0,3 - 0,7	Moyen		0,3 - 1,0	Moyen
	≥ 0,7	Mauvais		≥ 1,0	Mauvais
Océanique	< 0,2	Bon	Océanique	< 0,1	Bon
	0,2 - 0,5	Moyen		0,1 - 0,2	Moyen
	≥ 0,5	Mauvais		≥ 0,2	Mauvais

Tableau 14: Grilles de notation de référence ZONECO des paramètres « ions ammonium » et « ortho-phosphate »

Il n'existe **pas de valeurs seuils** disponibles dans le guide Zoneco-CNRT pour les concentrations en **nitrite + nitrate** (Beliaeff et al., 2011). Aucun score n'est donc attribué aux stations sur la base de ce critère pour le paramètre NO₂+NO₃.

Evolution temporelle à moyen terme

Pour les paramètres clés (NH₄⁺ et PO₄³⁻), l'évolution temporelle est analysée sur 5 ans à l'aide de tests statistiques prenant en compte la structure des données. Un score Bon ou Mauvais est attribué pour ce critère selon le caractère significatif de la tendance à la dégradation.

Pour les autres paramètres (NO₂+NO₃), l'évolution temporelle des moyennes annuelles sur 5 ans est estimée de façon qualitative. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon la tendance observée à la stabilité, l'amélioration ou la dégradation.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

III.5.1.g. Matière organique (COP, NOP, NOD, POD, POP, Nt et Pt)

Gamme de référence géographique

Pour les paramètres clés (Nt et Pt), la comparaison entre les valeurs mesurées en stations de suivi et leurs stations de référence respectives est réalisée à l'aide de tests statistiques prenant en compte la structure des données. Un score Bon ou Mauvais est attribué pour ce critère selon le caractère significatif du dépassement de la gamme de référence.

Pour les autres paramètres (COP, NOP, NOD, POD, POP), le nombre de campagnes où l'écart entre la moyenne de la station de suivi et sa station de référence dépasse le percentile 90 de sa gamme de référence géographique est calculé, puis confronté aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 10). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué selon les résultats donnés par la grille de qualité.

Gamme de référence temporelle

Le nombre de campagnes où la moyenne de la station hors influence dépasse le percentile 90 de sa gamme de référence temporelle est calculé, puis confronté aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 11). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué selon les résultats donnés par la grille de qualité.

Valeurs seuil

Les concentrations en **azote et phosphore total**, mesurées dans les 14 stations sont évaluées suivant les **valeurs seuils disponibles** dans le guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie, produit par le Programme Zoneco et CNRT Le Nickel (Beliaeff et al., 2011).

La métrique comparée à ces grilles de référence (Tableau 6) est le percentile 90 par station calculé sur les 3 dernières années à partir de l'ensemble des données disponibles, soit jusqu'à 18 valeurs (3 profondeurs x 2 campagnes annuelles x 3 ans). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué pour ce critère sur la base de la confrontation aux grilles de qualité (Tableau 15).

Grille de notation de référence ZONECO :			Grille de notation de référence ZONECO :		
Situation	Nt (µmol/L)	Classe	Situation	Pt (µmol/L)	Classe
Littoral	< 20	Bon	Littoral	< 3	Bon
	20 - 50	Moyen		3 - 6	Moyen
	≥ 50	Mauvais		≥ 6	Mauvais
Côtier	< 5	Bon	Côtier	< 1	Bon
	5 - 10	Moyen		1 - 2	Moyen
	≥ 10	Mauvais		≥ 2	Mauvais
Océanique	< 1,5	Bon	Océanique	< 0,5	Bon
	1,5 - 3	Moyen		0,5 - 1	Moyen
	≥ 3	Mauvais		≥ 1	Mauvais

Tableau 15: Grilles de notation de référence ZONECO des paramètres « azote » et « phosphore » total

Il n'existe **pas de valeur seuil** disponible dans le guide Zoneco-CNRT pour les concentrations en **carbone, azote et phosphore organiques particuliers ou dissouts** (Beliaeff et al., 2011). Aucun score n'est donc attribué aux stations sur la base de ce critère pour les paramètres COP, NOP, NOD, POD, et POP.

Evolution temporelle à moyen terme

Pour les paramètres clés (Nt et Pt), l'évolution temporelle est analysée sur 5 ans à l'aide de tests statistiques prenant en compte la structure des données. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon le caractère significatif de la tendance à la dégradation.

Pour les autres paramètres (COP, NOP, NOD, POD, POP), l'évolution temporelle des moyennes annuelles sur 5 ans est estimée de façon qualitative. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon la tendance observée à la stabilité, l'amélioration ou la dégradation.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

III.5.2. Structure de la colonne d'eau : profils verticaux (température, turbidité, fluorescence, salinité)

Stations et fréquence de suivi

La structure de la colonne d'eau est évaluée simultanément aux prélèvements d'eau, sur les 14 stations réparties dans 10 zones (Tableau 4). La fréquence de suivi de la colonne d'eau est donc également semestrielle.

Protocole de suivi :

La structure de la colonne d'eau est évaluée à l'aide d'une sonde multiparamétrique (CTD).

Attribution d'une note pour les profils verticaux

Il n'existe pas de valeurs seuils disponibles dans le guide Zoneco-CNRT pour la température, la fluorescence, la turbidité (NTU) et la salinité (‰) (Beliaeff et al., 2011). L'attribution des notes par zone est basée sur les conclusions des rapports semestriels de Vale.

III.5.3. Pièges à sédiments : flux de particules

Stations et fréquence de suivi

Des pièges à sédiments sont disposés sur 3 stations de suivis réparties dans 3 zones (Tableau 4 et Figure 8). Les godets de prélèvement sont laissés en place environ 1 mois et demi avec un pas de temps de prélèvement de 4 jours, soit 12 échantillons de matériel particulaire récoltés semestriellement par station.



Figure 8: Carte des stations de suivi avec prélèvement de flux de particules (source Vale-NC)

Protocole de suivi

Les particules sédimentaires sont collectées à l'aide de pièges à particules séquentiels constitués de 12 godets, placés à une profondeur de 3 m au-dessus du fond.

En fin de période d'échantillonnage, les 12 prélèvements font l'objet d'analyses en laboratoire au niveau de leur « fraction fine », afin de déterminer leurs teneurs en métaux (Mn, Ni, Co, Cr, Fe) et en Ca^{2+} .

La saison pouvant impacter les résultats, l'analyse des données se fera pour la saison chaude d'une part (16 novembre au 15 mai), et la saison fraîche (16 mai au 15 novembre) d'autre part.

III.5.3.a. Flux particulaires

Gamme de référence temporelle

Le nombre de campagnes où la moyenne de la station hors influence dépasse le percentile 90 de sa gamme de référence temporelle est calculé, puis confronté aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 11). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué selon les résultats donnés par la grille de qualité.

Valeur de référence 2007

Les moyennes semestrielles des concentrations en matières en suspension mesurées en stations de suivi sont comparées aux moyennes semestrielles des valeurs mesurées au cours de leur saison de référence respective (saison chaude ou fraîche de 2006-2007) avant la mise en activité de l'usine de Vale (2009) et la

montée en puissance de la production de minerai (à partir de 2010) dans le cadre de la convention IRD/Goro-Ni n° 1230 sur « l'Etat de référence » des densités de flux verticaux de particules déterminées pour le Canal de la Havannah, la Rade Nord et la Baie Kwé en 2007 (Fernandez et al., 2007).

Un score Bon est attribué lorsque la moyenne $\pm$ écart type en station de suivi est inférieure ou égale à celle de sa station de référence, Mauvais lorsque la moyenne $\pm$ écart type est strictement supérieure à celle de sa station de référence.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

Valeurs seuil

Les flux particuliers, mesurés dans les 3 stations sont évalués suivant les **valeurs seuils disponibles** dans le guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie, produit par le Programme Zoneco et CNRT Le Nickel (Beliaeff et al., 2011).

La métrique comparée à ces grilles de référence (Tableau 8) est la moyenne semestrielle calculée à partir de l'ensemble des données disponibles. Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué pour ce critère sur la base de la confrontation aux grilles de qualité (Tableau 16).

Grille de notation de référence ZONECO :			
Flux particuliers (g/m2/j)			
Situation	Saison sèche	S. humide	Classe
Littoral	< 1	< 1,6	Bon
	1 - 1,6	1,6 - 3	Moyen
	> 1,6	> 3	Mauvais
Côtier	< 14,6	< 46,1	Bon
	14,6 - 22	46,1 - 89,2	Moyen
	> 22	> 89,2	Mauvais
Océanique	< 35,9		Bon
	35,9 - 89,2		Moyen
	> 89,2		Mauvais

Tableau 16: Grilles de notation de référence ZONECO du paramètre « flux particuliers »

Evolution temporelle à moyen terme

L'évolution temporelle sur 5 ans des moyennes semestrielles des concentrations en MES mesurées dans les 3 stations est estimée de façon qualitative. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon la tendance observée à la stabilité, l'amélioration ou la dégradation.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

III.5.3.b. Composition géochimique des flux de particules (Mn, Ni, Co, Cr, Fe, S, ratio Ca/Fe et Ca^{2+})

Gamme de référence temporelle

Le nombre de campagnes où la moyenne de la station hors influence dépasse le percentile 90 de sa gamme de référence temporelle est calculé, puis confronté aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 11). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué selon les résultats donnés par la grille de qualité.

Valeur de référence 2007

Les moyennes semestrielles des concentrations en cobalt, chrome, fer, manganèse, nickel, soufre, ratio Ca/Fe et Ca^{2+} , mesurées en stations de suivi sont comparées aux moyennes semestrielles des valeurs mesurées lors de leur saison de référence respective (saison chaude ou fraîche de 2006-2007) avant la mise

en activité de l'usine de Vale (2009) et la montée en puissance de la production de minerai (à partir de 2010) dans le cadre de la convention IRD/Goro-Ni n° 1230 sur « l'Etat de référence » des densités de flux verticaux de particules déterminées pour le Canal de la Havannah, la Rade Nord et la Baie Kwé en 2007 (Fernandez et al., 2007).

Pour les paramètres clés (Mn, Ni, Cr, Co, Fe, Ca/Fe), cette comparaison est réalisée à l'aide de tests statistiques prenant en compte la structure des données. Un score Bon ou Mauvais est attribué pour ce critère selon le caractère significatif du dépassement de la gamme de référence.

Pour les autres paramètres (S), cette comparaison se base sur la confrontation des moyennes semestrielles. Un score Bon est attribué lorsque la moyenne $\pm$ écart type en station de suivi est inférieure ou égale à celle de sa station de référence, Mauvais lorsque la moyenne $\pm$ écart type est strictement supérieure à celle de sa station de référence.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

Valeurs seuil

Il n'existe **pas de valeurs seuils** dans le guide ZONECO/CNRT pour la **composition géochimique de la matière en suspension** issue des pièges à sédiments (Beliaeff et al., 2011). Aucun score n'est attribué pour ce critère.

Evolution temporelle à moyen terme

Pour les paramètres clés (Mn, Ni, Cr, Co, Fe, Ca/Fe), l'évolution temporelle est analysée sur 5 ans à l'aide de tests statistiques prenant en compte la structure des données. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon le caractère significatif de la tendance à la dégradation.

Pour les autres paramètres (S), l'évolution temporelle des moyennes semestrielles sur 5 ans est estimée de façon qualitative. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon la tendance observée à la stabilité, l'amélioration ou la dégradation.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

III.5.4. Prélèvements de sédiments de surface :

Stations et fréquence de suivi

Le prélèvement des sédiments de surface par benne est effectué tous les 3 ans depuis 2006 sur 11 stations de prélèvement d'eau, et annuellement sur la station ST16 (Tableau 4 et Figure 7).

Protocole de suivi

Les sédiments de surface sont collectés à l'aide d'une benne Van-Venne sur les 4 premiers centimètres.

Les prélèvements sont ensuite analysés en laboratoire afin de déterminer leurs concentrations totales en métaux lourds.

III.5.4.a. Composition géochimique des sédiments de surface (Co, Cr, Fe, Mn et Ni)

Gamme de référence géographique

Les valeurs annuelles des concentrations en cobalt, chrome, fer, manganèse et nickel mesurées en stations de suivi sont comparées aux valeurs mesurées dans leurs stations de référence respectives, à l'aide de tests statistiques prenant en compte la structure des données. Un score Bon ou Mauvais est attribué pour ce critère selon le caractère significatif du dépassement de la gamme de référence.

Valeurs seuil

Les concentrations **en cobalt, chrome, fer, manganèse et nickel** mesurées dans les 14 stations sont évaluées suivant les **valeurs seuils disponibles** dans le guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie, produit par le Programme Zonéco et CNRT Le Nickel (Beliaeff et al., 2011). La métrique comparée à ces grilles de référence (Tableau 7) est la moyenne annuelle par station calculée à partir de l'ensemble des données disponibles. Un score Très bon, Bon, Moyen ou Mauvais est attribué pour ce critère sur la base de la confrontation aux grilles de qualité (Tableau 17).

Grille de notation de référence ZONECO :		Grille de notation de référence ZONECO :		Grille de notation de référence ZONECO :		Grille de notation de référence ZONECO :		Grille de notation de référence ZONECO :	
Mn (mg/kg)	Classe	Ni (mg/kg)	Classe	Cr (mg/kg)	Classe	Co (mg/kg)	Classe	Fe (mg/kg)	Classe
< 1580	Très bon	< 1800	Très bon	< 5300	Très bon	< 170	Très bon	< 120000	Très bon
1580 - 1750	Bon	1800 - 2830	Bon	5300 - 11300	Bon	170 - 185	Bon	120000 - 270000	Bon
> 1750	Moyen	> 2830	Moyen	> 11300	Moyen	> 185	Moyen	> 270000	Moyen
>>> 1750	Mauvais	>>> 2830	Mauvais	>>> 11300	Mauvais	>>> 185	Mauvais	>>> 270000	Mauvais

Tableau 17: Grilles de notation de référence ZONECO des paramètres « cobalt », « chrome », « fer », « manganèse » et « nickel »

Evolution temporelle à moyen terme

L'évolution temporelle des concentrations en cobalt, chrome, fer, manganèse et nickel mesurées dans les 14 stations est analysée sur 5 ans à l'aide de tests statistiques prenant en compte la structure des données. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon le caractère significatif de la tendance à la dégradation.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

III.5.5. Prélèvements de sédiments par carottage

Stations et fréquence de suivi

Des prélèvements de sédiments profonds par carottage sont effectués annuellement sur la station ST16 au droit du Port (Tableau 4 et Figure 9).

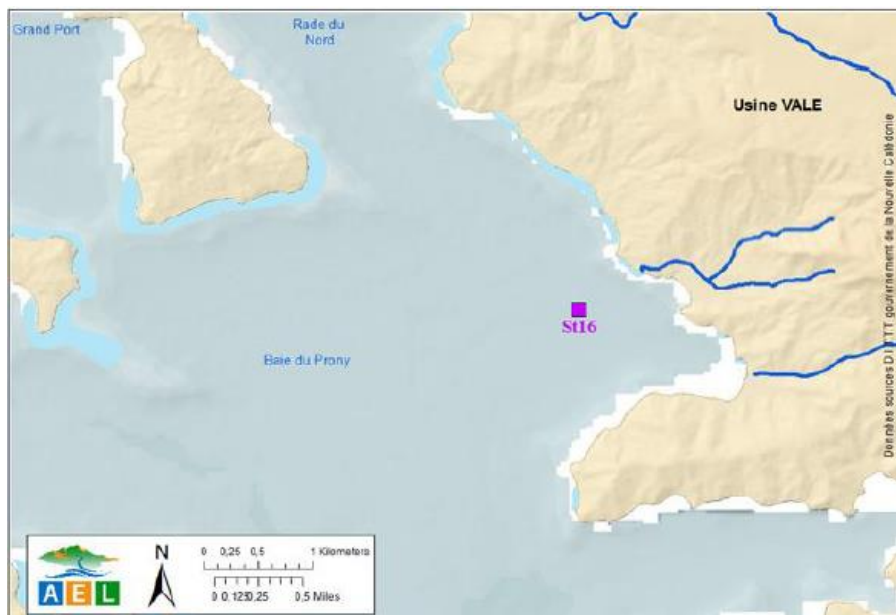


Figure 9: Carte des stations de suivi avec prélèvement de sédiments profonds (source Vale-NC)

Protocole de suivi

Les prélèvements de carottes sont réalisés à l'aide d'un carottier conçu pour les faibles profondeurs (inf à 50m). Après extraction, les carottes sont découpées en horizon de 1 cm d'épaisseur.

Les 4 cm de la carotte appartenant aux horizons de surfaces vont ensuite faire l'objet d'analyses en laboratoire au niveau de leur fraction fine, afin de déterminer leurs teneurs en métaux lourds, en soufre et en Ca^{2+} .

III.5.5.a. Composition géochimique des sédiments profonds (Co, Cr, Fe, Mn, Ni, S et ratio Ca/Fe)

Gamme de référence géographique

Aucune donnée de référence spatiale ou temporelle n'est disponible pour y comparer les moyennes annuelles des concentrations en cobalt, chrome, fer, manganèse, nickel et soufre mesurées en stations de suivi. Aucun score n'est donc attribué à la station sur la base de ce critère.

Valeurs seuil

Les concentrations en **cobalt, chrome, fer, manganèse et nickel** mesurées en station ST16 sont évaluées suivant les **valeurs seuils disponibles** dans le guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie, produit par le Programme Zonéco et CNRT Le Nickel (Beliaeff et al., 2011).

La métrique comparée à ces grilles de référence (Tableau 9) est la moyenne annuelle calculée à partir de l'ensemble des données disponibles. Un score Très bon, Bon, Moyen ou Mauvais est attribué pour ce critère sur la base de la confrontation aux grilles de qualité, qui sont les mêmes que celles des sédiments de surface (Tableau 17).

Il n'existe **pas de valeurs seuils** disponibles dans le guide Zonéco-CNRT pour les concentrations en **soufre et ratio Ca/Fe** (Beliaeff et al., 2011). Aucun score n'est donc attribué aux stations sur la base de ce critère pour ce paramètre.

Evolution temporelle à moyen terme

Pour les paramètres clés (Mn, Ni, Cr, Co, Fe et ratio Ca/Fe), l'évolution temporelle est analysée sur 5 ans à l'aide de tests statistiques prenant en compte la structure des données. Un score Bon ou Mauvais est attribué pour ce critère selon le caractère significatif de la tendance à la dégradation.

Pour les autres paramètres (S), l'évolution temporelle des moyennes semestrielles sur 5 ans est estimée de façon qualitative. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon la tendance observée à la stabilité, l'amélioration ou la dégradation.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final (sauf pour le ratio Ca/Fe qui ne dispose pas de grille de qualité ZONECO).

III.5.6. Suivi des habitats récifaux, des communautés de poissons, des macro-invertébrés et des perturbations par LIT

III.5.6.a. Suivi des habitats récifaux (Vale-NC et Acropora)

Objectif

L'objectif de ce suivi est d'évaluer l'état de santé des habitats récifaux car ils sont particulièrement sensibles aux perturbations de leur environnement, tels que les apports sédimentaires. Par ailleurs, leur disparition a des conséquences importantes sur l'ensemble de la faune marine qui en dépend.

Station et fréquence de suivi

Le suivi du substrat est effectué semestriellement par Vale NC sur 12 stations réparties dans 7 zones (Tableau 4 et Figure 10). Seule la saison d'octobre-novembre est prise en compte dans le diagnostic. Le réseau de suivi de l'CEIL, arrêté en 2015, comprenait le suivi de 8 stations réparties dans 2 zones (Baie Kwé et Baie de Port Boisé). Ces résultats n'entrent donc plus en compte dans l'analyse.

Le suivi du substrat dans le cadre du programme Acropora est effectué annuellement au mois d'avril au niveau de 9 stations réparties sur 3 sites (Yaté, l'Île Ouen et l'Île des Pins - Figure 12).

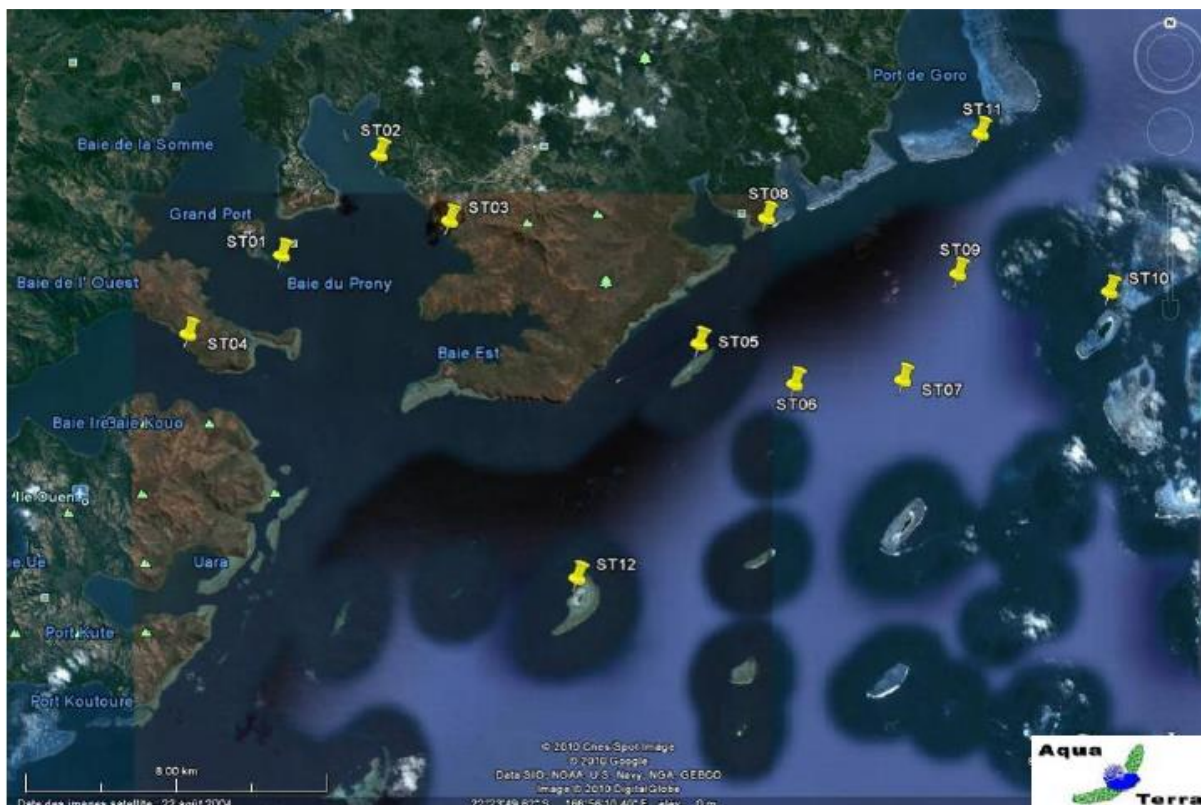


Figure 10: Carte des stations de suivi des paramètres biologiques de Vale-NC (source Vale-NC)

Protocole de suivi

Réseau Vale -NC :

Pour chaque station, 3 transects sont délimités au niveau des tombants « haut », « milieu » et « bas ».

La technique d'échantillonnage retenue est celle du « Line Intercept Transect (LIT) », qui consiste à déterminer à quelle catégorie appartient le substrat rencontré sous le ruban métré tous les 10 cm. Ce substrat peut appartenir à deux catégories :

- les substrats « abiotiques » tels que le sable, la vase...
- les substrats « vivants » tels que les coraux massifs, coraux tabulaires, coraux morts, algues, éponges...

Le « % de couverture corallienne » correspond à la somme des pourcentages de substrats appartenant à la sous-catégorie « corail vivant », correspondant aux 12 familles suivantes : *Millepora*, *Fungia*, *Corail submassif*, *Corail massif*, *Corail foliaire*, *Corail encroûtant*, *Corail branchu*, *Acropora tabulaire*, *Acropora digité*, *Acropora submassif*, *Acropora encroûtant*, et *Acropora branchu*.

La profondeur du transect pouvant impacter les résultats, l'analyse des données se fera séparément au niveau de chaque transect.

Réseau Acropora :

La technique d'observation retenue pour l'habitat récifal est la technique du « Point Intercept Transect », qui consiste à répertorier la nature du fond tous les 50 cm le long d'un ruban métré. Seul un transect est délimité par station et 4 réplicas sont prévus par transect.

Gamme de référence géographique

Aucune donnée de référence spatiale ou temporelle n'est disponible pour y comparer les moyennes annuelles les % de couverture corallienne mesurés en stations de suivi. **Aucun score** n'est donc attribué à la station sur la base de ce critère.

Gamme de référence temporelle

La valeur du % de couverture corallienne mesurées en station de suivi est comparée à une grille de qualité (Tableau 18) élaborée à partir de valeurs mesurées sur cette même station du début des suivis jusqu'en 2016. C'est le seul critère qui entre en compte dans l'attribution d'un score pour ce paramètre biologique pour le réseau Vale-NC.

Valeurs seuils	Note
> Med. gamme ref temp.	Bon
Per 25 gamme ref temp. ≤ Moy. an ≤ Med. gamme ref temp	Moyen
< Per 25 gamme ref temp	Mauvais

Tableau 18: Grille de qualité du paramètre « % de couverture corallienne »

Valeurs seuil

Le référentiel établi pour le programme ACROPORA, concernant initialement le suivi de stations choisies pour leurs couvertures coralliennes élevées, était auparavant utilisé pour l'ensemble des stations suivies dans les différents réseaux. Il a été décidé lors du COTEC 1 de mars 2018 que ce référentiel n'était pas approprié pour analyser l'ensemble du réseau de suivi de Vale NC. **Aucun score** n'est donc attribué sur la base de ce critère.

Evolution temporelle à court terme

L'évolution temporelle du taux de recouvrement corallien entre l'année considérée et la campagne de l'année précédente (même saison) est évaluée à l'aide d'une grille de qualité (Tableau 19), dans le cadre des réseaux de suivi de Vale NC et d'Acropora.

Valeurs seuils	Note
> +5%	Amélioration
-5% ≤ Ecart N et N-1 ≤ +5%	Stabilité
< -5%	Dégradation

Tableau 19: Grille de notation du paramètre « écart de % de couverture corallienne entre n et n-1 »

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

Evolution temporelle à moyen terme

Pour le **réseau Vale-NC**, l'évolution temporelle des moyennes sur 5 ans est estimée de façon qualitative. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon la tendance observée à la stabilité, l'amélioration ou la dégradation. **Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.**

Pour le **réseau Acropora** uniquement, l'évolution temporelle est analysée sur 5 ans à l'aide de tests statistiques prenant en compte la structure des données. Un score Bon ou Mauvais est attribué pour ce critère selon le caractère significatif de la tendance à la dégradation. **C'est le seul critère qui entre en compte dans l'attribution d'un score pour ce paramètre biologique pour le réseau Acropora.**

III.6. Informations non intégrables au diagnostic

Certaines informations relevant généralement de la mise en œuvre d'actions compensatoires, de gestion, de suivis, d'études ponctuelles ou de travaux de recherche peuvent fournir des éclairages intéressants dans le cadre du travail de synthèse effectué. Elles sont alors mentionnées, mais non prises en compte dans le processus de diagnostic.

III.6.1.a. Suivi des herbiers en Baie de Kwé (Vale-NC)

Objectif

Un herbier est une formation végétale composée de phanérogames marines et située dans une zone marine de profondeur inférieure à 60 m. Le code de l'environnement de la Province sud définit comme « écosystème d'intérêt patrimonial » tout herbier dont la surface est supérieure à 100 m², ce qui est le cas de l'herbier de la Baie Kwé.

L'herbier du platier Ouest de la Baie Kwé est particulièrement soumis au phénomène d'hyper-sédimentation dû aux activités minières de Vale-NC. De ce fait, des mesures doivent être mises en place pour assurer sa préservation.

Stations et fréquence de suivi

Deux stations de suivis ont été placées au niveau de l'herbier du platier Ouest de la Baie Kwé, et deux autres stations de suivis ont été placées au niveau de l'herbier du platier Est de la Baie Kwé (Figure 11). L'échantillonnage est prévu une fois par an, au mois d'avril.



Figure 11: Carte des stations de suivi des herbiers de la baie Kwé (source Vale-NC)

Protocole de suivi

Les paramètres « densité » et « diversité » en phanérogames doivent être relevés sur chaque station.

Pour cela, des quadrats de 50 cm*50 cm sont placés au niveau de chaque station, autour du quadrat réalisé lors de l'état initial en 2014. Quatre répliques sont réalisées par station.

Gamme de référence géographique et temporelle

L'herbier du platier Est de la Baie Kwé peut être considéré comme référence pour l'herbier du platier Ouest de la Baie Kwé.

Un état de référence a été réalisé en 2014 auquel on peut comparer les données des campagnes de suivi.

Valeurs seuil

Il n'existe pas de valeur seuil pour ce suivi.

Evolution temporelle

La première campagne de suivi étant 2017, nous n'avons pas de recul suffisant pour attribuer un score à ce critère.

III.6.1.b. Suivi de « l'état de santé général » des récifs (réseau ACROPORA)

Objectif

L'objectif du suivi participatif ACROPORA est d'évaluer l'état de santé des récifs du Grand Sud, mais également de sensibiliser les populations locales à la préservation des récifs. Ce suivi s'inscrit dans un réseau plus large déployé à l'échelle du territoire : le Réseau d'Observation des Récifs Coralliens (RORC).

Stations et fréquence de suivi

Les sites suivis se trouvent dans la région de Yaté, l'Ile Ouen et l'Ile des Pins. 3 stations sont installées par sites, au niveau de récifs côtiers, intermédiaires ou barrières (Figure 12). Les résultats de deux stations du RORC se trouvant dans la région de Prony sont également présentés.

La fréquence de suivi est annuelle, les relevés ont lieu en intersaison (mars-avril).



Figure 12: Carte des stations de suivi des paramètres biologiques du réseau Acropora (source Cortex)

Protocole de suivi

L'état de santé des récifs est évalué à partir d'observations réalisées sur les trois compartiments suivants :

- habitat récifal : 13 catégories de substrats « abiotiques » (ex : sable, vase...) et « vivants » ex : coraux massifs, coraux tabulaires, coraux morts, algues, éponges...)
- poissons : 15 familles ou espèces cibles (ex : poissons papillons, perroquets, loches, ...)
- macro-invertébrés: 16 familles ou espèces cibles (ex : bénitiers, étoiles de mer, oursins, *Acanthaster planci*...)

Les perturbations en cours sur les récifs sont également intégrées à l'évaluation : bris de coraux, maladie corallienne (nécrose), détritits et engins de pêche.

Le suivi étant réalisé par les populations locales des différents sites, les méthodes doivent d'être accessibles à tous. Elles sont identiques à celles utilisées dans le cadre du RORC, excepté le fait que les observations se font en plongée libre. Les techniques d'observation sont les suivantes :

- habitat récifal : technique du « Point Intercept Transect », qui consiste à répertorier la nature du fond tous les 50 cm le long d'un ruban métré
- poissons et macro-invertébrés: méthode du « couloir fixe », qui consiste à réaliser les observations dans un couloir de 5 m de large, soit 2,5 m de part et d'autre d'un ruban métré.

Valeurs seuil

Dans le cadre du RORC, une grille de notation (Tableau 20) a été développée afin de pouvoir attribuer des scores aux valeurs prises par différentes variables associées à chacun des compartiments étudiés.

Compartiment	Variable	Unité de mesure	FAIBLE	MOYEN	FORT
Habitat récifal	Taux de corail vivant	Pourcentage moyen de corail vivant	≤ 20	21-39	≥ 40
	Diversité des habitats	Nb total d'habitats recensés sur la station	≤ 4	5-8	≥ 9
Poissons	Diversité totale des espèces cibles	Nb total d'espèces recensées sur la station	≤ 3	4-7	≥ 8
	Densité totale moyenne	Nb de poissons cibles / 100m ²	≤ 15	16-29	≥ 30
Macro-invertébrés	Diversité totale des espèces cibles	Nb total d'espèces recensées sur la station	≤ 3	4-7	≥ 8
	Densité totale moyenne	Nb d'invertébrés cibles / 100m ²	≤ 15	16-29	≥ 30
Perturbations	Bris de coraux récents	Nb de bris / 100m ²	≤ 5	6-9	≥ 10
	Nécroses coralliennes	Nb de nécroses / 100m ²	≤ 5	6-9	≥ 10
	Détritits	Nb de détritits / 100m ²	≤ 1	2-4	≥ 5
	Engins de pêche	Nb d'engins / 100m ²	≤ 1	2-4	≥ 5

Tableau 20: Grille de qualité RORC des différentes variables entrant dans l'attribution du score « état de santé général du récif »
- (source Cortex)

Aidé de cette grille, l'appréciation à dire d'expert permet d'attribuer un score à chaque station afin de caractériser son « état de santé général ». Quatre niveaux de qualité sont définis pour décrire l'état de santé général des récifs coralliens. Les niveaux sont : Bon, Satisfaisant, Moyen et Mauvais.

Evolution temporelle à moyen terme

L'évolution temporelle des variables de chaque compartiment est également évaluée par le prestataire en charge du suivi, lui permettant de formuler une tendance d'évolution de « l'état de santé général » de chaque station (en baisse, stable ou en hausse).

IV. Les milieux eaux douces

Méthode révisée en réunion du Comité Technique le 19 mars 2018, avec la participation et/ou consultation de J. Chazeau (CS OEIL), P. Genthon (CS OEIL), B. Fogliani (CS OEIL), P. Boissery (CS OEIL), JL. Folio (Vale NC), G. Wotling (DAVAR), LC. Corfdir (DENV PS), F. Le Borgne (DENV PS), M. Juncker (OEIL), M. Aubert (OEIL), A. Bertaud (OEIL).

IV.1. Données analysées

Le diagnostic environnemental des eaux douces (eaux de surfaces et eaux souterraines) s'appuie sur l'exploitation des informations extraites des :

- Suivis environnementaux réglementaires et volontaires de Vale NC :
 - ✓ 65 stations de suivi des eaux de surface (creek et dolines) dont 14 stations de référence (sous influence modérée ou nulle de l'activité industrielle et minière) et 51 stations de suivi (sous influence forte de l'activité industrielle et minière)
 - ✓ 70 piézomètres de suivi des eaux souterraines dont 5 piézomètres de contrôle (sous influence modérée de l'activité industrielle et minière) ;
- Suivi environnemental de l'OEIL : 15 stations de suivi en rivières en zones de référence.

La fréquence et l'année initiale des suivis varient selon les stations et le paramètre considéré. Ces suivis concernent la physicochimie (métaux dissous, éléments majeurs, nutriments, hydrocarbures, etc.) des eaux de surface et souterraines, la teneur en métaux, ainsi que les données biotiques (communautés de poissons et macro-invertébrés des eaux douces (creeks et dolines)).

IV.2. Zone d'étude

IV.2.1. Zones des eaux de surface (rivières et dolines)

IV.2.1.a. Limite amont-aval des bassins versants

La présence d'une différence de relief marquée entre le plateau amont et les versants aval débouchant dans le lagon se traduit par des disparités importantes dans la physico-chimie des eaux de surface. Les stations situées en amont sont donc considérées séparément de celles situées en aval des cours d'eau. La limite retenue se situe au niveau de la rupture de pente entre la zone de plateau et le versant côtier. Cette limite entre la zone amont et aval a été déterminée sur la base du relief, à une altitude d'environ 100 m qui correspond généralement aux confluences majeures (rang supérieur ou égal à 3), ainsi qu'aux limites géomorphologiques (zones recouvertes par des horizons d'altération vs. zones de bedrock).

IV.2.1.b. Dimension des bassins versants

Dans la zone de suivi deux types de bassins versants se distinguent :

- Les petits bassins côtiers dont le rang maximal est 3, mais dont la plupart ne dépassent pas le rang 2. Leur zone aval est assez limitée notamment sur la côte Est où la rupture de pente est très rapidement rencontrée (cascade de la Wadjana par exemple).
- Les bassins versants de plus grandes tailles d'ordre 4 et plus, présentant une zone aval plus étendue.

Sur la base de cette classification, les bassins versants de la Kwé et du Creek Baie Nord sont de grands bassins dont le fonctionnement peut être comparé à celui des autres grands bassins de la sous-région

franche côtière du Grand Sud. Les bassins versants de la Wadjana et de la Trüü sont quant à eux de petits bassins versants côtiers peu allongés et présentant une rupture de pente localisée très en aval du bassin.

Le suivi des eaux de surfaces dans le grand Sud concerne 8 bassins versants au total, dont 2 petits bassins et 6 grands bassins (Figure 13).

IV.2.1.c. Stations de suivi et stations de référence par zone

	Stations de référence					Stations de suivi												
	Position	Type de BV	Zone	Station	Prélèvement	Type de BV	Zone	Station	Influence	Prélèvement								
Cours d'eau (creeks)	Amont	Grand	Carénage	Carénage Amont °			Grand	Kwe Ouest	3-A ^	ASR								
				3-B ^	ASR													
			Kaoris	Kaoris Amont °								3-D ^	ASR					
				3-E ^	ASR													
			Kuebini	Kueb Amont °								4-N ^	UPM-CIM					
				KO4-10 ^	Mine							KO4-20-I ^	Mine					
		Petit	Wadjana	WJ-01 ^								KO4-50 ^	Mine					
					KO5-10-I ^	UPM-CIM							KO5-20-I ^	UPM-CIM				
					KO5-20-P ^	UPM-CIM							KO5-50-I ^	UPM-CIM				
				WAD-40 ^								KWO-10 ^	?					
													KWO-20 ^	?				
													KWO-60 ^	?				
	Petit	Wadjana	WAD-50 ^						4-M ^	UPM-CIM								
										KE-05 ^	Mine							
										6-Q ^	Usine							
			CBN Amont	6-S ^	Usine					CBN-01 ^	Usine							
	Aval	Grand	Kuebini	Kueb Aval °						5-E ^	Base Vie							
											TR-01 ^	Mine						
											TR-03 ^	Mine						
				WAD-70 ^														
Wadjana			WAJA 300°															
Total stations de référence en Amont des BV					4	3	3	6	Total stations de suivi en Amont des BV					10	6	10	7	
Aval	Grand	Trou Bleu	3-C ^						Grand	Kwe principale	1-A ^	UPM-CIM, ASR						
			TBL-50 ^									1-E ^	UPM-CIM, ASR					
			TBL-70 ^									KWP-10 ^	UPM-CIM					
			Carénage	Carénage Aval °								KWP-40 ^	UPM-CIM					
													KWP-70 ^	UPM-CIM				
		Kaoris	Kaori Aval °								6-BNOR1 ^	Usine						
			Kaor200 °								6-T ^	Usine						
			Kuebini	Kueb Aval °								6-U ^	Usine					
				Kueb300 °								CBN-10 ^	Usine					
				KUB-40 ^								CBN-30 ^	Usine					
				KUB-50 ^								CBN-40 ^	Usine					
		Petit	Wadjana	WAD-70 ^								CBN-70 ^	Usine					
												CBN-AFF-02 ^	Usine					
												TR-02 ^	Mine					
				WAJA 300°								TR-04 ^	Mine					
													TR-05 ^	Mine				
Total stations de référence en Aval des BV					7	3	4	9	Total stations de suivi en Aval des BV					6	4	7	9	
Dolines	Carénage	Doline 1 °						Grand	CBN	6-R ^	Usine							
			Doline 2 °									DOL-2 ^	Usine					
		Plaine des Lacs	Doline 3 °									DOL-3 ^	Usine					
												DOL-4 ^	Usine					
	Wadjana	DOL-XW-02 ^								DOL-8 ^	Usine							
			DOL-XW-03 ^								DOL-9 ^	Usine						
			LAC-ROB-01 ^								DOL-10 ^	Epuration						
			LAC-ROB-02 ^								DOL-15 ^	Base Vie						
		Total stations dolines de référence	7	0	0	0	Total stations de suivi des dolines					11	0	0	0			

Degré d'influence par rapport à l'activité industrielle et minière :

Forte

Modérée

Nulle

Nature du prélèvement

Eaux de surface

Sédiments de surface

Peuplements biol (Macro-Invertébrés)

Peuplements biol (Poissons)

Type de suivi :

Station réglementaire

Station volontaire

Station ^ du réseau de suivi de VALE NC

Station ° du réseau de suivi de l'CEIL

Tableau 21: Nature des prélèvements effectués (eau, sédiments, peuplements biologiques) au niveau des stations de suivi et des stations de référence des creeks et dolines

Les bassins versants considérés comme sous influence de l'activité minière et industrielle (Tableau 21) sont ceux des rivières :

- Creek Baie Nord, avec la présence de l'Usine de Vale NC en amont du cours d'eau ;
- Kwé, avec la présence de la mine, de l'aire de stockage des résidus (ASR), de l'unité de préparation du minerai (UPM) et de nombreuses autres installations minières (verses, zones de stockages, réservoirs d'hydrocarbures, etc.) ;
- Trüu, via des connections souterraines entre la Trüu et un bassin versant endoréique sous influence, situé en son aval ;
- Kadji, avec la proximité de la Base Vie et de sa station d'épuration.

Cinq bassins versant sont considérés comme hors d'influence de l'activité minière et industrielle (Tableau 21) : ceux des rivières Trou bleu, Kaoris, Carénage, Kuebini, et Wadjana.

IV.2.2. Zones des eaux souterraines

IV.2.2.a. Degré d'influence de l'activité industrielle et minière

La délimitation des masses d'eaux souterraines est incertaine, des connexions étant susceptibles d'exister entre les différents bassins versants via un réseau d'écoulement pseudo-karstique.

Les piézomètres de suivi des eaux souterraines sont donc répartis selon la source d'influence industrielle ou minière la plus proche, et son niveau d'exposition (fort ou modéré) : unité de préparation du minerai (UPM), aire de stockage des résidus (ASR), port et usine (Tableau 22 et Figure 16).

Les piézomètres indicés A ou B pour un même numéro correspondent à des différences de profondeur de la colonne. Les informations concernant la profondeur et la couche géologique atteinte (latérites, saprolites et péridotites) ne sont pas disponibles, seule la répartition spatiale des piézomètres est connue.

IV.2.2.b. Piézomètres de suivi et piézomètres de contrôle par zone

Piézomètres de suivi des eaux souterraines (physico-chimie)					
Zone	Influence	Piézomètre	Zone	Influence	Piézomètre
Kwe Nord	aval UPM	4-z1	Kwe Ouest	ASR C (proximité rivière)	WKBH112
		4-z1A			WKBH112A
		4-z1B			WKBH113
		4-z2			WKBH113A
		4-z2A			WKBH114
		4-z4			WKBH114A
		4-z4A			WKBH115
		4-z5			WKBH115A
		4-z5A			WKBH115B
					WKBH116
Kwe Ouest	ASR O (sources)	WK17			WKBH116A
		WK20			WKBH116B
	ASR A (piézomètres d'alerte au pied de la berme)	WK6-11			WKBH116B
		WK6-11A			WTBH9
		WK6-12			WKBH32
		WK6-12A	Kadji	ASR D (vallées adjacentes)	WK6-14
		WK6-9	Trou Bleu		WTBH11
		WK6-9A			WTBH11A
		WKBH102	Baie de Prony	Port (rétention fuel lourd)	7-1
		WKBH102A			7-2
	WKBH103	7-3			
	ASR B (zone tampon)	WK6-10	CBN	Usine	6-1
		WK6-10A			6-1a
		WKBH109			6-2
		WKBH109A			6-2a
		WKBH110			6-3
		WKBH110A			6-3a
		WKBH110B			6-4
		WKBH111			6-5
		WKBH117			6-6
		WKBH117A			6-7
		WKBH117B			6-7a
		WKBH118			6-8
		WKBH118A			6-8a
		WKBH118B			6-13
		6-14			
	6-14a				

Légende :

Degré d'influence par rapport à l'activité industrielle et minière :

Forte (piézo. de suivi)

Modérée (piézo. de contrôle)

Profondeur de captage :

Piézo

Supérieure

Piézo A ou a

Intermédiaire

Piézo B ou b

Profonde

Tableau 22: Champ d'exposition aux perturbations industrielles et minières des piézomètres de suivi et de contrôle

IV.2.3. Représentation cartographique des stations de suivi en milieux eaux douces

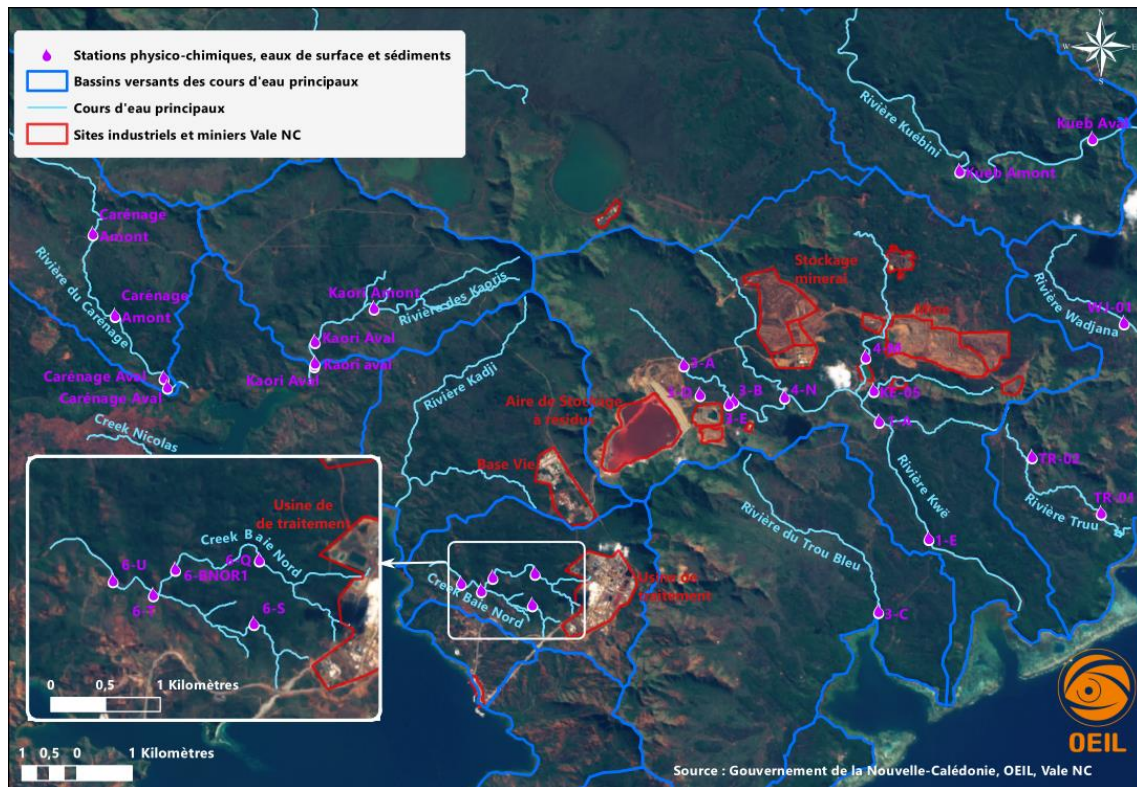


Figure 13: Carte des stations de suivi physicochimiques des rivières (source OEIL)

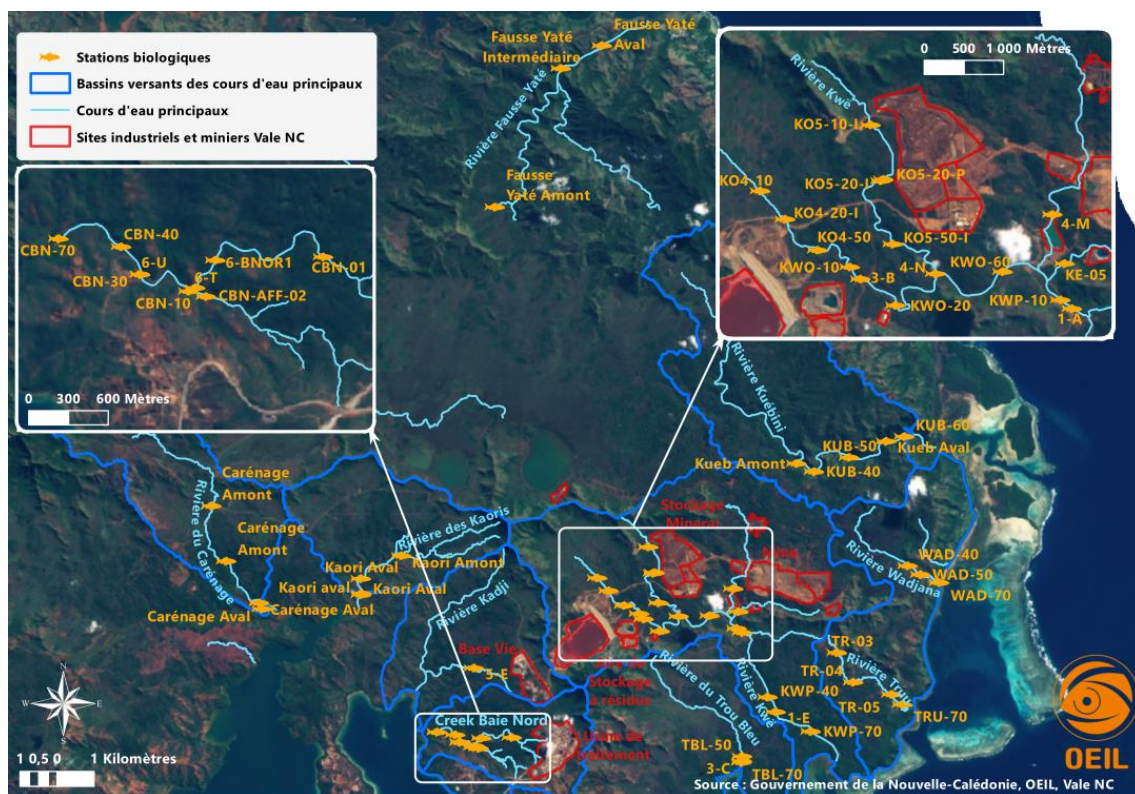


Figure 14: Carte des stations de suivi biologiques des rivières (source CÉIL)

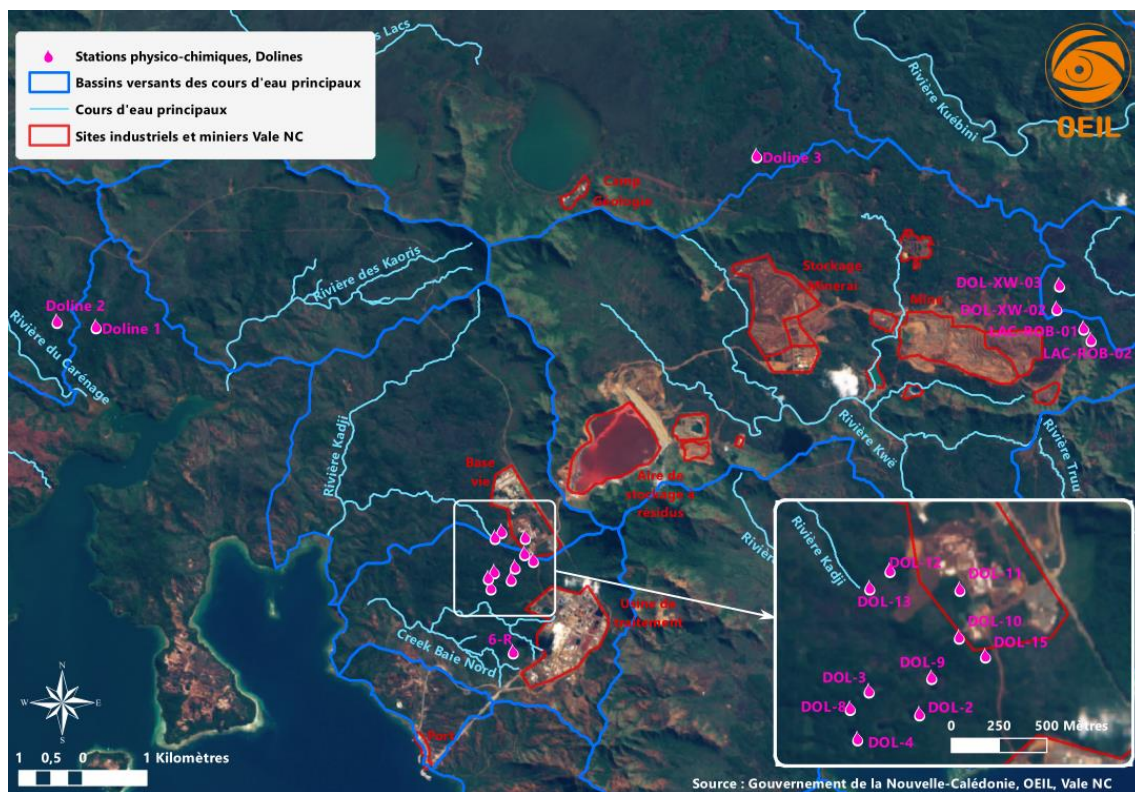


Figure 15 : Carte des stations de suivi physicochimiques des dolines (source CÉIL)

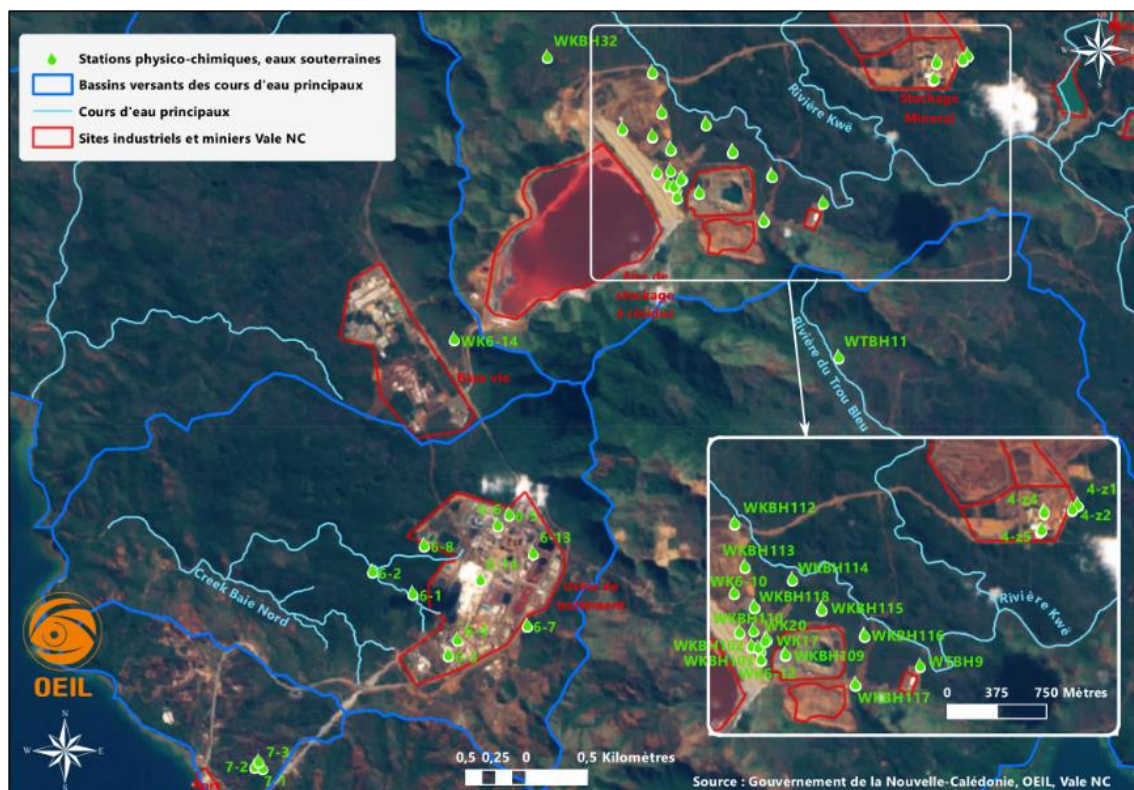


Figure 16: Carte des piézomètres de suivi des eaux souterraines (source CÉIL)

IV.3. Outils méthodologiques à disposition

IV.3.1. Directive Cadre sur l'Eau (DCE)

IV.3.1.a. Notion d'états chimiques et écologiques

Le système de cotation de la qualité des masses d'eau utilisé pour le diagnostic de l'état de santé des eaux douces dans le Grand Sud s'inspire de celui mis en place en Europe dans le cadre de l'application de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE).

Eaux de surfaces

Etat chimique : les concentrations dans le milieu sont comparées à des valeurs seuils déterminées par les Normes de Qualité Environnementale (NQE), définies comme la « concentration d'un polluant ou d'un groupe de polluants dans l'eau, les sédiments ou le biote qui ne doit pas être dépassée, afin de protéger la santé humaine et l'environnement ». Il se décline en deux classes de qualité :

- la NQE est respectée = Etat bon
- la NQE n'est pas respectée = Etat mauvais

Etat écologique : son calcul prend en compte plusieurs éléments de qualité biologiques, physicochimiques et morphologiques, agrégés entre eux selon des règles bien définies qui suivent les principes définis dans l'Arrêté métropolitain du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface :

- les états « très bon » et « bon » sont déterminés sur la base des valeurs prises par les contrôles (ou « références ») des éléments biologiques et physico-chimiques pertinents pour le type de masse d'eau considéré
- au sein de chaque élément de qualité (biologique, physico-chimique ou hydromorphologique), le paramètre le plus déclassant est retenu
- lors de l'agrégation des éléments biologiques, physico-chimiques et hydromorphologiques, les éléments biologiques prévalent sur les 2 autres types d'éléments. Ainsi, dès qu'un élément biologique est classé dans un état moins que bon, les éléments physico-chimiques et hydromorphologiques n'ont plus d'incidence sur l'état de qualité écologique final qui est attribué selon l'élément biologique le plus déclassant

Eaux souterraines

Etat quantitatif : il est considéré comme bon lorsque les prélèvements ne dépassent pas la capacité de recharge de la nappe.

Etat chimique : basé sur les paramètres les plus déclassants. Les valeurs seuils sont celles établies pour les eaux destinées à la consommation sauf pour les nappes alluviales qui doivent aussi respecter le principe de non dégradation des écosystèmes de surface.

Si un ou plusieurs points sont déclassés en état Moyen ou Mauvais, alors une enquête appropriée est déclenchée. Cette enquête comprend plusieurs étapes :

- **Etape 1** : test d'évaluation générale de l'état chimique de la masse d'eau dans son ensemble :
 - Identification du sous-secteur auquel appartient le point de suivi de moyenne ou mauvaise qualité
 - Si ce sous-secteur ne dépasse pas les 20% de la surface totale de la masse d'eau (*du nombre total de piézomètres implantés dans la zone concernée, pour le Bilan Grand Sud*) alors l'état chimique de cette masse est considéré comme Bon
 - Dans le cas contraire l'état chimique est considéré comme Moyen ou Mauvais, selon le paramètre le plus déclassant
- **Etape 2** (*non applicable dans le bilan Grand Sud*) : test de l'altération chimique et/ou écologique des eaux de surface résultant d'un transfert de polluant depuis la masse d'eau souterraine :
 - Caractériser l'état de la masse d'eau de surface supposée en connexion avec la masse d'eau souterraine
 - Vérifier que la nature de la dégradation de la masse d'eau de surface correspond à la dégradation de la masse d'eau souterraine
 - Caractériser la relation nappe-rivière : la masse d'eau de surface est-elle en relation hydrodynamique avec la masse d'eau souterraine ?
 - ✓ Non ou données insuffisante, le test n'est pas mené car non pertinent
 - ✓ Oui, évaluer la probabilité de transfert du polluant vers le cours d'eau :
 - La direction des écoulements souterrains ne peut pas expliquer le transport du polluant vers le cours d'eau, la nappe est déclarée en Bon état
 - Le polluant peut être transféré, la masse d'eau est en Mauvais état.

IV.3.1.b. Valeurs seuils européennes associées à l'état chimique

Eaux de surfaces

Les annexes X et IX de la DCE (17 juin 2008) synthétisent les NQE retenues pour les 33 substances prioritaires et 8 substances toxiques servant à l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau de surface. Les NQE peuvent être fixées pour l'eau, les sédiments ou le biote. Dans ce cas, elles doivent assurer un niveau de protection au moins identique à celui assuré par les NQE fixées pour l'eau. La méthodologie de détermination des NQE est explicitée dans le document « Méthodologie utilisée pour la détermination de normes de qualité environnementale (NQE) » de l'INERIS (2011).

Eaux souterraines

Pour l'état chimique des masses d'eau souterraines, l'annexe 3 de la circulaire de 2012 métropolitaine relative à l'évaluation de l'état chimique des masses d'eaux souterraines et l'établissement de valeurs seuils, synthétise les valeurs seuils à respecter par défaut au niveau national et la procédure d'adaptation de ces valeurs seuils pour tenir compte des variations régionales du fond géochimique.

Les valeurs seuils nationales par défaut reposent sur un croisement des référentiels appliqués en France : normes de qualité pour l'eau potable (arrêté du 11 janvier 2007) et arrêté du 17 décembre 2008. Pour les substances ne possédant pas de normes françaises ou européennes, les valeurs guides de l'OMS sont prises par défaut.

IV.3.1.c. Adaptation de la DCE au contexte calédonien

L'évaluation des masses d'eaux s'appuie sur la même démarche que la DCE avec la mise en œuvre d'un état chimique et d'un état écologique. Cependant, comme de grandes différences demeurent, des adaptations au contexte calédonien sont nécessaires.

Eaux de surfaces

Etat chimique : il n'existe pas de NQE adaptées au contexte géomorphologique du territoire. Des seuils réglementaires issus des arrêtés ICPE sont pris en compte lorsqu'ils sont disponibles, et des seuils sanitaires (potabilité) sont employés lorsque les gammes de référence ne sont pas connues (décision du COTEC 1 de mars 2018). Le système de cotation binaire défini dans la DCE pour l'état chimique est également remplacé par un système qualitatif à trois classes : Bon, Moyen ou Mauvais (cf. méthodologie générale).

Etat écologique : les grilles métropolitaines ne sont pas adaptées à un contexte insulaire au taux d'endémisme si important. Le système de cotation pour l'évaluation d'un état écologique est conservé, dans la mesure du possible et selon les outils disponibles.

Eaux souterraines

Etat quantitatif : le réseau de suivi sur lequel s'appuie notre diagnostic environnemental ne présente pas de résultats concernant le suivi quantitatif des masses d'eau (hauteur d'eau dans les piézomètres).

Etat chimique : les caractéristiques et fonctionnement du réseau des masses d'eau souterraines (liaisons avec les masses d'eaux de surface) sont inconnus aujourd'hui. Ce manque de données rend difficile l'évaluation de l'état chimique des nappes et entraîne une nécessaire adaptation des règles d'évaluation, définies dans la DCE :

- Lorsque plusieurs points de prélèvements (piézomètres) suivent la même masse d'eau souterraine, si tous les points sont en Bon état chimique alors la masse d'eau est classée en Bon état.

- Si un ou plusieurs points sont déclassés en état Moyen ou Mauvais, alors une enquête appropriée est déclenchée. Cette enquête comprend plusieurs étapes, dont seule l'étape 1 est pertinente dans le contexte du diagnostic des eaux souterraines du Grand Sud (confer méthode DCE en Europe)

IV.3.2. Indice Biotique de Nouvelle-Calédonie (IBNC) et Indice Bio sédimentaire (IBS)

L'**Indice IBNC** est basé sur une liste de 66 taxons indicateurs. Chaque taxon possède un score compris entre 1 et 10, en fonction de leur sensibilité à 8 paramètres (chlorures, sulfates, sodium, potassium, ammonium, phosphates, MES, DBO5). L'intérêt de cet indice est de détecter des pollutions organiques générées par les effluents domestiques, les élevages, etc. Il est établi selon la formule :

$$IBNC = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} Si \quad \begin{array}{l} n : \text{nombre de taxa indicateurs} \\ Si : \text{score du taxon } i \end{array}$$

L'**Indice IBS**, variant de 1 à 10, est basé sur une liste de 56 taxons indicateurs de la pollution. L'intérêt de cet indice est de détecter des pollutions de type sédimentaire, notamment la pollution aux particules fines de sols latéritiques. Cet indice a été développé afin de mettre en évidence les dégradations de la qualité du cours d'eau liées au transport de matières en suspension telles que sables, limons et argiles (Mary et Archambault, 2015). Il est établi selon la formule :

$$IBS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} Si \quad \begin{array}{l} n : \text{nombre de taxa indicateurs} \\ Si : \text{score du taxon } i \end{array}$$

Pour l'IBNC et l'IBS, le protocole d'échantillonnage et le calcul sont les mêmes, seule la valeur des taxons diffère. *Un seuil empirique de 7 taxons indicateurs a été fixé pour le calcul des notes IBNC et IBS. En dessous de ce seuil, le calcul des notes indicielles n'est pas conseillé.*

En fonction de la valeur de ces indices, une classe de qualité écologique est attribuée au cours d'eau (Tableau 23, révisé par rapport aux classes en vigueur d'après la première version du protocole publiée en 2011).

Grille de notation de référence (2015)		
IBS	IBNC	Score
< 4,35	< 4,25	Mauvais
4,35 - 4,90	4,25 - 4,75	Médiocre
4,90 - 5,45	4,75 - 5,30	Passable
5,45 - 6,00	5,30 - 5,70	Bon
> 6,00	> 5,70	Excellent

Tableau 23: Grille de notation de référence (Mary et Archambault 2015) des IBS et IBNC

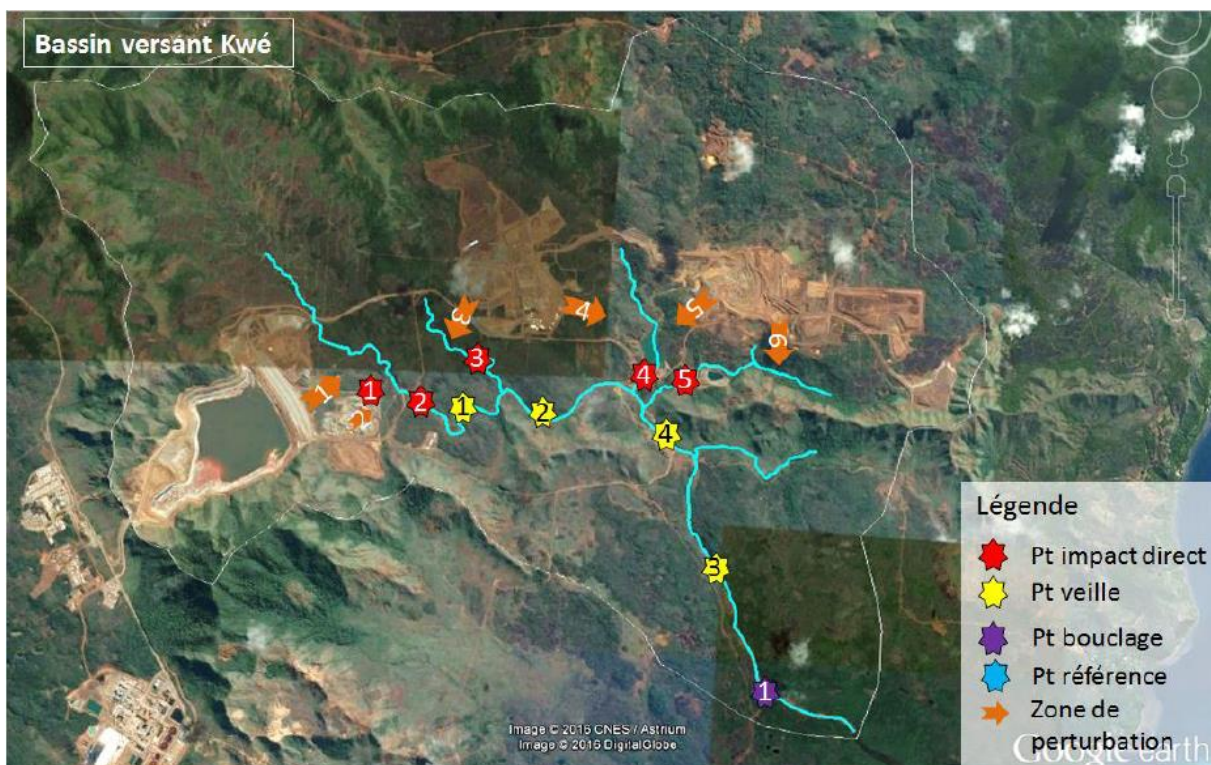
En raison de leurs particularités hydrogéologiques, les milieux lotiques du Grand Sud accueillent une communauté de macro-invertébrés très pauvre, peu abondante et déstructurée. De ce fait, afin d'attribuer un score aux stations de suivi, l'écart entre la moyenne d'IBNC (méthode 2015) de la gamme de référence par rapport à la médiane de la classe « Bon » est calculé puis ajouté au score des stations de suivi,

produisant une valeur finale qui est évaluée selon la grille de référence des classes de qualité (méthode 2015).

IV.3.3. Cartographie des zones de perturbation des cours d'eau sous influence

Les trois types de stations de suivi dont il est fait référence sur les cartes (Figure 17, Figure 18 et Figure 19) sont complémentaires entre elles. Voici les objectifs de chacune :

- **Station « point d'impact »** : sert au suivi d'un impact direct des activités industrielles et minières avant dilution dans le bassin versant
- **Station « point de veille »** : sert au suivi d'un impact potentiel d'intensité supposée faible à modérée
- **Station « point de bouclage »** : sert à mesurer l'ensemble des perturbations cumulées sur le bassin versant et à caractériser la qualité des eaux qui transitent vers le milieu marin



Description des impacts au niveau des différentes zones de perturbations de la Kwé (Figure 17) :

- Zone de perturbation 1 : impact des rejets liquides issues de l'aire de stockage des résidus dans le bras Ouest de la Kwé
- Zone de perturbation 2 : impact liée aux infiltrations des eaux de l'aire de stockage des résidus dans le sol et à l'influence de la carrière qui jouxte l'ASR sur le bras Ouest de la Kwé
- Zone de perturbation 3 : impact du centre industriel de la mine et du stockage minéral long terme sur un affluent du bras Ouest de la Kwé
- Zone de perturbation 4 : impact du centre industriel de la mine et du stockage minéral long terme sur le bras Nord de la Kwé
- Zone de perturbation 5 : Impact de la fosse minière sur le bras Nord de la Kwé
- Zone de perturbation 6 : Impact de la fosse minière sur le bras Est de la Kwé

- Zone de perturbation 3 : impact du site pilote de l'usine qui influe plus particulièrement l'affluent Sud du creek baie Nord

Points théoriques	Stations actuelles
Impact 1	6-Q
Impact 2	
Impact 3	6-S
Veille 1	6-R
Veille 2	6Q
Veille 3	
Veille 4	6-T
Veille 5	DOL-10
Veille 6	6-BNOR1
Bouclage 1	6-U

Tableau 25: Correspondance entre les points théoriques « d'impact », « de veille » et « de bouclage » et les stations de suivi existantes au niveau du BV du Creek Baie Nord

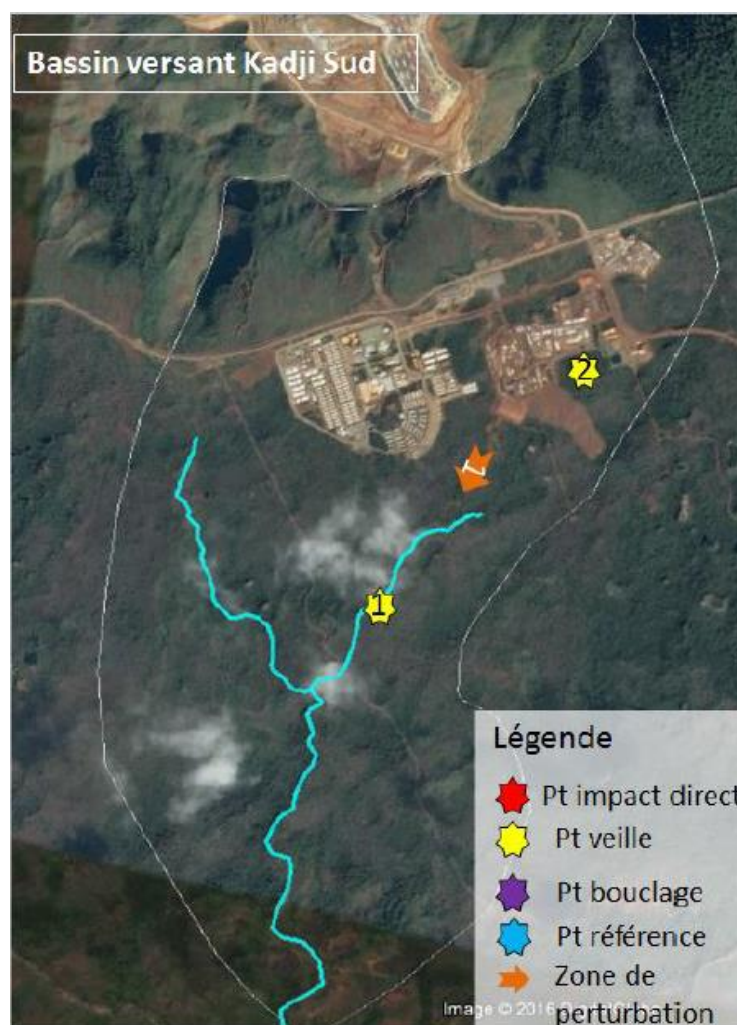


Figure 19: Carte des zones de perturbations du BV de Kadji et positionnement stratégique des stations de suivi (source CEIL)

Description des impacts au niveau des différentes zones de perturbations du Creek Baie Nord (Figure 19)

- Zone de perturbation 1 : impact potentiel de la base vie de Vale-NC

Points théoriques	Stations actuelles
Veille 1	
Veille 2	DOL-11

Tableau 26: Correspondance entre les points théoriques « d'impact », « de veille » et « de bouclage » et les stations de suivi existantes au niveau du BV de Kadji

IV.4. Synthèse des paramètres suivis, métriques et référentiels utilisés pour l'attribution de note

IV.4.1. Tableaux de synthèse

Les tableaux ci-dessous (Tableau 27, Tableau 28, Tableau 29 et Tableau 30) synthétisent les informations suivantes :

- La nature des 42 paramètres suivis dans le milieu eaux douces
- Leur contribution à l'état chimique ou à écologique
- Leur qualification de paramètres clé ou non
- La nature des prélèvements dans lesquels ils sont mesurés (eaux de surfaces des creek, eaux de surface des dolines, sédiments ou eaux souterraines)
- Les métriques retenues pour être comparées à un référentiel donné (gamme de référence géographique ou temporelle, valeur seuil ou grille de qualité et tendance d'évolution à moyen terme)

Remarque importante : Lorsque les données de référence sont disponibles, une confrontation aux seuils réglementaires de potabilité n'est pas appropriée.

Type de paramètre		Nom	Symbole	Paramètre clé	Nature du prélèvement					
Etat chimique	Paramètres physico-chimiques	Métaux dissouts	Fer	Fe	Oui	C	D		N	
			Manganèse	Mn	Oui	C	D	S	N	
			Nickel	Ni	Oui	C	D	S	N	
			Aluminium	Al	Non	C			N	
			Arsenic	As	Non	C			N	
			Cadmium	Cd	Non	C		S	N	
			Cobalt	Co	Oui	C		S	N	
			Chrome	Cr	Oui	C		S	N	
			Chrome hexavalent	Cr(VI)	Oui	C			N	
			Cuivre	Cu	Non	C			N	
			Plomb	Pb	Non	C		S	N	
			Zinc	Zn	Non	C		S	N	
			Silicim dissous	Si	Non	C			N	
			Silice*	SiO ₂	Non				N	
			Brome*	Br	Non	C			N	
		Etain*	Sn	Non	C			N		
		Soufre	S	Non	C	D		N		
		Sulfates	SO ₄ ²⁻	Oui	C	D		N		
Hydrocarbures totaux	Ht	Non	C	D		N				
Etat écologique	Paramètres physico-chimiques	Profil aquatique	Température	T°	Non	C	D		N	
			pH	pH	Non	C	D		N	
			Conductivité	Cond.	Oui	C	D		N	
			Turbidité	Turb.	Non	C	D		N	
			Demande chim. en ox.	DCO	Non	C	D		N	
			Oxygène dissous*	OD	Non	C				
			Potentiel redox*	ORP	Non				N	
		Matière en suspension	MES	Oui	C	D				
		Éléments majeurs	Chlorures	Cl ⁻	Non	C	D		N	
			Magnésium	Mg ²⁺	Non	C	D		N	
			Sodium	Na ⁺	Non	C	D		N	
			Calcium	Ca ²⁺	Non	C	D		N	
			Potassium	K ⁺	Non	C	D		N	
		Phosphore dissous*	P	Non	C					
		Sels nutritifs	Ammoniac*	NH ₃	Non				N	
			Nitrites	NO ₂ ⁻	Non				N	
			Nitrates	NO ₃ ⁻	Oui	C	D		N	
			Phosphates	PO ₄ ³⁻	Oui	C	D		N	
	Mat. org.	Carbone org. total	COT	Non	C	D		N		
		Azote total	Nt	Non	C	D		N		
Titre alcalimétrique complet	TAC	Non	C	D		N				
Paramètres biologiques	Communauté de Poissons	IVI	Indice biotique de NC	IBNC15	Non				B	
			Indice biosédimentaire	IBS15	Non				B	
		Abondance des P	Abdce P	Non				B		
		Abondance P endémiq.	Abdce Pe	Non				B		
		Richesse spécifique P	RSp P	Non				B		
		Rich. Spéc. P endémiq.	RSp Pe	Non				B		
		Biomasse en P	Biom. P	Non				B		
		Biomasse P endémiq.	Biom. Pe	Non				B		
		Densité en P	P/Ha	Non				B		

Légende :

* paramètres rajoutés en 2018

Nature du prélèvement

Eaux de surface des creeks

Eaux de surface des dolines

Sédiments des creeks

Eaux des nappes souterraines

Peuplements biologiques des creeks

C

D

S

N

B

Tableau 27: Paramètres suivis dans les milieux eaux douces et nature des prélèvements pour chaque paramètre

Type de paramètre		Nom	Symbole	Paramètre clé	Nature du prélèvement			Référentiel "comparaison à gamme de référence géographique ou temporelle"	Référentiel "comparaison à valeur seuil ou grille de qualité"	Référentiel "évolution temporelle de moyen terme"	
								Métrique retenue	Métrique retenue	Métrique retenue	
Etat chimique	Métaux dissouts	Fer	Fe	Oui	C	D		% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants	
		Manganèse	Mn	Oui	C	D		% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants	
		Nickel	Ni	Oui	C	D		% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants	
		Aluminium	Al	Non	C			% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants	
		Arsenic	As	Non	C			% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants	
		Cadmium	Cd	Non	C			% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants	
		Cobalt	Co	Oui	C			% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants	
		Chrome	Cr	Oui	C			% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants	
		Chrome hexavalent	Cr(VI)	Oui	C			% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants	
		Cuivre	Cu	Non	C			% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants	
		Plomb	Pb	Non	C			% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants	
		Zinc	Zn	Non	C			% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants	
		Silice	Si	Non	C			% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants	
			Soufre	S	Non	C	D		% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants
	Sulfates	SO ₄ ²⁻	Oui	C	D		% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants		
	Hydrocarbures totaux	Ht	Non	C	D		% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants		
Etat écologique	Paramètres physico-chimiques	Profil aquatique	Température	T°	Non	C	D		% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants
			pH	pH	Non	C	D		% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants
			Conductivité	Cond.	Oui	C	D		% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants
			Turbidité	Turb.	Non	C	D		% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants
			Demande chim. en ox.	DCO	Non	C	D		% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants
			Matière en suspension	MES	Oui	C	D		% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants
	Eléments majeurs	Chlorures	Cl ⁻	Non	C	D		% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants	
		Magnésium	Mg ²⁺	Non	C	D		% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants	
		Sodium	Na ⁺	Non	C	D		% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants	
		Calcium	Ca ²⁺	Non	C	D		% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants	
		Potassium	K ⁺	Non	C	D		% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants	
		Nitrites	NO ₂ ⁻	Non	C	D		% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants	
	Sels nutritifs	Nitrates	NO ₃ ⁻	Oui	C	D		% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants	
		Phosphates	PO ₄ ³⁻	Oui	C	D		% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants	
		Carbone org. total	COT	Non	C	D		% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants	
	Mat. org.	Azote total	Nt	Non	C	D		% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants	
		Titre alcalimétrique complet	TAC	Non	C	D		% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants	
		Paramètres biologiques	MI	Indice biotique de NC	IBNC15	Non			B	moyenne recalculée*	moyenne sur 5 ans glissants
	Indice biosédimentaire			IBS15	Non			B	moyenne recalculée*	moyenne sur 5 ans glissants	
Communauté de Poissons	Abondance des P		Abdce P	Non			B	d'après rapports	-	d'après rapports	
	Abondance P endémiq.		Abdce Pe	Non			B	d'après rapports	-	d'après rapports	
	Richesse spécifique P		RSp P	Non			B	d'après rapports	-	d'après rapports	
	Rich. Spéc. P endémiq.		RSp Pe	Non			B	d'après rapports	-	d'après rapports	
	Biomasse en P		Biom. P	Non			B	d'après rapports	-	d'après rapports	
	Biomasse P endémiq.		Biom. Pe	Non			B	d'après rapports	-	d'après rapports	
	Densité en P		P/Ha	Non			B	d'après rapports	-	d'après rapports	

Légende :

Nature du prélèvement

Eaux de surface des creeks

Eaux de surface des dolines

Peuplements biol des creeks

C

D

B

- : pas de valeur seuil disponible
moyenne recalculée*: la moyenne est recalculée en se servant de la gamme de référence géographique

Légende :

Nature du prélèvement

Eaux de surface des creeks
Eaux de surface des dolines
Peuplements biol des creeks



- : pas de valeur seuil disponible
moyenne recalculée*: la moyenne est recalculée en se servant de la gamme de référence géographique

Tableau 28: Métriques et référentiels utilisés pour l'attribution des notes des paramètres mesurés dans l'eau des creeks et dolines

Type de paramètre		Nom	Symbole	Paramètre clé		Référentiel "comparaison à gamme de référence géographique ou temporelle"	Référentiel "comparaison à valeur seuil ou grille de qualité"	Référentiel "évolution temporelle de moyen terme"	
						Métrique retenue	Métrique retenue	Métrique retenue	
Etat chimique	Paramètres physico-chimiques	Métaux dissouts	Fer	Fe	Oui	N	% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants
			Manganèse	Mn	Oui	N	% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants
			Nickel	Ni	Oui	N	% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants
			Aluminium	Al	Non	N	% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants
			Arsenic	As	Non	N	% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants
			Cadmium	Cd	Non	N	% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants
			Cobalt	Co	Oui	N	% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants
			Chrome	Cr	Oui	N	% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants
			Chrome hexavalent	Cr(VI)	Oui	N	% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants
			Cuivre	Cu	Non	N	% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants
			Plomb	Pb	Non	N	% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants
			Zinc	Zn	Non	N	% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants
			Silice	Si	Non	N	% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants
		Soufre		S	Non	N	% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants
		Sulfates		SO ₄ ²⁻	Oui	N	% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants
Hydrocarbures totaux		Ht	Non	N	% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants		
Etat écologique	Paramètres physico-chimiques	Profil aquati	Température	T°	Non	N	% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants
			pH	pH	Non	N	% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants
			Conductivité	Cond.	Oui	N	% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants
			Demande chim. en ox.	DCO	Non	N	% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants
		Eléments majeurs	Chlorures	Cl ⁻	Non	N	% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants
			Magnésium	Mg ²⁺	Non	N	% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants
			Sodium	Na ⁺	Non	N	% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants
			Calcium	Ca ²⁺	Non	N	% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants
			Potassium	K ⁺	Non	N	% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants
		Sels nutritifs	Nitrites	NO ₂ ⁻	Non	N	% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants
			Nitrates	NO ₃ ⁻	Oui	N	% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants
			Phosphates	PO ₄ ³⁻	Oui	N	% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants
		Mat. org.	Carbone org. total	COT	Non	N	% N > Per75 gam ref	valeur maximale	médiane sur 5 ans glissants
			Azote total	Nt	Non	N	% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants
			Titre alcalimétrique complet		TAC	Non	N	% N > Per75 gam ref	-

Légende :

Nature du prélèvement

Eaux souterraines

N

- : pas de valeur seuil disponible

Tableau 29: Métriques et référentiels utilisés pour l'attribution des notes des paramètres mesurés dans les eaux souterraines

Type de paramètre			Nom	Symbole	Paramètre clé		Référentiel "comparaison à gamme de référence géographique ou temporelle"	Référentiel "comparaison à valeur seuil ou grille de qualité"	Référentiel "évolution temporelle de moyen terme"
							Métrique retenue	Métrique retenue	Métrique retenue
Etat chimique	Paramètre physico-chimiques	Métaux dissous	Manganèse	Mn	Oui	S	% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants
			Nickel	Ni	Oui	S	% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants
			Cadmium	Cd	Non	S	% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants
			Cobalt	Co	Oui	S	% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants
			Chrome	Cr	Oui	S	% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants
			Plomb	Pb	Non	S	% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants
			Zinc	Zn	Non	S	% N > Per75 gam ref	-	médiane sur 5 ans glissants
Légende :			Nature du prélèvement						
Sédiments des creeks			S - : pas de valeur seuil disponible						

Tableau 30: Métriques et référentiels utilisés pour l'attribution des notes des paramètres mesurés dans les sédiments des creeks

A noter que les tableaux ci-dessus synthétisent les informations présentées dans la partie qui suit intitulée « IV.5. Détails par nature de prélèvement et par paramètre : des stations, fréquences de suivi, métriques et référentiels utilisés pour l'attribution de notes ».

IV.4.2. Paramètres clés

Le concours de chaque paramètre suivi au score chimique ou écologique a été défini comme suit à la suite du COTEC 2 de septembre 2015. L'ensemble de ces paramètres est pris en compte dans l'attribution des scores finaux par zone, selon les règles d'agrégation décrites précédemment.

Décisions du COTEC 1 de mars 2018, concernant l'identification de **paramètres clés** :

- Les paramètres « clés » ont été désignés pour leur capacité à traduire sans ambiguïté une perturbation anthropique du milieu.
- Les paramètres indiqués comme « clés » dans le tableau font l'objet, en plus de l'évaluation commune à l'ensemble des paramètres, d'une analyse plus poussée : des tests statistiques et représentations graphiques sont réalisés pour déterminer le caractère significatif de la comparaison aux valeurs mesurées en stations de références, et celui de l'évolution temporelle sur les 5 dernières années.
- Les paramètres physico-chimiques clés entrent par ailleurs en considération dans l'attribution du score écologique, y compris en l'absence de données biologiques, sous réserve qu'un minimum de 3 de ces paramètres clés soit renseigné pour l'année considérée.

IV.4.3. Métriques utilisées

Pour les paramètres chimiques et physico-chimiques des **eaux de surface** et des **eaux souterraines**, les métriques calculées sont :

- Le pourcentage de valeurs supérieures au percentile 75 de la gamme de référence géographique, à comparer aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 31)
- Le pourcentage de valeurs supérieures au percentile 75 de la gamme de référence temporelle, à comparer aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 31)
- La valeur maximale, à comparer aux valeurs seuils réglementaires (Rappel : lorsque les données de référence sont disponibles, une confrontation aux seuils réglementaires de potabilité n'est pas appropriée)
- Les médianes des 5 dernières années, afin d'évaluer leur évolution au cours du temps

Pour les paramètres chimiques des **sédiments**, les métriques calculées sont :

- Le pourcentage de valeurs supérieures au percentile 75 de la gamme de référence géographique, à comparer aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 31)
- Les médianes des 5 dernières années, afin d'évaluer leur évolution au cours du temps

Valeurs seuils	Note
< 25%	Bon
25% ≤ % de val. sup. au Per 75 gamme ref ≤ 35%	Moyen
> 35%	Mauvais

Tableau 31: Grille de qualité pour l'attribution d'une note aux critères « comparaison à la gamme de référence géographique » et « comparaison à la gamme de référence temporelle »

Pour les paramètres biologiques IBNC et IBS des **eaux de surface**, les métriques calculées sont :

- La moyenne recalculée (moyenne à laquelle on ajoute l'écart entre la moyenne d'IBNC (méthode 2015) de la gamme de référence par rapport à la médiane de la classe « Bon »), à comparer aux valeurs seuils de la grille de qualité issue du guide méthodologique (Mary et Archaimbault, 2015)
- Les moyennes (méthode 2011) des 5 dernières années, afin d'évaluer leur évolution au cours du temps

L'ensemble de ces informations est synthétisé dans les tableaux suivants : Tableau 28, Tableau 29 et Tableau 30.

IV.4.4. Calcul des gammes de référence géographique

IV.4.4.a. Eaux de surface (eau, sédiments et macro-invertébrés)

Avant toute chose, il est nécessaire de tenir compte de la typologie « Amont » et « Aval » des bassins versants pour constituer les gammes de référence des différents paramètres. En effet, une station de suivi donnée ne pourra être comparée qu'à des stations de référence de même typologie.

Les percentiles 75 des gammes de référence Amont, Aval et Doline des **paramètres physico-chimiques des eaux de surface** sont donc calculés à partir de l'ensemble des données collectées sur 6 bassins versants hors d'influence (Carénage, Kaoris, Kuebini, Wadjana, Trou bleu, Plaine des Lacs), au niveau de :

- 4 stations de référence Amont (Carénage Amont, Kaoris Amont, Kueb Amont, WJ01)
- 7 stations de référence Aval (3C, Carénage Aval, Kaori Aval, Kaor200, Kueb Aval, Kueb300, WAJA300)
- 7 stations de référence Doline (Doline 1, Doline 2, Doline 3, DOL-XW02, DOL-XW03, LAC-ROB01, LAC-ROB02)

Les percentiles 75 des gammes de référence Amont et Aval des **paramètres chimiques des sédiments de surface** sont calculés à partir de l'ensemble des données collectées sur 3 bassins versants hors d'influence (Carénage, Kaoris, Kuebini) au niveau de :

- 3 stations de référence Amont (Carénage Amont, Kaoris Amont, Kueb Amont)
- 3 stations de référence Aval (Carénage Aval, Kaori Aval, Kaor200, Kueb Aval)

Les moyennes (méthode 2015) des gammes de référence Amont et Aval des **paramètres biologiques IBNC et IBNC** sont calculés à partir des données de 2017 (le faire sur toute la chronique n'aurait pas de sens pour des paramètres biologiques) collectées sur 4 bassins versants hors d'influence (Carénage, Kaoris, Kuebini, Trou bleu), au niveau de :

- 3 stations de référence Amont (Carénage Amont, Kaoris Amont, Kueb Amont)
- 4 stations de référence Aval (3C, Carénage Aval, Kaori Aval, Kaor200, Kueb Aval)

Les bassins versants et stations de référence cités ci-dessus sont consultables dans le Tableau 21.

IV.4.4.b. Eaux souterraines

Pour le calcul des métriques des gammes de référence des différents paramètres, il est nécessaire de tenir compte de la zone d'influence à laquelle appartient le piézomètre. En effet, un piézomètre de suivi donné ne pourra être comparé qu'à des piézomètres de contrôle (piézomètre sous influence modérée des activités industrielles et minières) appartenant à la même zone d'influence.

Les percentiles 75 des gammes de référence ASR, Port et Usine des **paramètres physico-chimiques des eaux souterraines** sont donc calculés à partir de l'ensemble des données collectées sur les piézomètres de contrôle suivants :

- 2 piézomètres de contrôle dans la zone d'influence de l'ASR (WTBH11, WTBH11A)
- 1 piézomètre de contrôle dans la zone d'influence du Port (7-2)
- 2 piézomètres de contrôle en zone d'influence de l'Usine (6-7, 6-7a)

Les piézomètres de contrôle et leur zone d'influence cités ci-dessus sont consultables dans le Tableau 22.

Vale NC dispose de données hors zone d'influence acquise dans le cadre d'un programme volontaire, toutefois ces données ne sont pas transmises à l'OEIL.

Ces gammes de référence des eaux superficielles et souterraines seront remplacées par le fond hydrochimique de chaque faciès dans l'HER Grand Sud lorsqu'il aura été construit (cours d'eau en amont des bassins versants, cours d'eau en aval des bassins versants, dolines, eaux souterraines profondes et eaux souterraines superficielles), sur la base du percentile 70 de l'ensemble des valeurs disponibles (Lions J., Mauffret A., Devau N., 2016). Pour ce critère, en absence de tests statistiques, un score Bon ou Mauvais sera attribué sur la base de 30% de dépassement du percentile 70 de la gamme de référence.

IV.4.5. Calcul des gammes de référence temporelle

Le calcul des percentiles 75 des gammes de référence temporelle est réalisé pour chaque station de suivi, à partir d'au moins 10 valeurs obtenues sur ces mêmes stations en commençant par les années les plus reculées (2007-2008) et jamais au-delà de 2010.

IV.5. Détails par nature de prélèvement et par paramètre : des stations, fréquences de suivi, métriques et référentiels utilisés pour l'attribution de notes

IV.5.1. Prélèvements d'eaux de surface et d'eaux souterraines

Stations et fréquences de suivi

Des prélèvements d'eau sont effectués :

- Dans les creeks : au niveau de 16 stations de suivi réparties dans 8 zones impactées, et au niveau de 11 autres stations hors zone d'influence des activités industrielles et minières (Tableau 21 et Figure 20).
- Dans les dolines : au niveau de 11 stations de suivi réparties dans 2 zones impactées, et au niveau de 7 autres stations hors zone d'influence des activités industrielles et minières (Tableau 21 et Figure 20).
- Dans les eaux souterraines : au niveau de 65 piézomètres de suivi répartis dans 6 zones impactées, et au niveau de 5 piézomètres de contrôle (Tableau 22, Figure 21, Figure 22, Figure 23 et Figure 24).

La fréquence de prélèvement est :

- Dans les creeks :
 - ✓ continue, hebdomadaire, mensuelle, trimestrielle ou semestrielle selon les paramètres et les stations de suivi considérées,
 - ✓ trimestrielle, semestrielle ou annuelle selon les paramètres et les stations de référence considérées
- Dans les dolines :
 - ✓ mensuelle ou semestrielle selon les stations de suivis considérées,
 - ✓ semestrielle ou annuelle selon les paramètres et les stations de référence considérées
- Dans les eaux souterraines :
 - ✓ hebdomadaire, mensuelle, trimestrielle ou semestrielle selon les paramètres et les piézomètres de suivi considérés,

- ✓ trimestrielle ou semestrielle pour les piézomètres de contrôle

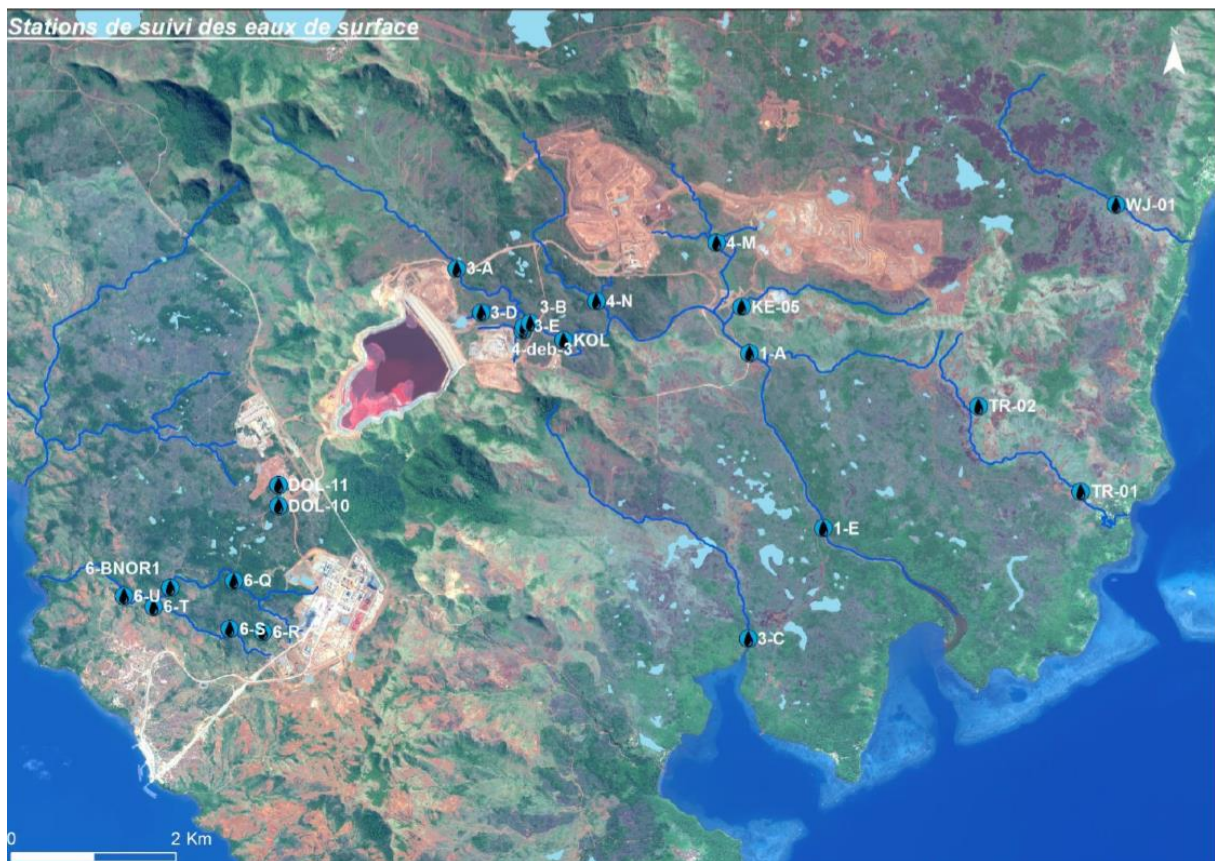


Figure 20: Carte des stations de suivi des creeks et des dolines (source Vale-NC)

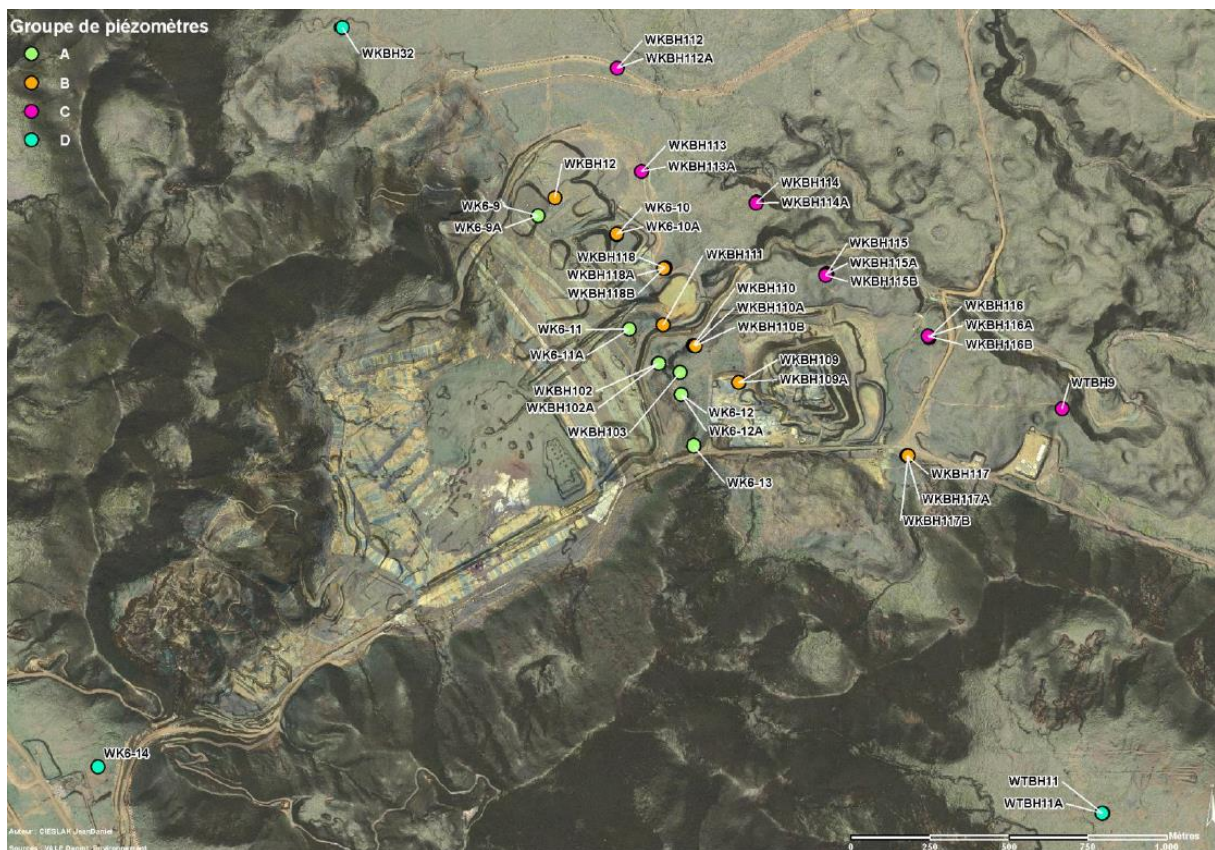


Figure 21: Carte des piézomètres de suivi de l'ASR (source Vale-NC)



Figure 22: Carte des piézomètres de suivi de l'UPM (source Vale-NC)



Figure 23: Carte des piézomètres de suivi de l'Usine (source Vale-NC)

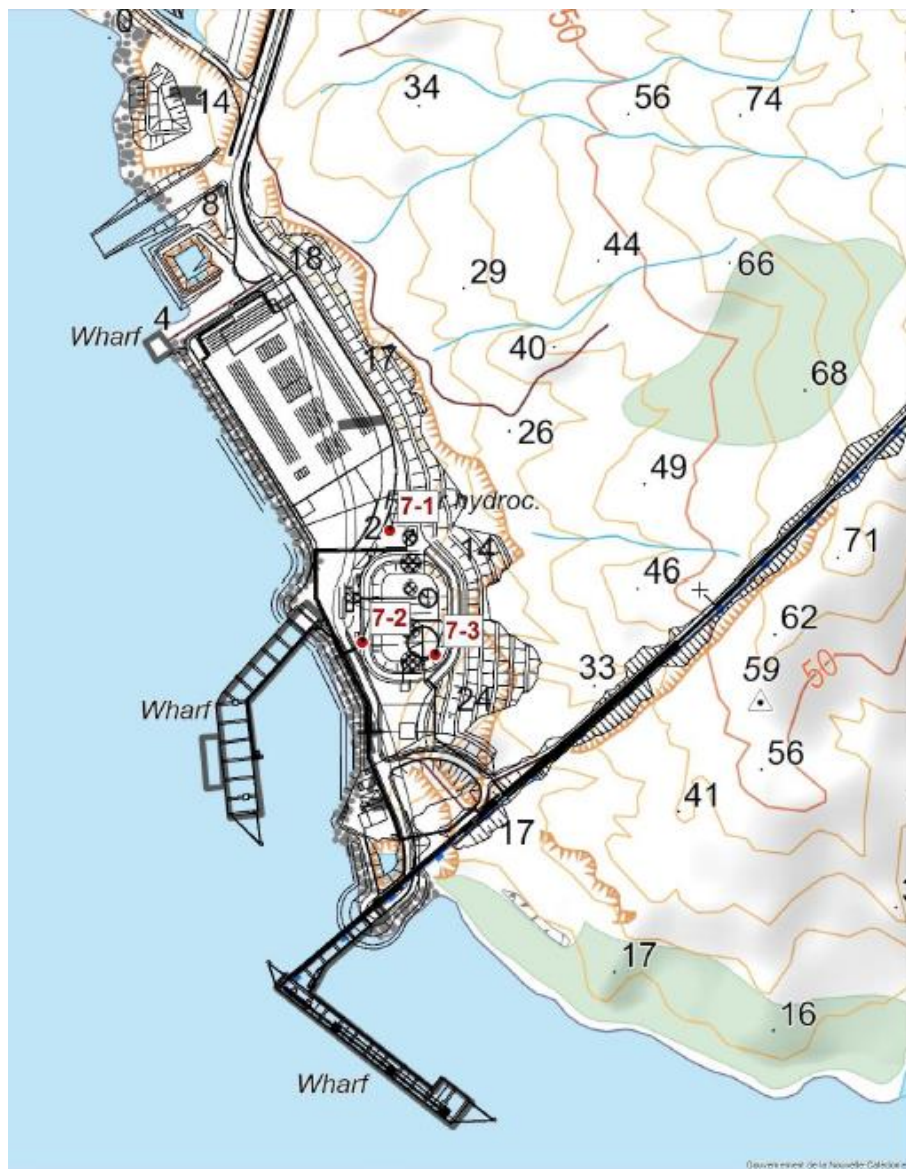


Figure 24: Carte des piézomètres de suivi du Port (source Vale-NC)

Protocole de suivi

Les mesures in situ sont réalisées à l'aide d'un multi-paramètre portable composé de différentes sondes (pH, température et conductivité).

Pour les eaux souterraines, avant les prélèvements d'eau, la purge d'un volume d'eau égale à trois fois le volume compris dans le piézomètre doit être réalisée.

Les prélèvements d'eaux douces font l'objet de différentes mesures en laboratoire, selon des méthodes propres à chaque type de paramètre.

IV.5.1.a. Concentration en métaux dissouts et en Silice : Fe, Mn, Ni, Co, Cr, Cr(VI), Si, Al, As, Cd, Cu, Pb, Zn, **Sn, Br**

Gamme de référence géographique

Pour les paramètres clés (Fe, Mn, Ni, Cr, Cr VI, Co, Cu), la comparaison entre les stations de suivi ou piézomètres de suivi et leurs gammes de référence respectives est réalisée à l'aide de tests statistiques

prenant en compte la structure des données. Un score Bon ou Mauvais est attribué pour ce critère selon le caractère significatif du dépassement de la gamme de référence.

Pour les autres paramètres (Al, As, Cd, Pb, Zn, Si), le nombre de valeurs mesurées en stations de suivi et piézomètres de suivi dépassant le percentile 75 de leurs gammes de référence géographique respectives est calculé, puis confronté aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 31). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué selon les résultats donnés par la grille de qualité.

Valeurs seuil

Il existe des valeurs seuils à ne pas dépasser, dans les annexes I et III de [l'arrêté du 11 janvier 2007](#), pour les métaux dissouts dans l'eau de surface et les eaux brutes destinées à la consommation humaine, à raison de **10 µg As/l, 1 µg Cd/l, 50 µg Cr/l, 50 µg Cu/l, 100 µg Fe/l, 50 µg Mn/l, 10 µg Pb/l et 0,5 mg Zn/l** dans les eaux de surface, et **200 µg Al/l, 10 µg As/l, 5 µg Cd/l, 50 µg Cr/l, 2 mg Cu/l, 200 µg Fe/l, 50 µg Mn/l, 20 µg Ni/l, et 10 µg Pb/l** dans les eaux souterraines.

La [circulaire métropolitaine du 23 octobre 2012](#) fait mention de valeurs seuils nationales par défaut dans les eaux souterraines de **50 µg CrVI/l et 5 mg Zn/l**.

Vale NC a également défini des valeurs seuils relatives aux concentrations en **manganèse** dissout au niveau des stations sous influence du parc à résidus, à hauteur de **50 µg/l** dans les eaux de surface de la Kwé Ouest et de **1 mg/l** dans les eaux souterraines des piézomètres de l'ASR.

La métrique comparée à ces valeurs seuils est la valeur maximale mesurée durant l'année considérée. Un score Bon ou Mauvais est attribué à chaque station de suivi sur la base de ce critère.

La réglementation française ne prévoit **pas de valeur seuil** pour la concentration en **cobalt, nickel et silice** dans les eaux douces. Aucun score n'est donc attribué aux stations pour ces paramètres sur la base ce critère.

Les seuils de potabilité ne sont pris en considération dans ce diagnostic qu'en l'absence de gamme de référence disponible.

Evolution temporelle à moyen terme

Pour les paramètres clés (Fe, Mn, Ni, Cr, Cr VI, Co, Cu), l'évolution temporelle est analysée sur 5 ans à l'aide de tests statistiques prenant en compte la structure des données. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon le caractère significatif de la tendance à la dégradation.

Pour les autres paramètres (Al, As, Cd, Pb, Zn, Si), l'évolution temporelle des médianes annuelles sur 5 ans est estimée de façon qualitative. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon la tendance observée à la stabilité, l'amélioration ou la dégradation.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

IV.5.1.b. Hydrocarbures totaux

Gamme de référence géographique

Le nombre de valeurs mesurées en stations de suivi et piézomètres de suivi dépassant le percentile 75 de leurs gammes de référence géographique respectives est calculé, puis confronté aux valeurs seuils d'une

grille de qualité (Tableau 31). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué selon les résultats donnés par la grille de qualité.

Valeurs seuil

Les valeurs seuils pour la concentration en **Hydrocarbures totaux** sont définies dans l'annexe III de [l'arrêté du 11 janvier 2007](#) à **0,05 mg/l** dans les eaux de surface, et dans l'annexe II de la circulaire métropolitaine du 23 octobre 2012 à **10 mg/l** dans les eaux souterraines.

La métrique comparée à cette valeur seuil est la valeur maximale mesurée durant l'année considérée. Un score Bon ou Mauvais est attribué à chaque station de suivi sur la base de ce critère.

Les seuils de potabilité ne sont pris en considération dans ce diagnostic qu'en l'absence de gamme de référence disponible.

Evolution temporelle à moyen terme

L'évolution temporelle des médianes annuelles de concentrations en hydrocarbures sur 5 ans est estimée de façon qualitative. Un score Bon ou Mauvais est attribué pour ce critère selon la tendance observée à la stabilité, l'amélioration ou la dégradation.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

IV.5.1.c. Concentrations en sulfates et soufre : SO_4^{2-} et S

Gamme de référence géographique

Pour le paramètre clé (sulfate), la comparaison entre les stations de suivi ou piézomètres de suivi et leurs gammes de référence respectives est réalisée à l'aide de tests statistiques prenant en compte la structure des données. Un score Bon ou Mauvais est attribué pour ce critère selon le caractère significatif du dépassement de la gamme de référence.

Pour le soufre, le nombre de valeurs mesurées en stations de suivi et piézomètres de suivi dépassant le percentile 75 de leurs gammes de référence géographique respectives est calculé, puis confronté aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 31). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué selon les résultats donnés par la grille de qualité.

Valeurs seuil

La valeur seuil pour les concentrations en **sulfates** dans les eaux douces est définie dans l'Annexe III de [l'arrêté du 11 janvier 2007](#) à **150 mg/l** dans les eaux de surface et dans l'Annexe II de la circulaire métropolitaine du 23 octobre 2012 à **250 mg/l** dans les eaux souterraines. Vale NC a également défini une valeur seuil de **150 mg/l** pour le sulfate dans les eaux souterraines sous influence du parc à résidus.

La métrique comparée à ces valeurs seuils est la valeur maximale mesurée durant l'année considérée. Un score Bon ou Mauvais est attribué à chaque station de suivi sur la base de ce critère.

La réglementation française ne prévoit **pas de valeur seuil** pour la concentration en **soufre** dans les eaux douces. Aucun score n'est donc attribué aux stations pour ce paramètre sur la base ce critère.

Les seuils de potabilité ne sont pris en considération dans ce diagnostic qu'en l'absence de gamme de référence disponible.

Evolution temporelle à moyen terme

L'évolution temporelle des médianes annuelles de concentrations en soufre sur 5 ans est estimée de façon qualitative. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon la tendance observée à la stabilité, l'amélioration ou la dégradation.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

IV.5.1.d. Profil aquatique : conductivité, pH, Oxygène dissous, Demande Chimique en Oxygène (DCO), turbidité, et température

Gamme de référence géographique

Pour le paramètre clé (conductivité), la comparaison entre les stations de suivi ou piézomètres de suivi et leurs gammes de référence respectives est réalisée à l'aide de tests statistiques prenant en compte la structure des données. Un score Bon ou Mauvais est attribué pour ce critère selon le caractère significatif du dépassement de la gamme de référence.

Pour les autres paramètres (pH, DCO, turbidité, température), le nombre de valeurs mesurées en stations de suivi et piézomètres de suivi dépassant le percentile 75 de leurs gammes de référence géographique respectives est calculé, puis confronté aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 31). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué selon les résultats donnés par la grille de qualité.

Valeurs seuil

Il existe des valeurs seuils à ne pas dépasser, définies par [l'arrêté du 11 janvier 2007](#), pour la conductivité, la DCO et le pH, dans les eaux destinées à la consommation humaine.

Les valeurs seuils pour la **conductivité** des eaux douces sont définies dans les annexes I et III de l'arrêté métropolitain du 11 janvier 2007 à **1000 µS/cm** dans les eaux de surface et les eaux souterraines.

Les valeurs seuils pour le **pH** des eaux douces sont définies dans l'annexe III de l'arrêté métropolitain du 11 janvier 2007 à une fourchette de **5,5 à 9** dans les eaux de surface, et dans l'annexe II de la circulaire métropolitaine du 23 octobre 2012 à une fourchette de **5,5 à 9,5** dans les eaux souterraines. Cette fourchette s'explique par l'influence forte de la géochimie des roches sur le pH des eaux à leur contact ; le contexte géologique local est donc à prendre en compte pour expliquer les variations observées.

La valeur seuil pour la **DCO** des eaux douces est définie dans l'annexe III de l'arrêté métropolitain du 11 janvier 2007 à **30 mg/L** dans les eaux de surface, tandis que la réglementation de la DCO des eaux souterraines s'appuie sur une valeur seuil établie par Vale NC à **100 mg/L**.

La réglementation française ne prévoit **pas de valeur seuil** pour la **température** ni la **turbidité**, étant donné leur caractère fortement lié aux conditions climatiques et géomorphologiques locales. A titre indicatif, une limite de turbidité à **15 NTU** avec une variation maximale de 33 % d'écart à la moyenne est préconisée dans la réglementation Australienne et Néo-Zélandaise pour la protection des écosystèmes d'eau douce.

La métrique comparée à ces valeurs seuils est la valeur maximale mesurée durant l'année considérée (ainsi que la valeur minimale pour le pH). Un score Bon ou Mauvais est attribué à chaque station de suivi sur la base de ce critère.

Les seuils de potabilité ne sont pris en considération dans ce diagnostic qu'en l'absence de gamme de référence disponible.

Evolution temporelle à moyen terme

Pour les paramètres clés (conductivité), l'évolution temporelle est analysée sur 5 ans à l'aide de tests statistiques prenant en compte la structure des données. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon le caractère significatif de la tendance à la dégradation.

Pour les autres paramètres (pH, DCO, turbidité, température), l'évolution temporelle des médianes annuelles sur 5 ans est estimée de façon qualitative. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon la tendance observée à la stabilité, l'amélioration ou la dégradation.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

IV.5.1.e. Matières en suspensions dans l'eau (MES)

Gamme de référence géographique

Le nombre de valeurs mesurées en stations de suivi et piézomètres de suivi dépassant le percentile 75 de leurs gammes de référence géographique respectives est calculé, puis confronté aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 31). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué selon les résultats donnés par la grille de qualité.

Valeurs seuil

Les valeurs seuils pour la concentration en **MES** sont définies dans l'annexe III de l'arrêté du 11 janvier 2007 à **20 mg/l** dans les eaux de surface.

La métrique comparée à cette valeur seuil est la valeur maximale mesurée durant l'année considérée. Un score Bon ou Mauvais est attribué à chaque station de suivi sur la base de ce critère.

Les seuils de potabilité ne sont pris en considération dans ce diagnostic qu'en l'absence de gamme de référence disponible.

Evolution temporelle à moyen terme

L'évolution temporelle des médianes annuelles de concentrations en hydrocarbures sur 5 ans est estimée de façon qualitative. Un score Bon ou Mauvais est attribué pour ce critère selon la tendance observée à la stabilité, l'amélioration ou la dégradation.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

IV.5.1.f. Eléments majeurs : Ca^{2+} , Cl^- , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ et P

Gamme de référence géographique

Le nombre de valeurs mesurées en stations de suivi et piézomètres de suivi dépassant le percentile 75 de leurs gammes de référence géographique respectives est calculé, puis confronté aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 31). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué selon les résultats donnés par la grille de qualité.

Valeurs seuil

La valeur seuil pour les concentrations en **ions chlorures** dans les eaux douces est définie dans l'Annexe III de [l'arrêté du 11 janvier 2007](#) à **200 mg/l** dans les eaux de surface et dans l'Annexe II de la circulaire métropolitaine du 23 octobre 2012 à **250 mg/l** dans les eaux souterraines. La valeur seuil pour les concentrations en sodium dans les eaux souterraines est définie dans l'Annexe I de [l'arrêté du 11 janvier 2007](#) à **200 mg/l**.

La réglementation française ne prévoit **pas de valeur seuil** pour la concentration en **calcium, potassium et magnésium** dans les eaux douces.

La métrique comparée à ces valeurs seuil (Tableau 15) est le percentile 90 des valeurs mesurées durant l'année considérée pour le chlorure, et la valeur maximale relevée durant l'année considérée pour le sulfate. Un score Bon ou Mauvais est attribué à chaque station de suivi sur la base de ce critère.

Les seuils de potabilité ne sont pris en considération dans ce diagnostic qu'en l'absence de gamme de référence disponible.

Evolution temporelle à moyen terme

Pour les paramètres clés (sulfate), l'évolution temporelle est analysée sur 5 ans à l'aide de tests statistiques prenant en compte la structure des données. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon le caractère significatif de la tendance à la dégradation.

Pour les autres éléments majeurs, l'évolution temporelle des médianes annuelles sur 5 ans est estimée de façon qualitative. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon la tendance observée à la stabilité, l'amélioration ou la dégradation.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

IV.5.1.g. Sels nutritifs : NO_3 , NO_2 , PO_4

Gamme de référence géographique

Pour les paramètres clés (nitrate, phosphate), la comparaison entre les stations de suivi ou piézomètres de suivi et leurs gammes de référence respectives est réalisée à l'aide de tests statistiques prenant en compte la structure des données. Un score Bon ou Mauvais est attribué pour ce critère selon le caractère significatif du dépassement de la gamme de référence.

Pour les nitrites, le nombre de valeurs mesurées en stations de suivi et piézomètres de suivi dépassant le percentile 75 de leurs gammes de référence géographique respectives est calculé, puis confronté aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 31). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué selon les résultats donnés par la grille de qualité.

Valeurs seuil

La valeur seuil pour la concentration en **nitrite** est définie dans l'annexe II de la circulaire métropolitaine du 23 octobre 2012 à **0,5 mg/l** dans les eaux souterraines. La valeur seuil pour les concentrations en **nitrates** dans les eaux douces est définie dans l'Annexe III de [l'arrêté du 11 janvier 2007](#) à **25 mg/l** dans les eaux de surface et dans l'Annexe II de la circulaire métropolitaine du 23 octobre 2012 à **50 mg/l** dans les eaux souterraines.

La réglementation française ne prévoit **pas de valeur seuil** pour la concentration en **nitrite** dans les eaux de surface, ni pour la concentration en **phosphate** dans les eaux douces.

La métrique comparée à ces valeurs seuil est le percentile 90 des valeurs mesurées durant l'année considérée. Un score Bon ou Mauvais est attribué à chaque station de suivi sur la base de ce critère.

Les seuils de potabilité ne sont pris en considération dans ce diagnostic qu'en l'absence de gamme de référence disponible.

Evolution temporelle à moyen terme

Pour les paramètres clés (nitrate, phosphate), l'évolution temporelle est analysée sur 5 ans à l'aide de tests statistiques prenant en compte la structure des données. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon le caractère significatif de la tendance à la dégradation.

Pour le nitrite, l'évolution temporelle des médianes annuelles sur 5 ans est estimée de façon qualitative. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon la tendance observée à la stabilité, l'amélioration ou la dégradation.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

IV.5.1.h. Matière organique : Carbone Organique total (COT) et Azote Total (NT)

Gamme de référence géographique

Le nombre de valeurs mesurées en stations de suivi et piézomètres de suivi dépassant le percentile 75 de leurs gammes de référence géographique respectives est calculé, puis confronté aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 31). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué selon les résultats donnés par la grille de qualité.

Valeurs seuil

L'Annexe I de [l'arrêté du 11 janvier 2007](#) définit une valeur seuil de **2 mg/l** pour le **carbone organique total** dans les eaux souterraines. La réglementation française ne prévoit **pas de valeur seuil** pour la **matière organique** dans les eaux de surface. Aucun score n'est donc attribué aux stations de suivi des eaux de surface pour ces paramètres (COT et NT) sur la base ce critère.

Les seuils de potabilité ne sont pris en considération dans ce diagnostic qu'en l'absence de gamme de référence disponible.

Evolution temporelle à moyen terme

L'évolution temporelle des médianes annuelles de concentrations en matière organique sur 5 ans est estimée de façon qualitative. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon la tendance observée à la stabilité, l'amélioration ou la dégradation.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

IV.5.1.i. Carbonate : Titre alcalimétrique complet (TAC en mg CaCO₃/l)

Gamme de référence géographique

Le nombre de valeurs mesurées en stations de suivi et piézomètres de suivi dépassant le percentile 75 de leurs gammes de référence géographique respectives est calculé, puis confronté aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 31). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué selon les résultats donnés par la grille de qualité.

Valeurs seuil

La réglementation française ne prévoit **pas de valeur seuil** pour l'**alcalinité** des eaux douces. Aucun score n'est donc attribué aux stations pour ce paramètre (TAC) sur la base ce critère.

Evolution temporelle à moyen terme

L'évolution temporelle des médianes annuelles de TAC sur 5 ans est estimée de façon qualitative. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon la tendance observée à la stabilité, l'amélioration ou la dégradation.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

IV.5.2. Flux de matières en suspensions (MES)

Stations et fréquence de suivi

Les 3 stations de suivi sont situées au niveau de la Kwé (KE05, 6Q et 1A). Il n'y a pas de station de référence. Les mesures sont réalisées en continu.

Protocole de suivi

Les stations sont équipées d'échantillonneurs automatiques asservis à des sondes de mesure de niveau d'eau et programmés sur un dépassement de seuil de niveau d'eau.

Attribution de score

Vale NC produit depuis 2017 une étude des flux de matière en suspension, prenant en compte les débits des cours d'eaux. L'attribution d'un score pour ce paramètre se base sur l'interprétation des rapports de suivi.

IV.5.3. Prélèvements de sédiments de surface

Stations et fréquences de suivi

Des prélèvements de sédiments sont effectués sur 10 stations de suivi réparties dans 5 zones, et au niveau de 6 autres stations hors zone d'influence des activités industrielles et minières (Tableau 21 et Figure 20).

La fréquence de prélèvement est :

- mensuelle, bimestrielle ou trimestrielle selon les stations de suivi considérées
- annuelle pour les stations de référence.

Protocole de suivi

Les prélèvements sont effectués à l'aide d'une pelle de prélèvement.

IV.5.3.a. Teneur en métaux dans la matière sèche : Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, et Zn

Gamme de référence géographique

Pour les paramètres clés (Mn, Ni, Cr, Co), la comparaison entre les stations de suivi ou piézomètres de suivi et leurs gammes de référence respectives est réalisée à l'aide de tests statistiques prenant en compte la structure des données. Un score Bon ou Mauvais est attribué pour ce critère selon le caractère significatif du dépassement de la gamme de référence.

Pour les autres paramètres (Cd, Pb, Zn), le nombre de valeurs mesurées en stations de suivi et piézomètres de suivi dépassant le percentile 75 de leurs gammes de référence géographique respectives est calculé, puis confronté aux valeurs seuils d'une grille de qualité (Tableau 31). Un score Bon, Moyen ou Mauvais est attribué selon les résultats donnés par la grille de qualité.

Valeurs seuil

La réglementation française ne prévoit **pas de valeur seuil** pour les **teneurs en métaux** dans les sédiments de rivières, aucun score n'est donc attribué aux stations sur la base de ce critère.

Evolution temporelle à moyen terme

Pour les paramètres clés (Mn, Ni, Cr, Co), l'évolution temporelle est analysée sur 5 ans à l'aide de tests statistiques prenant en compte la structure des données. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon le caractère significatif de la tendance à la dégradation.

Pour les autres paramètres (Cd, Pb, Zn), l'évolution temporelle des médianes annuelles sur 5 ans est estimée de façon qualitative. Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour ce critère selon la tendance observée à la stabilité, l'amélioration ou la dégradation.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

IV.5.4. Suivi des macro-invertébrés

Objectif

Le compartiment du vivant est intégrateur de l'ensemble des perturbations subies par leur habitat et témoignent de la qualité de son fonctionnement. L'objectif de ce suivi est de déterminer si les populations de macro-invertébré sont impactées par des pollutions de nature terrigène ou organique, auxquelles ils sont particulièrement sensibles.

Stations et fréquences de suivi

Les prélèvements sont réalisés au niveau de 17 stations de suivi réparties dans 8 zones impactées, et au niveau de 7 autres stations hors zone d'influence des activités industrielles et minières (Tableau 21 et Figure 25). La fréquence de prélèvement est annuelle et à lieu en période d'étiage (mois d'octobre), lorsque la concentration en polluant est maximale.



Figure 25: Carte des stations de suivis des macro-invertébrés des creeks (source Vale-NC)

Protocole de suivi

Au niveau de chaque station, des données utiles à l'interprétation des indices sont collectées. Il s'agit :

- des caractéristiques mésologiques telles que : longueurs et largeurs échantillonnées, types de faciès (radier/mouille), substrats, vitesses de courant, structures des berges ...
- d'analyses physico-chimiques telles que : oxygène dissous, température, conductivité, turbidité...

Selon la méthode révisée de 2015, le protocole d'échantillonnage consiste à réaliser 7 prélèvements unitaires sur différents habitats (couple substrat/vitesse de courant) dans le but de bien prendre en compte l'hétérogénéité de la faune présente sur une station donnée. Les différents substrats que l'on peut rencontrer sur une station peuvent être constitués de galets, litière, chevelus racinaires, graviers, sable, roches...

Afin de collecter un maximum de macro-invertébrés, la technique de prélèvement est propre à chaque type de substrat. Les prélèvements sont réalisés à l'aide d'un filet de type « Surber » puis conditionnés dans de l'éthanol à 70°.

De retour au laboratoire, pour chaque prélèvement unitaire, les macro-invertébrés sont séparés des particules minérales et organiques également présentes. Les organismes font ensuite l'objet d'un tri par groupe taxonomique, sous loupe binoculaire, à l'aide d'un guide d'identification.

Des scores de sensibilité allant de 1 à 10 ont été attribués à chacun des 118 taxons indicateurs de l'IBNC et de l'IBS. En considérant l'ensemble des taxons répertoriés sur la station, les IBNC et IBS peuvent ainsi être déterminés. Un seuil empirique de 10 taxons indicateurs a été fixé pour le calcul des notes IBNC et IBS. En dessous de ce seuil, le calcul des notes indicelles n'est pas conseillé.

Gamme de référence géographique et valeurs seuil réglementaires

Les classes de qualité des eaux de surface selon la valeur d'IBNC et d'IBS sont définies par le guide méthodologique et technique – Indice biotique de la Nouvelle-Calédonie (IBNC) et Indice Bio-sédimentaire (IBS) (Mary & Archaimbault, 2011), puis dans sa version révisée en 2015 (Tableau 32). Les stations situées hors zone d'influence de l'activité minière et industrielle sont notées selon la grille de notation présentée dans le guide.

En raison de leurs particularités hydrogéologiques, les milieux lotiques du Grand Sud accueillent une communauté de macro-invertébrés très pauvre, peu abondante et déstructurée. De ce fait, afin d'attribuer un score aux stations de suivi, l'écart entre la moyenne d'IBNC et d'IBS (méthode 2015) de la gamme de référence et la médiane de la classe « Bon » est calculé, puis ajouté au score des stations de suivi, produisant une valeur finale qui est évaluée selon la **grille de référence des classes de qualité**.

Grille de notation de référence (2015)		
IBS	IBNC	Score
< 4,35	< 4,25	Mauvais
4,35 - 4,90	4,25 - 4,75	Médiocre
4,90 - 5,45	4,75 - 5,30	Passable
5,45 - 6,00	5,30 - 5,70	Bon
> 6,00	> 5,70	Excellent

Tableau 32: Grille de notation de référence (Mary et Archambault 2015) des IBS et IBNC

Evolution temporelle à moyen terme

L'évolution dans le temps des valeurs d'IBNC et d'IBS recalculées selon la méthode décrite ci-dessus pourra être évaluée à partir de 2018, lorsque la méthode de suivi révisée aura été appliquée durant trois années consécutives.

Une diminution est signalée par « Oui » ou « Non » à titre indicatif à chaque station selon l'évolution de ces paramètres, toutefois le score obtenu par comparaison à la grille de référence constituera le score final pour chaque station sur la base de ces paramètres.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

IV.5.5. Suivi de la faune ichthyenne

Objectif

Le compartiment du vivant est intégrateur de l'ensemble des perturbations subies par leur habitat et témoignent de la qualité de son fonctionnement. L'objectif de ce suivi est d'évaluer l'état de santé de la faune ichthyenne des cours d'eau.

Stations et fréquences de suivi

Les comptages sont réalisés au niveau de 16 stations de suivi réparties dans 5 zones impactées, et au niveau de 15 autres stations hors zone d'influence des activités industrielles et minières (Tableau 21 et Figure 26). La fréquence de prélèvement est annuelle et à lieu en saison fraîche (mai à juillet).

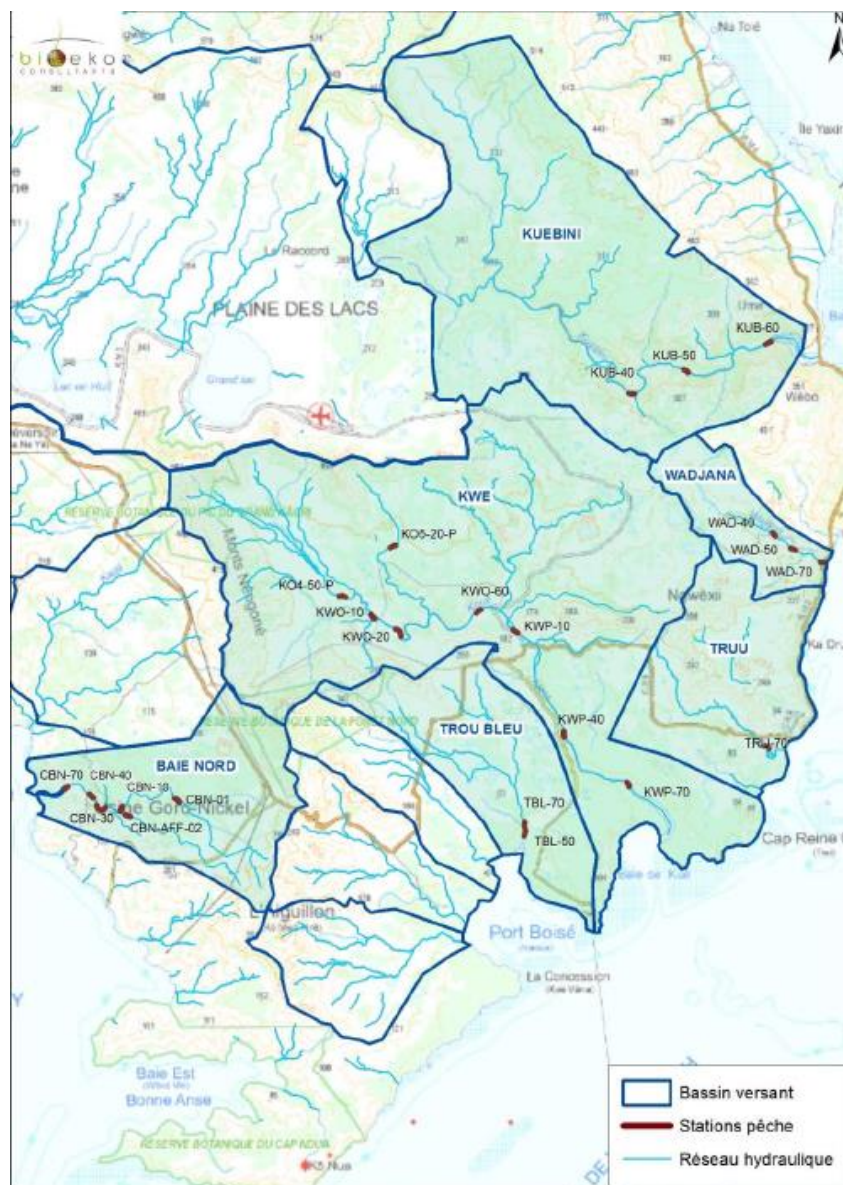


Figure 26: Carte des stations de suivi des poissons des creeks (source Vale-NC)

Protocole de suivi :

Au niveau de chaque station, des données utiles à l'interprétation des descripteurs des peuplements biologique sont collectées. Il s'agit :

- des caractéristiques mésologiques telles que : longueurs et largeurs échantillonnées, profondeurs, vitesses de courant, structures des rives, nature de la ripisylve...
- d'analyses physico-chimiques telles que : oxygène dissous, température, conductivité, turbidité...

La méthode d'échantillonnage de la faune ichthyenne et carcinologique retenue est la pêche électrique. Cette technique entraîne une paralysie transitoire de l'individu, qui permet de réaliser l'ensemble des mesures biométriques (identification de l'espèce et du sexe, mesure du poids et de la taille) avant de le relâcher.

L'évaluation de l'état de santé la faune ichthyenne repose ensuite sur les descripteurs biologiques suivants :

- L'abondance (nombre d'individus pêchés sur la station)
- La densité (nombre d'individus/ha)
- La biomasse (poids des individus pêchés sur la station)

- La richesse spécifique (nombre d'espèces différentes pêchées sur la station)

Une attention toute particulière est accordée aux valeurs prises par les descripteurs biologiques des espèces endémiques.

Gamme de référence géographique

Le prestataire de Vale-NC évalue à dire d'expert si les paramètres mesurés (abondance, densité, etc.) sont en cohérence avec les valeurs observées sur les cours d'eau Calédoniens du Grand Sud. Un score Bon, Moyen, ou Mauvais par zone et par paramètre est ainsi attribué sur la base de l'interprétation du rapport annuel.

Valeurs seuil

La réglementation française ne prévoit pas de valeur seuil pour les paramètres biotiques des communautés de poissons des eaux douces. Aucun score n'est attribué aux stations sur la base de ce critère.

Evolution temporelle à moyen terme

L'évolution dans le temps des paramètres de suivi des communautés de poissons est rapportée par le prestataire de Vale NC en charge des suivis, et décrite comme « Bonne » en cas d'amélioration, « Stable » sans changement notable, ou « Mauvaise » en cas de dégradation par rapport aux années précédentes.

Attribution d'un score par zone

Un score « Très Bon », « Bon », « Moyen », « Médiocre » ou « Mauvais » par zone est ainsi attribué sur la base de l'interprétation du rapport annuel, prenant en compte la note « comparaison à la référence » attribuée à chaque paramètre et à son évolution temporelle.

V. Les milieux terrestres

Méthode révisée en réunion du Comité Technique le 19 mars 2018, avec la participation et/ou consultation de J. Chazeau (CS OEIL), P. Genthon (CS OEIL), B. Fogliani (CS OEIL), M. Allenbach (CS OEIL), JM. N'Guyen (Vale NC), S. McCoy (Vale NC), O. Ruiz (Vale NC), F. Le Borgne (DENV PS), A. Malaval-Cheval (Scal'Air), M. Juncker (OEIL), M. Aubert (OEIL), A. Bertaud (OEIL).

V.1. Données analysées

Le diagnostic environnemental du milieu terrestre s'appuie exclusivement sur l'exploitation des informations extraites des suivis environnementaux de Vale NC, dans les zones suivantes : Forêt Kwé, Forêt S2, Forêt Jaffré, Forêt Carrière, Wadjana, Forêt mine des japonais, Forêt Tuyau (SMLT), Pic du Pin, Pic du Grand Kaori, Forêt Nord, Usine, Base-vie, Mine, UPM, Plaine des Lacs (Camp des géologues), Prise d'eau du Lac de Yaté, Prony énergie, Col des deux tétons, Port, Pépinière, Port boisé, Chute de la madeleine, Village de Prony et Rivière Bleue (Ouémarou).

V.2. Zonage

V.2.1. Zones en milieu terrestre

Les perturbations identifiables pour le milieu terrestre dans le Grand Sud, sont de plusieurs types :

- les perturbations atmosphériques, issues des émissions de dioxyde de soufre (gaz irritant, inodore à basse concentration et incolore) et d'oxydes d'azote, émises par l'usine et certaines unités de production d'électricité (charbon et fioul) ainsi que par certaines opérations de stockage et d'utilisation des stocks de soufre pour la fabrication de l'acide sulfurique nécessaire au fonctionnement de l'usine de Vale NC ;
- les perturbations atmosphériques liées au soulèvement de poussières puis à leur dépôt en fonction des vents engendré par l'activité minière (passages de véhicules sur piste) et l'activité industrielle (émission de poussières par les installations de combustion) ;
- les perturbations lumineuses ;
- les perturbations sonores.

Le niveau de perturbation sur les écosystèmes terrestres varie avec la distance de la station de suivi à la source de perturbation, et avec l'orientation du vent (majoritairement Sud-Est, cf. exemple de l'année 2015, Figure 27) : les stations situées sous le vent de l'usine sont davantage exposées à ses émissions.

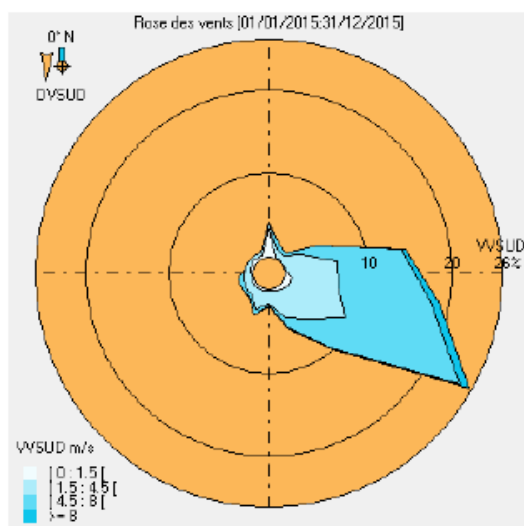


Figure 27: Rose des vents de l'année 2015 dans le Sud de la Nouvelle Calédonie (source : Scal'Air)

Le milieu terrestre est découpé en 14 zones, sur la base des stations de suivis existantes, des massifs forestiers, de leur répartition dans les bassins-versants, et de leur degré d'exposition aux perturbations (Tableau 33). Ces perturbations ont des influences variables sur les différents compartiments de l'écosystème (la flore, la faune, l'air, le sol) et sur les paramètres évalués (diversité taxonomique, teneur en métaux, symptomatologie, etc.).

V.2.2. Compartiments suivis

Les suivis en milieu terrestre concernent 3 compartiments : le compartiment atmosphérique (air et pluie), le compartiment de la faune et le compartiment de la flore :

- **Air et Pluie** : suivis physico-chimique de l'air et des eaux de pluie : Indice de Qualité Atmosphérique (IQA), SO₂, NO₂, particules fines (PM10) et teneurs en métaux dans l'air, et pH des eaux de pluie.
- **Faune** : suivi des populations d'oiseaux (Indice Patrimonial Avifaune IPA).

Le suivi de l'herpétofaune, mis en place depuis 2010, n'est effectué selon un protocole standardisé que depuis 2015 ; son intégration au diagnostic ne sera donc possible qu'à partir du bilan 2019 (données 2018).

Les suivis effectués sur certaines espèces animales envahissantes (crapaud buffle, fourmis exogènes) ont lieu dans des zones anthropisées et ne reflètent donc pas la qualité du milieu naturel. Le suivi des échouages de pétrels et oiseaux marins depuis 2008 ne constitue pas non plus un moyen d'estimer l'état de santé des milieux terrestres naturels. Leurs résultats ne sont donc pas pris en compte dans le diagnostic annuel mais sont présentés à titre indicatif.

- **Flore** : suivi des concentrations en soufre dans les feuilles, de la symptomatologie, de l'évolution de l'état de santé des massifs forestiers d'intérêt prioritaire (ISEV et surface impactées), et de la composition chimique de la litière, du sol et des feuilles.

V.2.3. Stations de suivi et stations de référence par zone

Le tableau suivant (Tableau 33) présente les 81 stations de suivis du milieu terrestre réparties dans les 11 zones du milieu terrestre, ainsi que les compartiments (air, sol, flore et faune) suivis au niveau de chacune de ces stations.

Stations de référence		Compartiments suivis							Stations de suivi		Compartiments suivis						
Zone	Station	Air			Flore		Faune		Zone	Station	Air			Flore		Faune	
Pic du Grand Kaori et Pépinière	Pic du Grand Kaori	A1						Fa1	Mine (Kwé Nord et Est)	Forêt Kwé Est						Fa1	
	PGK1				FI1			Forêt Kwé Nord							Fa1		
	PGK2				FI1			Forêt Jaffré							Fa1		
	PGK3				FI1			Forêt Carrière							Fa1		
	PGK4				FI1			Forêt S2						Fa1			
	SO20			A4			FI3	Forêt Tuyau (SMLT)						Fa1			
	SO27						FI3	FA					FI2				
SO28						FI3	FSMLT					FI2					
Forêt Nord	Forêt Nord	A1	A2	A3				Fa1	Mine (Kwé Ouest et parc à résidu)	FKN1					FI2		
	Forêt Nord-côté Port Boisé						Fa1	FTM						FI2			
	FN1				FI1			FCPKE						FI2			
	FN2				FI1			FKE						FI2			
	FN3				FI1			FCAP1						FI2			
	FN4				FI1			FT						FI2			
	PS 19			A4				Base-vie	Base-vie	A1	A2						
	PS 29			A4					Usine (Auxiliaire)	A1					FI3		
	PS 30			A4					SO1						FI3		
	U3					FI2			SO3						FI3		
U6					FI2		SO4							FI3			
U10					FI2		SO5							FI3			
BV Port Boisé	Port Boisé			A3					SO6						FI3		
Forêt Est du plateau de Goro (Wadjana et Truu)	Wadjana						Fa1		SO8						FI3		
	Forêt mine des japonais						Fa1		SO9						FI3		
	FWAD2					FI2			SO10			A4			FI3		
Pic du Pin	Pic du Pin						Fa1		SO11			A4			FI3		
	PP1				FI1				SO12						FI3		
	PP2				FI1				SO13			A4			FI3		
Total stations de référence		2	1	2	4	10	4		3	5	Usine et BV Creek Baie Nord	SO14			A4		FI3
Légende : Degré d'influence par rapport à l'activité industrielle et minière : Fort Modéré Nul Réseaux de suivi : Air- polluants atmosphériques Air- teneurs métaux PM10 Air- teneurs métaux retombées poussières Air-tubes passifs Flore - réserves provinciales Flore - MFIP Flore - symptomatologie Faune -avifaune												SO15					FI3
												SO16					FI3
												SO17					FI3
												SO19			A4		FI3
												SO21					FI3
												SO22			A4		FI3
												SO23					FI3
												SO24					FI3
												SO25					FI3
												SO26					FI3
												U1				FI2	
												U4				FI2	
												U7				FI2	
												U9				FI2	
												U11				FI2	
												U13				FI2	
												U14				FI2	
												U15				FI2	
												U16				FI2	
												U18				FI2	
												U19				FI2	
												U20				FI2	
												U21				FI2	
												U23				FI2	
												U25				FI2	
	Total stations de suivi		2	1	0	6	0	24	22								

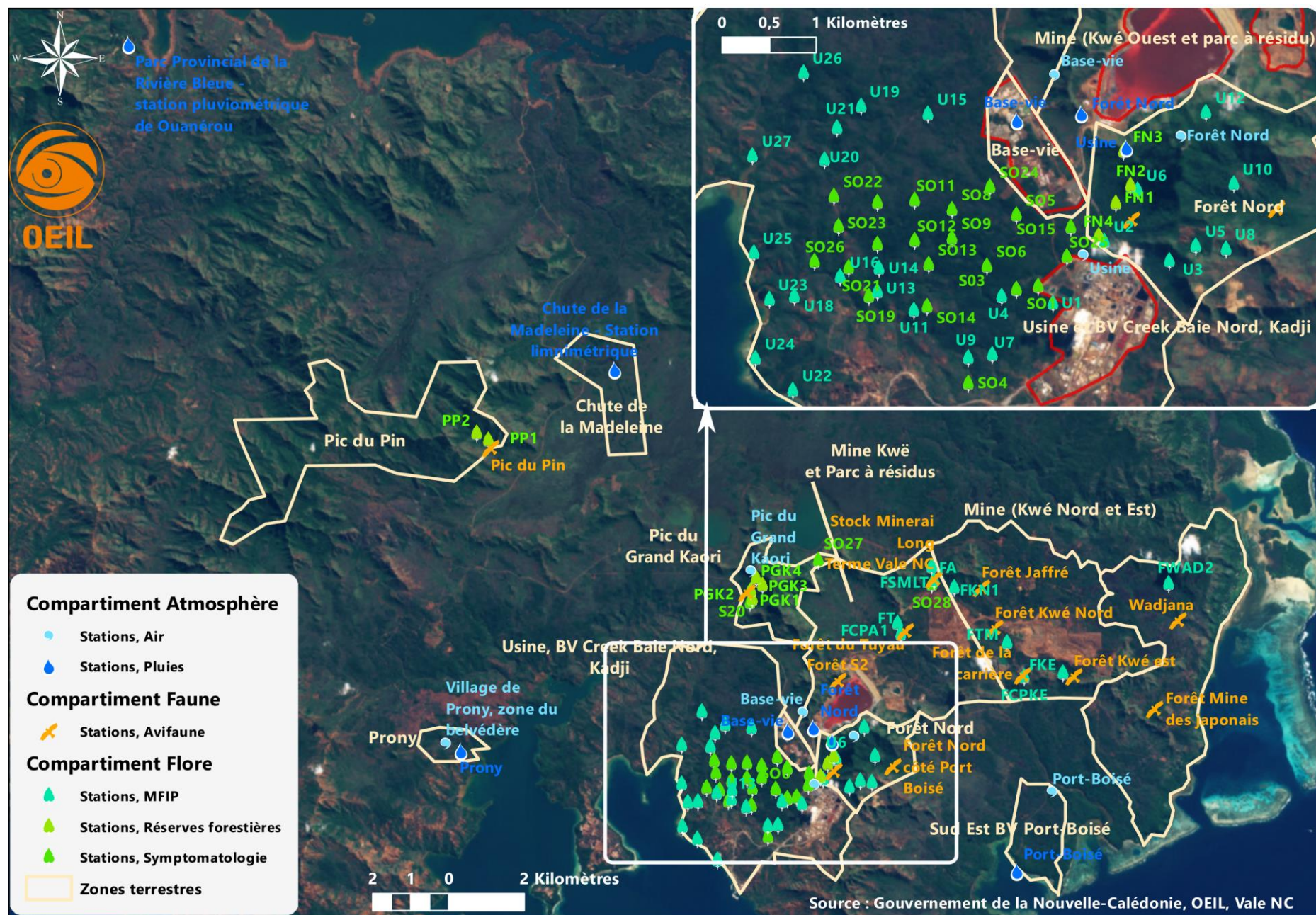


Figure 28: Carte des stations de suivi des différents compartiments du milieu terrestre

V.3. Synthèse des paramètres suivis dans les différents compartiments des milieux terrestres

Compartiment	Intitulé du suivi	Objectifs	Paramètres suivis
Air	Stations de mesures Scalair	Mesure des polluants atmosphériques	Dioxyde de soufre (SO ₂), Dioxyde d'azote (NO ₂) Poussières <10 µm (PM ₁₀) Indicateur de la Qualité de l'Air (IQA)
		Mesure des teneurs en métaux dans les PM ₁₀	Métaux lourds (As, Cd, Ni, Hg et Pb)
		Mesure des teneurs en métaux dans les retombées de poussières	Métaux lourds (As, Cd, Ni, Hg, Pb, et Zn)
	Tubes passifs	Mesure en polluants atmosphériques	Dioxyde de soufre (SO ₂)
	Eaux de pluies	Mesure de paramètres dans l'eau de pluie	Sulfate (SO ₄), Chlorures (Cl), Phosphates (PO ₄) Conductivité et pH
flore	Symptomatologie	Identification de symptômes foliaires	Nombre d'individus impactées, Degré de sévérité des symptômes
		Analyse chimique du sol et des feuilles	Soufre (S)
	Réserves provinciales	Analyse chimique du sol et de la litière	Éléments majeurs (S, N, Ca, P) Métaux lourds (Al, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn)
		Analyse chimique des feuilles	Éléments majeurs (S, N, Ca, P, K, Mg, Na) Métaux lourds (Al, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn)
		Evaluation du stress de la végétation	Mesure de la fluorimétrie
	MFIP	Evaluation des surfaces de végétation impactées	% de surfaces impactées Indicateur Synthétique d'Evolution de la Végétation (ISEV)
Faune	Avifaune	Identification d'oiseaux	Indice patrimonial

Tableau 34: Nature des 25 paramètres suivis au niveau compartiments (air, flore, faune) du milieu terrestre

V.4. Détail par compartiment et par paramètre : des stations, fréquences de suivi, métriques et référentiels utilisés pour l'attribution de notes

V.4.1. Compartiment atmosphérique (air et pluies)

V.4.1.a. Mesure du SO₂, NO₂ et PM₁₀ dans l'air

Objectif

L'objectif de ce suivi est de mesurer la pression que pourrait exercer sur la végétation les polluants atmosphériques et les particules fines d'origine industrielle.

Les mesures de SO₂, NO₂ et PM₁₀ étant redondantes avec le calcul de l'Indice de Qualité de l'Air (IQA), les scores attribués à ces trois paramètres ne seront pas pris en compte dans l'attribution du score final par zone.

Stations et fréquences de suivi

En 2017, Scal'Air réalise uniquement le suivi de 4 stations de mesure de la qualité de l'air (Tableau 33). En effet, les stations de Prony village et de Port Boisé ne sont plus suivies depuis 2016.

La station du Pic du Grand Kaori est une station mobile, les trois autres sont des stations fixes. Les mesures y sont réalisées en continu durant toute l'année.

La station Usine (Auxiliaire) a été mise en place suite à l'arrêté complémentaire du 5 septembre 2012 établi en raison du dépérissement de la végétation observé autour de l'usine.

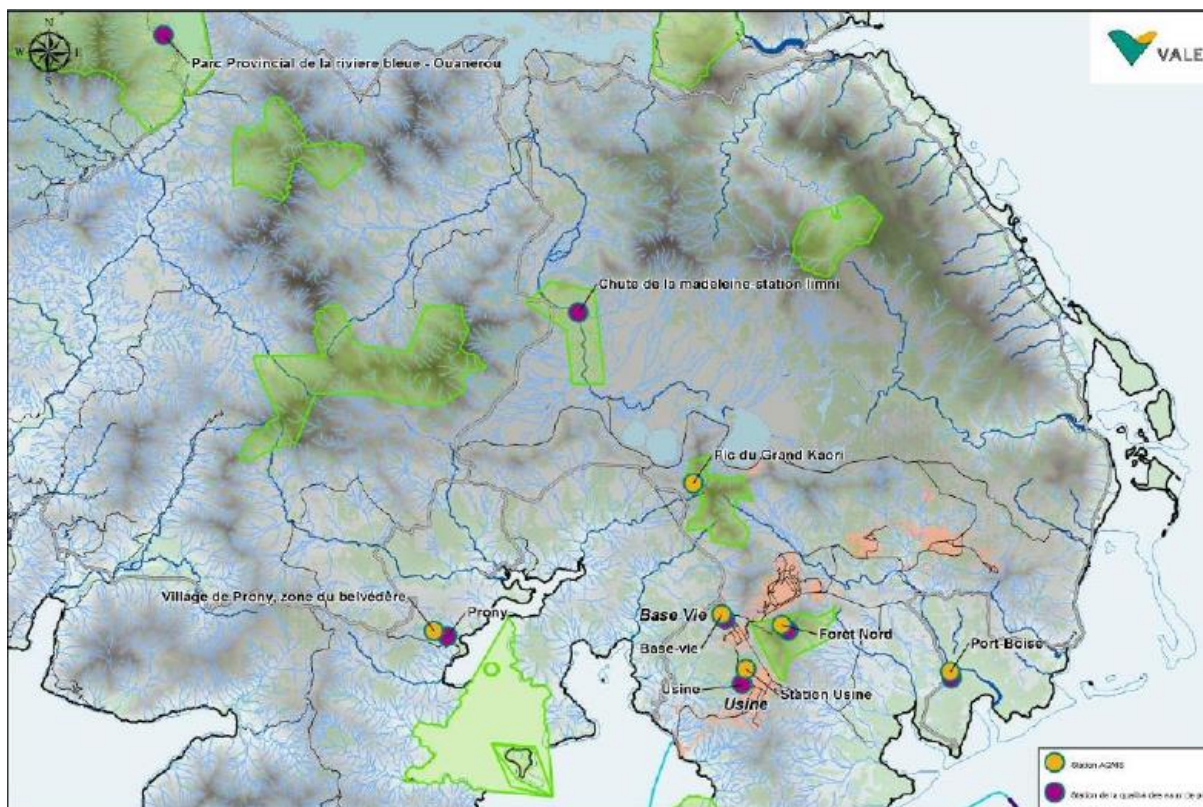


Figure 29: Carte des stations de suivi des polluants atmosphériques (SO₂, NO₂, PM₁₀ - en orange) et des eaux de pluies (en violet) -source Vale-NC

Protocole de suivi

Au niveau de chaque station de mesure de la qualité de l'air, les concentrations en gaz polluants (SO₂ et NO₂) et les quantités de particules fines en suspension de moins de 10 microns (PM₁₀) sont mesurées en continu à l'aide d'analyseurs adaptés à chaque type de polluant :

- Un analyseur AF22 pour le SO₂
- Un analyseur AC32 pour le NO₂
- Un analyseur MP10 pour les PM₁₀

Valeurs seuil

En Nouvelle-Calédonie, l'arrêté N°1467-2008-PS du 09/10/2008 relatif à l'exploitation du site de Goro (entreprise VALE NC en 2012) prescrit les **valeurs seuil réglementaires** suivantes :

- **400 µg/m³ (horaire) et 30 µg/m³ (annuelle)** pour le dioxyde d'azote (protection de la végétation) ;
- **570 µg/m³ (horaire), 230 µg/m³ (journalière) et 20 µg/m³ (annuelle)** pour le dioxyde de soufre (protection de la végétation) ;
- **50 µg/m³ (journalière) et 20 µg/m³ (annuelle)** pour les PM₁₀ (pour la protection de la santé-valeur guide de l'OMS)

Les métriques comparées à ces valeurs seuils sont une moyenne horaire, journalière et/ou annuelle.

La gamme de données d'une année considérée n'est estimée exploitable pour être comparée aux valeurs seuil, qu'à partir de **75% de valeurs journalières acquises et valides**.

Evolution temporelle à moyen terme

L'évolution dans le temps de la moyenne annuelle de chaque paramètre de suivi de la qualité de l'air est rapportée, et permet de signaler une augmentation par « Oui » ou « Non » sur la base de ce critère.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

V.4.1.b. Calcul des IQA (Indice de Qualité de l'Air)

Stations et fréquences de suivi

Il s'agit des mêmes stations que celles présentées au point précédent.

Méthode de calcul

Sur une station donnée, l'IQA est calculé journalièrement à partir des concentrations horaires maximales en gaz polluants (SO₂, NO₂) et des concentrations moyennes journalières en PM10. Une grille de calcul permet d'attribuer des sous-indices (allant de 1 à 10) à chaque polluant, en fonction des valeurs prises par les différentes concentrations. L'IQA correspond au sous-indice le plus élevé des trois.

Valeurs seuil

Selon la valeur prise par l'IQA, il est placé dans une des classes de qualité suivantes : « Très bon », « Bon », « Moyen », « Médiocre » et « Mauvais » (d'après une grille de qualité définie par Scal'Air). Les classes « Moyen à Médiocre » de Scal'Air correspondent à la classe « Médiocre » de notre diagnostic (décision du COTEC 2 de Septembre 2016). Sur une année donnée, on peut dès lors calculer les pourcentages d'IQA mesurés sur une station correspondant à chaque classe de qualité.

Pour attribuer un score annuel aux stations de mesure de la qualité de l'air, on s'appuie sur la règle suivante (définie en 2015, dans la Note technique Terre (Ravary, 2015b)) : **le score annuel correspond à la classe de qualité la plus déclassante, à partir du moment où celle-ci représente plus de 10% des IQA de l'année.**

Evolution temporelle à moyen terme

L'évolution dans le temps des % d'IQA de classes « Mauvais » et « Médiocre » est rapportée, et permet de signaler une augmentation par « Oui » ou « Non » sur la base de ce critère.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

V.4.1.c. Mesure du SO₂, par tubes passifs

Il a été décidé en COTEC 1 de mars 2018 d'ajouter les résultats de ce suivi au diagnostic annuel.

Objectif

Le SO₂ est suspecté d'être le facteur prépondérant à l'origine du dépérissement de la formation de chênes gommés autour de l'usine constaté depuis 2010. L'objectif de ce suivi est de mesurer la concentration en SO₂ autour de l'usine afin de confirmer la réalité du lien existant entre le SO₂ et le phénomène de dépérissement.

Stations et fréquences de suivi

Dix tubes passifs font l'objet d'un suivi : 6 tubes passifs sont installés au niveau de la zone de dépérissement de la végétation autour de l'usine, 3 tubes passifs sont localisés à l'Est de l'Usine dans la Forêt Nord et un dernier tube passif se trouve en dehors de la zone d'influence de l'Usine, dans la zone du Pic du Grand Kaori (Tableau 33 et Figure 30).

Le suivi est réalisé mensuellement.



Figure 30: Carte des stations de suivi du SO₂ par tubes passifs (source Vale-NC)

Protocole de suivi

Les tubes passifs assurent le piégeage du SO₂ durant un mois, puis sont analysés en laboratoire.

Valeurs seuil

La **valeur seuil réglementaire** pour la protection de la végétation établie à **20 µg/m³ (annuelle)** pour le dioxyde de soufre (arrêté N°1467-2008-PS du 09/10/2008 relatif à l'exploitation du site de Goro), n'est pas transposable au réseau de tubes passifs, du fait de méthodes de calculs et d'unités d'expression de résultats différentes (Bureau Veritas, 2012).

Toutefois, nous décidons de comparer les résultats obtenus avec cette valeur seuil afin d'attribuer un score aux stations de suivi sur la base de critère.

Evolution temporelle à moyen terme

L'évolution dans le temps de la moyenne annuelle du SO₂ est rapportée, et permet de signaler une augmentation par « Oui » ou « Non » sur la base de ce critère.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

V.4.1.d. Teneur en métaux dans les particules fines (PM10) en suspension : As, Cd, Ni, Hg et Pb

Objectif

L'objectif de ce suivi est de mesurer la pression que pourrait exercer les métaux lourds véhiculés par les PM10 sur la végétation.

Stations et fréquences de suivi

Les 2 stations de suivi sont : Forêt Nord et Base Vie (Tableau 33).

La teneur en métaux contenus dans les PM10 est mesurée de façon ponctuelle, 2 fois par an (en saison sèche et en saison humide) sur 5 semaines consécutives, soit 10 semaines au total.

Protocole de suivi

L'appareil utilisé est un préleveur de type PARTISOL. Le protocole de suivi consiste à laisser en place un filtre durant une semaine, qui est ensuite prélevé puis analysé pour la teneur en 5 métaux (As, Cd, Ni, Hg et Pb). Nous disposons donc de 10 filtres à analyser à l'issue des deux campagnes de suivi.

Valeurs seuil

Dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement, les directives relatives à la réglementation **des métaux lourds dans les PM10** fixent pour chacun d'eux une **valeur cible en moyenne annuelle** (Tableau 35).

Directives sources	Métaux	Valeur cibles
Directive 2004/107/CE	Arsenic	6 ng/m ³
	Cadmium	5 ng/m ³
	Nickel	20 ng/m ³
Directive 1999/30/CE	Plomb	0,5 µg/m ³

Tableau 35: Valeurs cibles des paramètres « arsenic », « cadmium », « nickel » et « plomb » dans les PM10

Il n'existe **pas de valeur de référence** pour le **mercure**. Cependant les teneurs mesurées en mercure jusqu'à aujourd'hui ont toujours été inférieures ou égales au niveau de détection.

La métrique comparée à ces valeurs seuils est la moyenne annuelle basée sur l'ensemble des données disponibles pour l'année considérée (sur tous les filtres) : une moyenne annuelle supérieure à la valeur seuil entraîne l'attribution d'un score Mauvais, tandis qu'en l'absence de dépassement le score est Bon.

La réglementation européenne impose un **taux de représentativité des mesures d'au moins 14% de l'année** pour que les valeurs puissent être comparées aux valeurs de références annuelles, avec un échantillonnage régulier au cours de l'année. Dans le cas du réseau du Sud, les 14% sont respectés (correspondant à 8 semaines par an minimum), puisque le suivi est réalisé sur 10 semaines.

Evolution temporelle à moyen terme

L'évolution dans le temps de chaque paramètre est rapportée, et permet de signaler une augmentation par « Oui » ou « Non » sur la base de ce critère.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

V.4.1.e. Teneur en métaux dans les retombées de poussières : As, Cd, Ni, Hg, Pb et Zn

Objectif

L'objectif de ce suivi est de mesurer la pression que pourrait exercer les métaux lourds véhiculés par les retombées de poussières sur la végétation.

Etant donné qu'il n'existe pas de valeur de référence française ou européenne pour les métaux dans les retombées de poussières, le score attribué à ce suivi ne sera pas pris en compte dans l'attribution du score final par zone.

Stations et fréquences de suivi

Les 2 stations de suivi sont : Forêt Nord et Port Boisé (Tableau 33).

La teneur en métaux contenus dans les retombées de poussière est mesurée tous les deux mois.

Protocole de suivi

Le dispositif de collecte de type Jauge Owen, laissé sur place pendant 28 jours, permet de collecter l'ensemble des retombées de poussières. La teneur des retombées de poussières en 6 métaux (As, Cd, Ni, Hg et Pb) est ensuite analysée au laboratoire.

Valeurs seuil

Il n'existe pas de valeur de référence française ou européenne pour les concentrations de retombées de poussières et les teneurs en métaux dans les retombées de poussières.

Toutefois, nous décidons de comparer les résultats obtenus, à titre indicatif, avec d'autres **réglementations d'origine allemande et suisse** (Tableau 36).

Réglementations	Métaux	Valeurs
TA LUFT (Allemagne, version du 24 juillet 2002)	Retombées de poussières	350 mg/m ² /j
	Arsenic	4 µg/m ² /j
	Cadmium	2 µg/m ² /j
	Nickel	15 µg/m ² /j
	Plomb	100 µg/m ² /j
Conseil Fédéral Suisse (Ordonnance sur la Protection de l'air du 3 juin 2003)	Zinc	400 µg/m ² /j

Tableau 36: Valeurs seuil des paramètres « arsenic », « cadmium », « nickel », « plomb », « zinc » dans les retombées de poussières

Evolution temporelle à moyen terme

L'évolution dans le temps de chaque paramètre est rapportée, et permet de signaler une augmentation par « Oui » ou « Non » sur la base de ce critère.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

V.4.1.f. Suivi des eaux de pluie : SO_4^{2-} , Cl^- , PO_4^{3-} , conductivité et pH

Objectif

L'objectif de ce suivi est de suivre l'impact de la pollution atmosphérique sur la qualité des eaux de pluie, qui pourront à leur tour avoir un impact sur la végétation.

Stations et fréquences de suivi

La collecte des eaux de pluie est effectuée sur 7 stations (Usine, Base-Vie, Forêt Nord, Port Boisé, Prony, Chute de la Madeleine, Parc Provincial de la Rivière Bleue), dont certaines se trouvent à proximité des stations de mesure de la qualité de l'air (Figure 29). Les prélèvements sont effectués trimestriellement.

Protocole de suivi

La collecte des eaux de pluies (300 ml minimum) est effectuée 7 jours après les premières pluies.

Dans chaque prélèvement, les paramètres mesurés sont le sulfate, chlorure, nitrate, phosphate, la conductivité et le pH.

Gamme de référence

Les données de références, mesurées antérieurement à l'exploitation minière, sont comparées au jeu de données des stations de suivi. Sur 4 stations (Usine, Déversoir, Capture et Pépinière), une comparaison avec les données de référence pour le Sulfate, le Chlorure, le Nitrate, et le pH (moyenne des concentrations entre janvier 2004 et juillet 2005) permet l'attribution d'un score Bon ou Mauvais par paramètre.

Valeurs seuil

Aucune valeur seuil n'est applicable aux campagnes de mesure de la qualité des eaux de pluie.

Evolution temporelle à moyen terme

L'évolution dans le temps de chaque paramètre est rapportée, et permet de signaler une augmentation par « Oui » ou « Non » sur la base de ce critère.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

V.4.2. Compartiment flore

V.4.2.a. Suivi analyses chimiques du sol, de la litière et des feuilles des réserves provinciales

Objectif

L'objectif de ce suivi est d'évaluer l'impact des apports atmosphériques (SO₂ et NO_x atmosphériques rejetés par le complexe industriel) sur les différents compartiments du sol, de la litière et des feuilles des plantes. L'évolution au fil des années des concentrations en soufre et azote peut ainsi être interprétée en fonction de l'intensité des rejets atmosphériques liés à l'activité industrielle.

Stations et fréquences de suivi

10 placettes permanentes ont été délimitées au sein des trois réserves faunistiques et floristiques provinciales du Pic du Grand Kaori, de la Forêt Nord et du Pic du Pin. Les deux premières réserves comptent 4 placettes chacune suivies annuellement, tandis que les 2 placettes du Pic du Pin ne sont suivies que tous les deux ans (Tableau 33 et Figure 31).

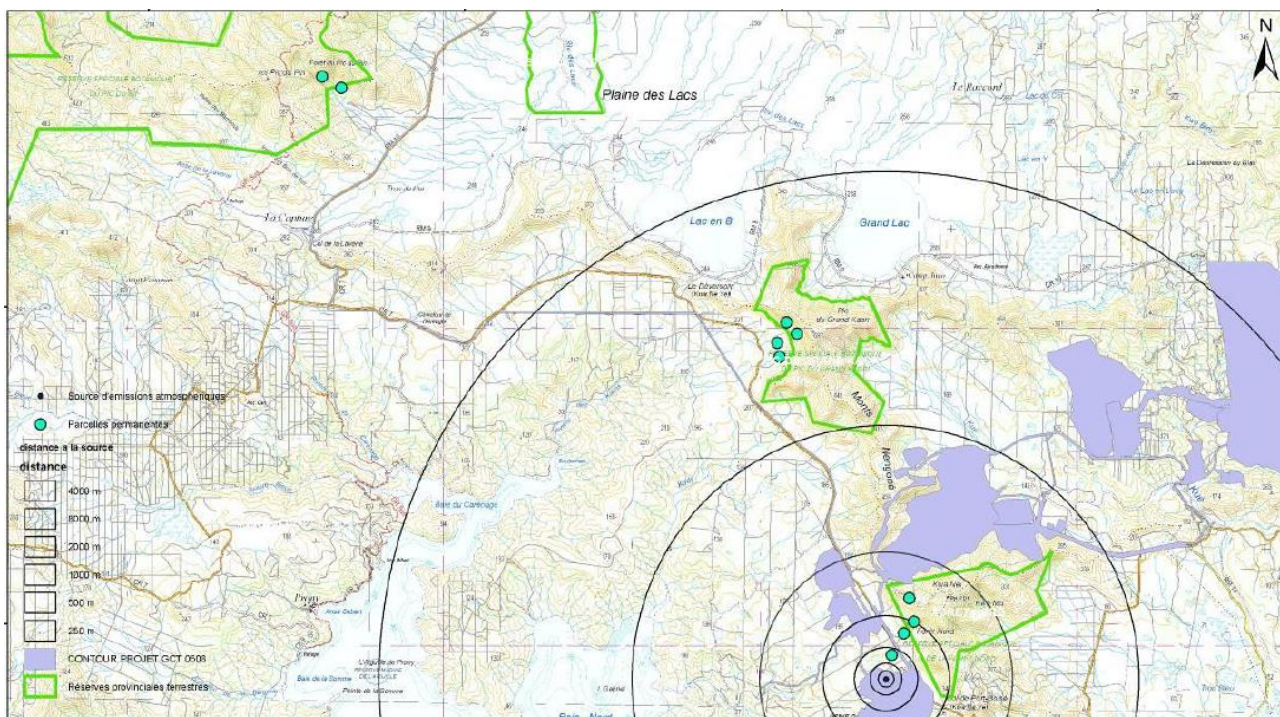


Figure 31: Carte des stations de suivi des paramètres « analyses chimiques (sols, la litière et les feuilles) » et « fluorimétrie » (source Vale-NC)

Protocole de suivi

Pour ce faire, des échantillons de sols, litières et feuilles de 4 espèces communes (*Gardenia aubreyi*, *Garcinia neglecta*, *Sparattocyce dioica* et *Xylopia vieillardii*) sont prélevés au niveau des parcelles permanentes, puis envoyé en Australie afin d'évaluer leurs teneurs en soufre, azote, métaux et autres éléments majeurs.

En 2017, le protocole de suivi a évolué afin de compléter les analyses chimiques du sol et de la litière par la mesure des concentrations en soufre isotopique ($\delta^{34}\text{S}$), dans le but de déterminer l'origine naturelle et/ou industrielle du soufre.

Gamme de référence géographique

Les stations de suivis sont localisées à distance croissante de la zone d'influence des activités minières et industrielles. Bien que Pic du Pin soit la station la plus éloignée des installations industrielles et minières, elle ne peut être considérée comme station de référence en raison des différences importantes de diversité spécifique entre les stations, qui influencent la composition du sol. **Aucune valeur de référence** ne peut donc être prise en compte pour ce paramètre.

Valeurs seuil

Aucune valeur seuil de concentrations en soufre, en azote, en métaux et en éléments majeurs dans le sol, la litière ou les feuilles n'est applicable.

Evolution temporelle à moyen terme

L'évolution dans le temps de chaque paramètre est rapportée, et comparée aux données de la qualité de l'air afin de signaler une augmentation par « Oui » ou « Non » pour l'ensemble de ces paramètres. Les résultats s'appuient sur l'interprétation des conclusions des rapports du prestataire en charge de ces suivis.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

V.4.2.b. Mesure de la fluorimétrie des réserves provinciales

Objectif

La transformation par les plantes de l'énergie lumineuse en matière végétale (activité photosynthétique) produit de la fluorescence qui peut s'observer au niveau des feuilles. La fluorimétrie (ou fluorescence chlorophyllienne) étant liée au niveau d'activité photosynthétique d'une plante, elle nous renseigne donc indirectement sur l'état de stress de la plante, étant donné que l'activité photosynthétique d'une plante stressée a tendance à diminuer.

L'objectif de ce suivi est donc de déterminer l'état de stress des plantes, en réalisant des mesures de fluorimétrie.

Stations et fréquences de suivi

Huit placettes permanentes ont été délimitées au sein des deux réserves faunistiques et floristiques provinciales du Pic du Grand Kaori et de la Forêt Nord. Chaque réserve compte 4 placettes, dont le suivi bisannuel est réalisé en saison chaude.

La carte de localisation des stations est la même que celle du précédent suivi (Figure 31).

Protocole de suivi

La mesure de fluorimétrie est effectuée au niveau d'une feuille unique chez tous les individus présents sur une placette donnée. Cette mesure (valeur numérique instantanée FV/FM) est réalisée à l'aide d'un fluorimètre portatif.

Valeurs seuil

La **valeur numérique d'une plante saine** est d'environ 0,8 et diminue en cas de stress (Krauss & Weiss, 1991; Kupper et al, 1996). Les suivis fluorimétriques sont évalués sur la base d'une **grille de qualité** issue du COTEC 1 de mars 2018, permettant l'attribution d'un score Très bon, Bon, Moyen ou Mauvais à chaque station suivie (Tableau 37).

Valeurs seuils	Note
> 0,8	Très bon
0,6 à 0,8	Bon
0,4 à 0,6	Moyen
< 0,4	Mauvais

Tableau 37: Grille de qualité du paramètre « fluorimétrie »

Evolution temporelle à moyen terme

L'évolution dans le temps des moyennes de fluorimétrie est rapportée, et permet de signaler une diminution par « Oui » ou « Non » sur la base de ce critère.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

V.4.2.c. Suivi symptomatologique des feuilles

Objectif

L'objectif de ce suivi est d'évaluer le lien entre les apports atmosphériques de SO₂ et le phénomène de dépérissement observé au niveau des massifs forestiers situés autour de l'usine depuis décembre 2010.

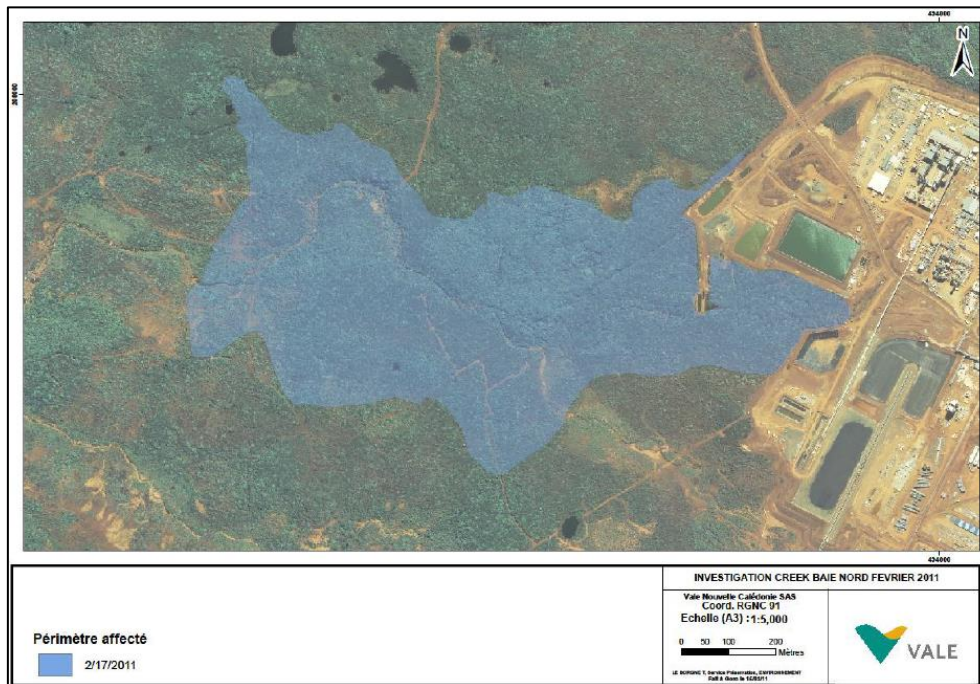


Figure 32: Carte de la zone impactée par le dépérissement foliaire (source Vale-NC)

Stations et fréquences de suivi

Le protocole de suivi ayant évolué en 2016 afin d'évaluer l'évolution de l'emprise spatiale de la zone de dépérissement, la position de la plupart des stations de l'ancien réseau n'a pas été conservée. Le nouveau réseau compte désormais 25 stations, dont la fréquence de suivi est quadrimestrielle (Tableau 33 et Figure 33).

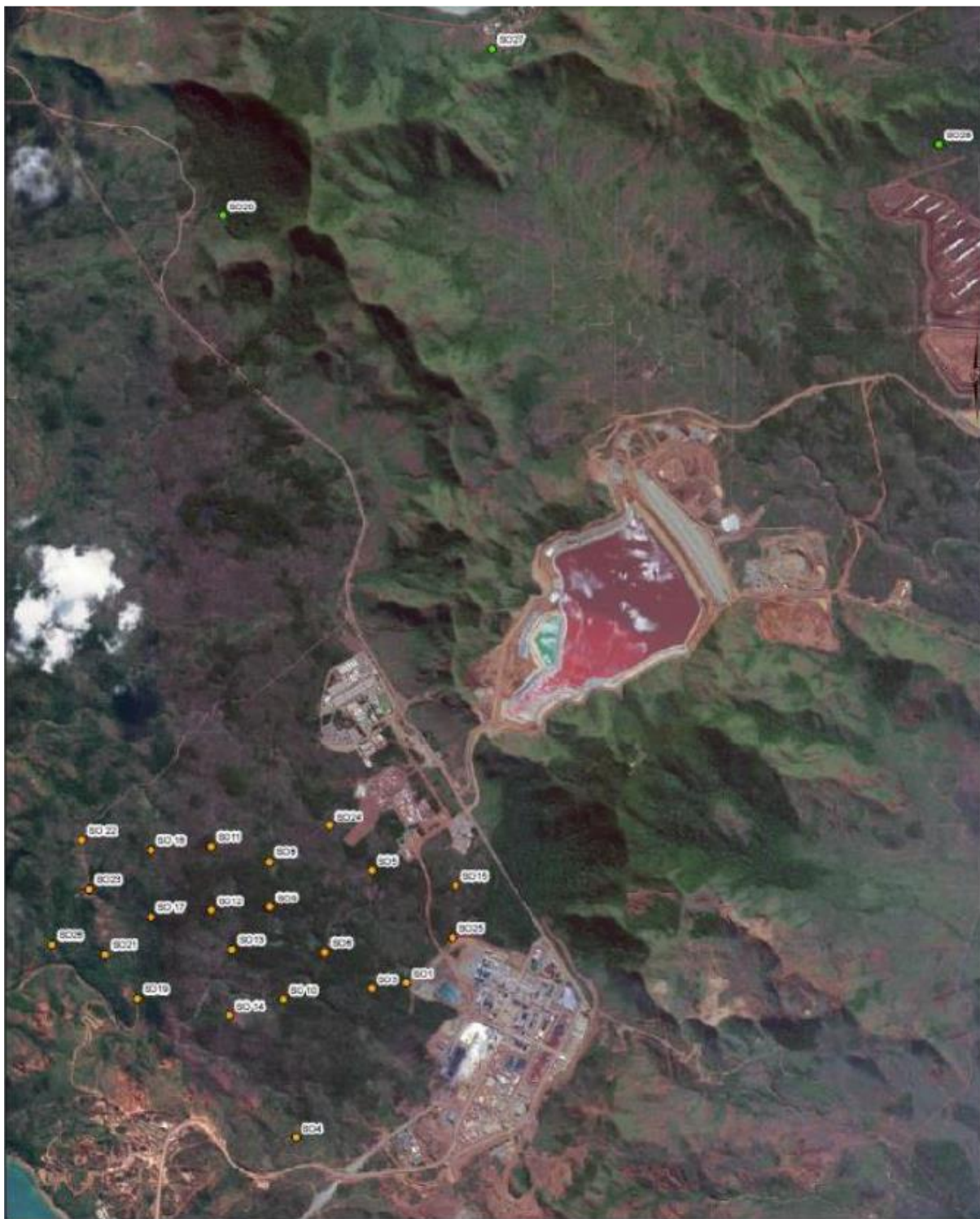


Figure 33: Carte des stations du nouveau réseau de suivi « symptomatologie foliaire » (source Vale-NC)

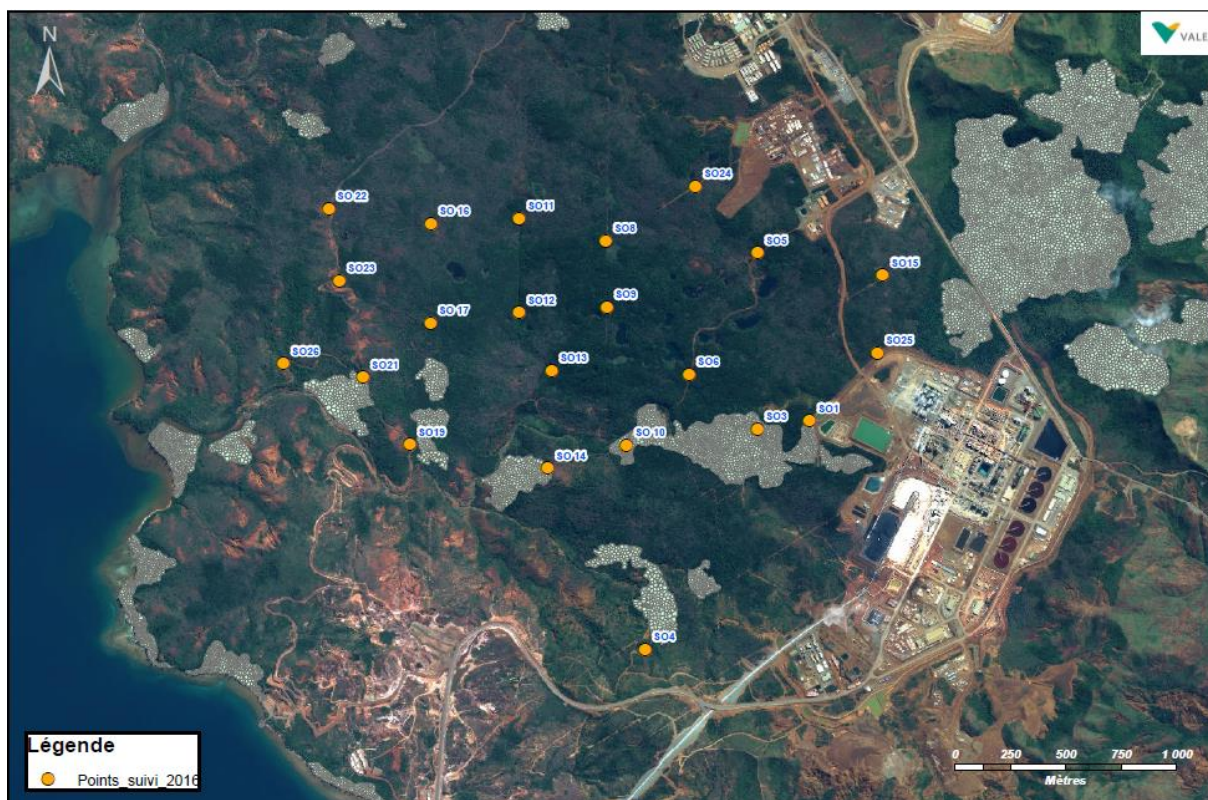


Figure 34: Carte des stations du nouveau réseau de suivi « symptomatologie foliaire » et recoupement avec les stations « MFIP » (source Vale-NC)

Afin de vérifier que la zone d'impact ne s'étend pas, les 19 stations de l'ancien réseau sont toujours suivies, mais leur fréquence de suivi est annuelle (Figure 35).



Figure 35: Carte des stations de l'ancien réseau de suivi « symptomatologie foliaire » (source Vale-NC)

Protocole de suivi

Le guide de suivi des symptômes foliaires décrit, pour des espèces indicatrices particulièrement sensibles, les symptômes caractéristiques d'une exposition aigüe au SO₂ atmosphérique, que sont : décoloration

(chlorose), nécrose ou déformation. Les symptômes foliaires peuvent être de différents types suivant leur niveau de gravité, allant de 1 à 4 (cf protocole de suivi symptomatologique 2016).

Au niveau des 25 stations, 8 espèces indicatrices du guide de suivi des symptômes foliaires font l'objet d'un suivi, dont l'espèce chêne gomme (*Arillastrum gummiferum*). Pour chaque station, les 3 espèces indicatrices les plus représentatives de la composition floristique de la station ont été retenues.

Le suivi symptomatologique consiste à évaluer les symptômes observés sur 4 individus d'une même espèce indicatrice. L'indice attribué, allant de « rien » à « mort », dépend du degré de sévérité des symptômes foliaires ainsi que de la répartition diffuse ou localisée des symptômes. Le balisage des individus suivis permet de reproduire l'évaluation sur les mêmes arbres tous les quatre mois. Sachant que 3 espèces indicatrices sont suivies par station, cela représente 12 individus évalués par station, soit un total de 300 individus pour les 25 stations.

Dans le cadre du suivi symptomatologique, le suivi de paramètres complémentaires tels que les concentrations en soufre dans les compartiments sols, végétation (*Arillastrum gummiferum* et *Garcinia neglecta*) et atmosphère (cf suivi par tubes passifs), a pour but de vérifier que les symptômes observés sont bien le fait d'une exposition au SO₂. Par ailleurs, d'autres paramètres sont suivis afin de s'assurer que les plantes ayant des symptômes ne présentent pas un état de santé général dégradé. Il s'agit par exemple de la reprise de la végétation, la phénologie (production de fleurs, fruits) et l'état phytosanitaire de la plante. Enfin, le suivi symptomatologique s'intéresse également à l'impact des dépôts de cendres sur l'état de santé général de la plante.

Valeurs seuil

Les deux paramètres pris en considération dans la **grille de qualité** issue du COTEC 1 de mars 2018, permettant l'attribution d'un score Très bon, Bon, Moyen ou Mauvais à chaque station (Tableau 38), sont le **nombre d'individus impactés**, ainsi que la **sévérité des symptômes** rencontrés :

Nbre d'individus impactés *	Nbre d'individus d'indice: Fort, Sévère ou Mort**	Note
0	0	Tres bon
1 à 3	0	Bon
	≥ 1	Moyen
4 à 6	0	Moyen
	≥ 1	Médiocre
7 à 9	0	Médiocre
	≥ 1	Mauvais
10 à 12	0 à 12	Mauvais

* l'impact est constaté sur l'individu au moins une fois au cours des 3 campagnes de suivi

** l'indice Fort, Sévère ou Mort est constaté sur l'individu au moins une fois au cours des 3 campagnes de suivi

Tableau 38: Grille de qualité du paramètre « symptômes foliaires »

Evolution temporelle à moyen terme

Le protocole de suivi ayant évolué en 2016, la chronique de données est insuffisante pour évaluer la tendance d'évolution temporelle. Aucun score n'est attribué pour ce critère.

V.4.2.d. Suivi des Massifs Forestiers d'Intérêt Prioritaire (MFIP)

Objectif

L'objectif de ce suivi est d'évaluer l'état de santé des massifs forestiers situés autour du complexe industriel et minier, afin de détecter précocement des signes de déclin de la végétation. Ce suivi vient également en complément d'autres suivis, tel que le suivi symptomatologique.

Stations et fréquences de suivi

Depuis 2008, 27 MFIP font l'objet d'un suivi autour de l'usine. En 2016, le suivi de 8 massifs autour de la mine a été rajouté. En conséquence, 8 massifs autour de l'usine ont été retirés du suivi, ce qui maintient le nombre de stations suivies à 27 (Tableau 33 et Figure 36).

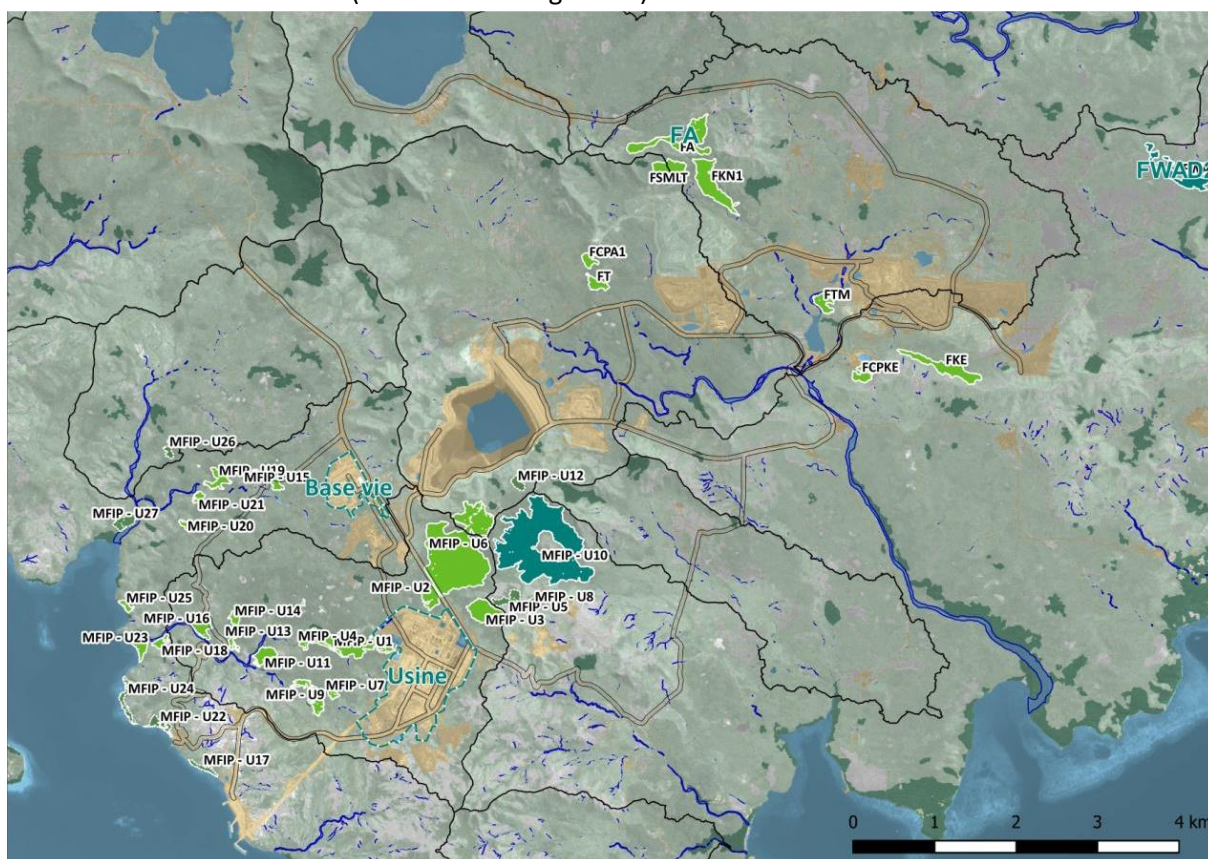


Figure 36: Carte des stations du réseau de suivi « MFIP » (source Vale-NC)

Protocole de suivi

Calcul des % de surfaces impactées

Les MFIP sont découpés en stations virtuelles de surveillance (SVS). Une SVS correspond à un arbre ou un groupe d'arbres. Leur taille est variable, allant de 12m² à plus de 600m² pour les plus importantes.

Un « impact » correspond à la dégradation ou la mort d'un arbre ou groupes d'arbres, sans considération de l'origine de l'impact (anthropique ou naturelle).

Pour une date d'observation donnée, le % de surfaces impactées d'une SVS est estimée à l'aide des images satellitaires, ce qui permet de placer la SVS dans une des classes suivantes :

% de surfaces impactées de la SVS	Classe d'impact de la SVS
0 à 30%	non impactée
30 à 50 %	impactée
50 à 100%	très impactée

Tableau 39: Grille de correspondance entre "% de surfaces impactées d'une SVS" et « classe d'impact d'une SVS »

Ainsi, on peut en déduire les % de SVS d'un MFIP appartenant aux différentes classes d'impacts : très impactée, impactée, non impactées.

Calcul de l'indicateur synthétique d'évolution de la végétation (ISEV)

L'indicateur synthétique d'évolution de la végétation (ISEV) d'un MFIP indique la tendance d'évolution de la végétation à une date donnée par comparaison avec l'observation précédente. L'intérêt de l'ISEV est qu'il ne considère pas uniquement un changement lié à un impact, mais l'ensemble des changements de la végétation lié à l'activité photosynthétique, le niveau de stress, la structure et la fermeture de la canopée. En effet, l'ISEV, indicateur développé par le bureau d'étude Bluecham SAS, est calculé à partir d'autres indicateurs scientifiquement validés et éprouvés depuis de nombreuses années dans le suivi par télédétection de la végétation en milieu tropical. Il s'agit des indices de mesure :

- de l'activité photosynthétique (NDVI)

Activité photosynthétique	Valeur NDVI
normale	[1 ; 0.5]
anormale	]0.5 ; 0.3[
végétation sénescence ou morte	<= 0.3

- de stress de la végétation (EVI)

Stress de la végétation	Valeur EVI
valeur normale attendue	[0.25 ; 0.5]
stress	]0.1 ; 0.25]
stress sévère	< 0.1

- de couverture foliaire (GRVI)

Couverture foliaire	Valeur GRVI
valeur normale attendue	> 0
jaunissement des feuilles	[-0.1 ; 0]
défoliation	< -0.1

- de structure de la canopée (Fr).

Structure de la canopée	Valeur Fr
valeur normale attendue	> 0.4
fractionnement de la végétation	< 0.4

A ce jour, nous ne disposons pas de la formule permettant de calculer l'ISEV à partir des indicateurs précités.

L'ISEV varie de -1 à 1 :

- Une valeur de -1 correspond à un défrichement total
- Une valeur de 0 indique qu'il n'y a eu aucun changement de la dynamique de la végétation
- Une valeur de +1 correspond à une revégétalisation d'un sol nu.

Dynamique de la végétation	Valeur ISEV
forte reprise	> 0.8
reprise	[0.5 ; 0.8]
stable	0
régression	[-0.5 ; -0.8]
forte régression	< -0.8

Tableau 40: Grille de qualité du paramètre "ISEV"

Valeurs seuil

Un score Très bon, Bon, Moyen, Médiocre ou Mauvais est attribué à chaque massif suivi selon le **pourcentage de végétation impactée** (Tableau 41Tableau 39), d'après les valeurs de **la grille de qualité** validée lors du COTEC de mars 2018.

% de surfaces impactées	Note
5% <	Très bon
5% à 15%	Bon
15% à 35%	Moyen
35% à 50%	Médiocre
> 50%	Mauvais

Tableau 41: Grille de qualité du paramètre « % de surface impactées d'un MFIP »

Evolution temporelle à long terme

Une augmentation est signalée par « Oui » ou « Non » pour chaque massif suivi selon la tendance d'évolution du % de surfaces impactées depuis le démarrage des observations.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

V.4.3. Compartiment faune

V.4.3.a. Suivi de l'avifaune

Objectif

L'objectif de ce suivi est de s'assurer que les nuisances causées par les activités industrielles et minières (défrichage, bruits, dépôts de poussière...) n'occasionnent pas une diminution d'abondance pour une espèce ou pour patch forestier donné. Une attention particulière doit être apportée aux espèces endémiques quasi-menacées d'après les critères de l'UICN.

Stations et fréquences de suivi

Le suivi est réalisé sur 12 patchs forestiers situés à proximité directe du site minier et industriel ou éloignés de plusieurs kilomètres pour les sites témoins (Tableau 33 et Figure 37).

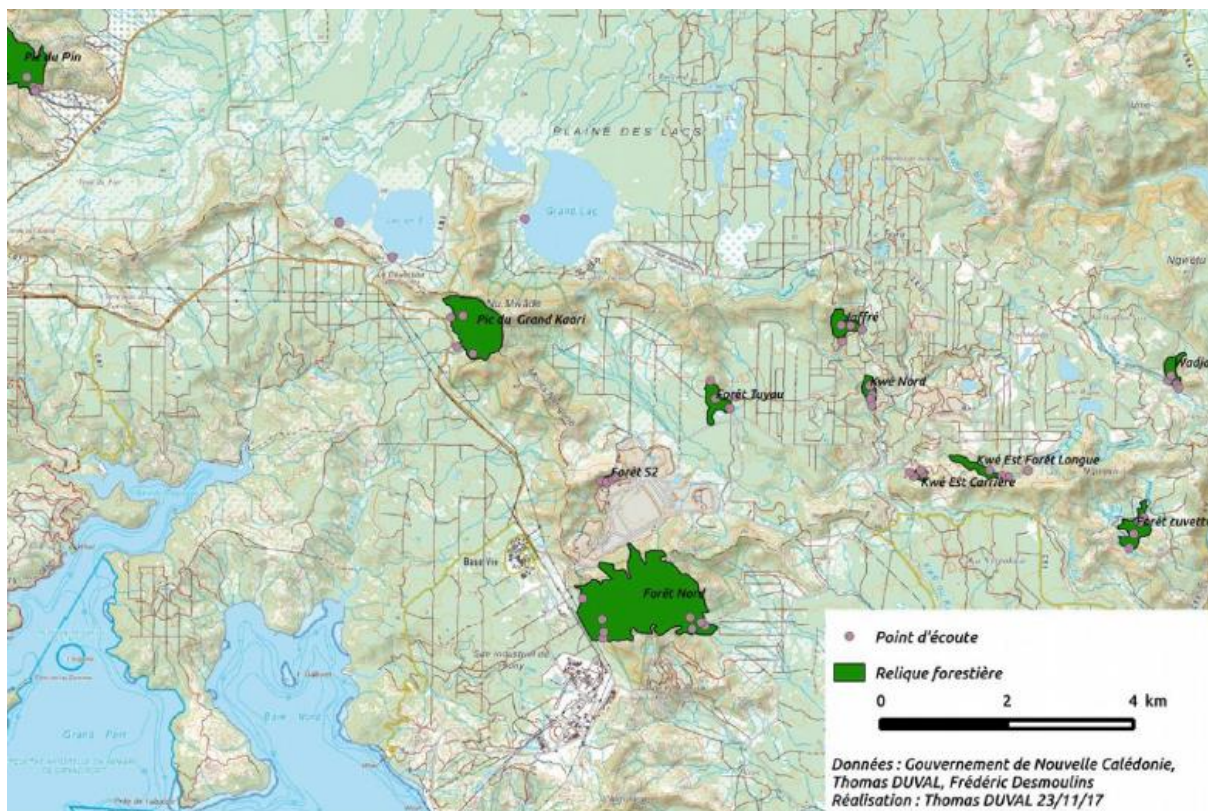


Figure 37: Carte des stations du réseau de suivi « avifaune » (source Vale-NC)

Les relevés sont effectués chaque année entre septembre et décembre, durant la période de reproduction où les oiseaux chantent davantage.

Protocole de suivi

Le suivi des oiseaux forestiers du plateau de Goro est réalisé au niveau de points d'écoute géoréférencés. Ces points d'écoute sont au nombre de 4 par massif, soit 48 points d'écoute au total. Ils sont espacés les uns des autres de 200 m minimum afin d'éviter les doubles comptages.

Sur un point d'écoute donné, les espèces présentes sans limitation de distance sont recensées pendant 10 minutes. Pour chaque point d'écoute, 4 répliques sont réalisés (deux le matin et deux l'après-midi).

Les conditions météorologiques sont relevées car elles peuvent influencer la détectabilité des oiseaux et donc induire un biais non négligeable.

En raison du changement de prestataire entre 2015 et 2017, l'interprétation de ce suivi doit être effectuée avec précaution en évaluant la comparabilité des résultats.

Valeurs seuil

Le prestataire initial avait élaboré l'**Indice Patrimonial (IP)** dans le but d'identifier les patches forestiers à plus forte valeur écologique. L'IP intègre les variables suivantes : le nombre d'espèces contactées, le nombre d'individus contactés, et le nombre d'espèces endémiques ainsi que le nombre d'espèces référencées par l'UICN (Tableau 42).

Variables	Nombre de contacts	Indice
Individus	40 <	1
	40 à 80	2
	> 80	3
Espèces totales	8 <	1
	8 à 13	2
	>13	3
Espèces endémiques	1 à 3 <	1
	3 à 7	2
	> 7 à 12	3
Espèces référencées UICN	Absence	0
	Présence	1

Tableau 42: Grille de détermination des sous-indices associés aux différentes variables entrant dans le calcul de l'IP. L'IP représente la somme des valeurs indicielles et varie donc de 3 à 10

Un score Très bon, Bon, Moyen, Médiocre ou Mauvais est attribué à chaque patch forestier suivi selon la valeur de l'IP, d'après les valeurs de la **grille de qualité** validée lors du COTEC de mars 2018 (Tableau 43).

Indice Patrimonial	Note
8,1 à 10	Très bon
7,1 à 8	Bon
6,1 à 7	Moyen
5,1 à 6	Médiocre
< 5	Mauvais

Tableau 43: Grille de qualité du paramètre « Indice Patrimonial »

Evolution temporelle à moyen terme

L'évolution dans le temps des IP est rapportée, et permet de signaler une diminution par « Oui » ou « Non » à chaque massif forestier sur la base de ce critère.

Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.

V.5. Suivis non intégrables au diagnostic

Les rapports mentionnés ci-dessous, sont des études qui ne sont pas intégrables directement au diagnostic de l'état de santé des milieux terrestre dans le grand sud. Cependant, ils peuvent faire l'objet d'un encart dans le Hors-série Magazine du Bilan de l'état de santé dans le Grand Sud pour apporter un éclairage particulier.

V.5.1. Compartiment faune

V.5.1.a. Suivi de l'herpétofaune

Objectif

L'objectif de ce suivi est de s'assurer que les nuisances causées par les activités industrielles et minières n'occasionnent pas une diminution d'abondance pour une espèce ou une station donnée. Ce suivi est d'autant plus important que la plupart des espèces sont considérées comme menacées d'après les critères de l'UICN.

Stations et fréquences de suivi

Le suivi des lézards forestiers est mené dans trois groupements forestiers denses de basse altitude : annuellement dans les réserves naturelles de la Forêt Nord (et site du Col de l'Antenne associé) et du Pic du Grand Kaori, sous influence du site industriel de VALE NC, et en alternance chaque année dans la forêt

SMLT (Stock Minerais Long Terme), située aux abords d'une vaste zone de stockage de minerais et d'une versé à stérile, ou dans la réserve du Pic du Pin (Figure 38).

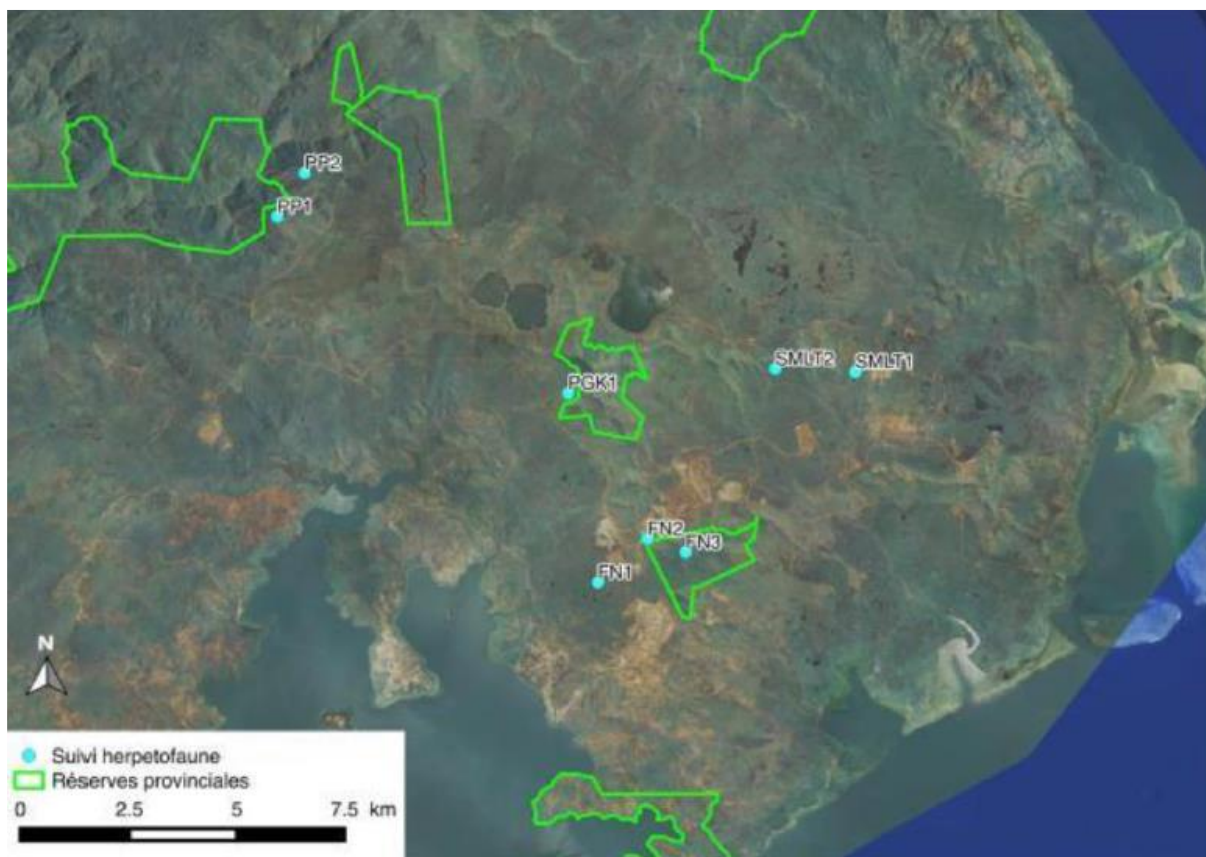


Figure 38: Carte des stations du réseau de suivi « herpétofaune » (source Vale-NC)

Bien que le suivi de l'herpétofaune soit réalisé depuis 2007, une méthodologie standardisée n'est appliquée que depuis 2015. Ce suivi sera intégré au diagnostic à partir du bilan 2019 (décision du COTEC 1 de mars 2018).

Les relevés sont effectués chaque année entre novembre et avril, période d'activité optimale des lézards correspondant à l'été austral.

Protocole de suivi

Les conditions météorologiques sont relevées, car elles peuvent influencer la détectabilité des lézards et donc induire un biais non négligeable.

Plusieurs méthodes de suivi sont employées afin de maximiser les chances d'observation des lézards :

- Observations directes diurnes par une recherche active à vue, le long de transects
- Observations directes nocturnes par une recherche active à vue, le long de transects
- Relevé de pièges à fosse

Toutefois, ces méthodes ne permettent pas de détecter toutes les espèces, notamment les espèces qualifiées de semi-fouisseuses. Par ailleurs, la méthode des pièges à fosse semble plus fiable que les deux autres, dont les résultats sont sensibles aux conditions météorologiques.

Quatre espèces de lézards (*Sigalopseps deplanchei*, *Caledoniscincus notialis*, *Bavayia septuiclavis* et *Rhacodactylus sarasinorum*), jugées les plus à mêmes de détecter des perturbations de l'écosystème, sont considérées comme bioindicatrices.

Valeurs seuil

Il n'existe pas d'indicateur chiffré sur lequel se baser pour évaluer l'état des communautés de lézards des massifs forestier. Les paramètres mesurés sont le nombre d'espèces contactées, le nombre d'espèces endémiques et le nombre d'espèces référencées par l'UICN.

Evolution temporelle à moyen terme

L'évolution dans le temps de la structure des populations de lézards est rapportée pour chaque massif, ce permet de signaler une diminution par « Oui » ou « Non » sur la base de l'interprétation des conclusions du rapport du prestataire en charge de ces suivis. **Ce critère est présenté uniquement à titre indicatif puisqu'il n'est pas pris en compte dans l'attribution du score final.**

V.5.1.b. Suivi du scinque léopard « *Lacertoides pardalis* »

Objectif

Le scinque léopard est une espèce classée vulnérable selon les critères de l'UICN. Actuellement, il a une aire de répartition limitée à cinq localités, dont celle du Col de l'Antenne située en Forêt Nord. Or, certaines zones du col de l'Antenne ont subi ces dernières années d'importantes modifications en raison de l'élaboration d'une route. Le suivi a donc pour but de vérifier que le développement de l'usine et de ses infrastructures n'impacte pas la population de scinque léopard.

Par ailleurs, une opération de translocation de scinques léopard a eu lieu en octobre 2015, de la carrière CP-A1 en développement (Kwé Nord) vers la mine A1 (Forêt Nord) afin de renforcer la population réduite de ce site. En octobre 2015, 17 scinques léopard ont donc été transloqués de la carrière CP-A1 vers la Mine A1.

Stations et fréquences de suivi

Deux suivis sont actuellement en cours :

- Au col de l'Antenne (initié en 2013) : les zones de suivis sont au nombre de 4. Le suivi a lieu tous les trois ans (Figure 39 et Figure 40)
- A la Mine A1 (initié en 2016) : Les stations de suivi sont au nombre de 3. Le suivi initialement programmé annuellement pour une durée de 5 ans, est finalement interrompu en 2017, et reprendra en 2018 pour s'achever en 2019 (Figure 39 et Figure 41)



Figure 39: Carte des zones suivies dans le cadre du réseau de suivi "*Lacertoide pardalis*" (source Vale-NC)



Figure 40: Carte des stations de suivi de la zone « Col de l'Antenne » (source Vale-NC)



Figure 41: Carte des stations de suivi de la zone « Mine A1 » (source Vale-NC)

Les suivis sont réalisés au mois d'octobre - novembre (période favorable à l'activité du lézard), sur une durée de 5 jours.

Protocole de suivi

La méthode de capture repose sur l'utilisation de pièges collants, particulièrement adaptées aux espèces discrètes fouisseuses. Des pièges collants sont installés au niveau des habitats préférentiels du scinque léopard (blocs de péridotites, talus rocheux en bord de piste) dans chacune des zones prospectées. Ces pièges sont relevés une à deux fois par jour.

En 2017, l'effort d'échantillonnage (nombre de pièges collants) a été considérablement augmenté afin de maximiser les chances de capture de cette espèce aux mœurs discrètes.

V.5.1.c. Suivi des échouages d'oiseaux marins

Objectif

La source lumineuse que représente le site de Vale-NC conduit chaque année à l'échouage de nombreux oiseaux marins. Réalisé en partenariat avec Société Calédonienne d'Ornithologie (SCO), l'objectif de cette action est de sensibiliser le personnel de Vale-NC au sauvetage des oiseaux marins, mieux comprendre le phénomène d'échouage et mettre en œuvre des mesures de gestion au niveau de l'éclairage.

Stations et fréquences de suivi

Les oiseaux échoués sont comptabilisés durant toute l'année par le personnel et les prestataires de Vale-NC au niveau d'une dizaine de sites d'échouage.

Protocole de suivi

Le lieu d'échouage et l'espèce à laquelle appartiennent les individus échoués sont enregistrés afin d'assurer le suivi.

V.5.1.d. Suivi des espèces de fourmis exogènes sur sites anthropisés

Objectif

Les fourmis envahissantes peuvent causer de graves préjudices aux écosystèmes. Parmi les 5 espèces envahissantes les plus destructrices, 3 sont déjà recensées au niveau des sites anthropisés de Vale-NC. L'objectif de cette action est d'identifier précocement l'introduction d'une nouvelle espèce et de mettre en œuvre les mesures de gestion nécessaires pour éviter une dispersion des espèces déjà présentes.

Stations et fréquences de suivi

Les fourmis sont suivies au niveau de 5 zones anthropisées, susceptibles d'être contaminées par des matériaux ou matériel en provenance de l'extérieur (Figure 42).

Les campagnes de suivi sont semestrielles.



Figure 42: Carte des zones du réseau de suivi "fourmis exogènes" (source Vale-NC)

Protocole de suivi

Des appâts alimentaires sont disposés dans les zones de suivis et relevés au bout d'une heure.

L'identification des fourmis se fait sous loupe binoculaire. Les 5 fourmis les plus envahissantes sont :

- La fourmi de feu (*Solenopsis invicta*)
- La fourmi d'Argentine (*Linepithema humile*)
- La fourmi folle jaune (*Anoplolepis gracilipes*)
- La fourmi noire à grosse tête (*Pheidole megacephala*)
- La fourmi électrique (*Wasmannia auropunctata*)

V.5.1.e. Suivi des cochons sauvages

Objectif

L'objectif de cette action, menée en partenariat avec la Fédération de la Faune et de la Chasse de Nouvelle-Calédonie (FFCNC), est de contrôler une espèce nuisible qui porte atteinte aux écosystèmes. A titre d'exemple, le retournement des sols par les cochons impacte fortement la régénération forestière.

Stations et fréquences de suivi

4 pièges ont été positionnés au niveau du secteur de la Kwé. Les pièges sont relevés 2 fois par mois, de juin à décembre.

Protocole de suivi

Les cochons sont appâtés à l'aide de grains de maïs. Des caméras sont installées afin d'observer l'activité autour des pièges.

V.5.1.f. Suivi des chats sauvages

Objectif

L'objectif de cette action est de contrôler une espèce nuisible qui porte atteinte aux écosystèmes, en particulier à l'avifaune et l'herpétofaune.

Stations et fréquences de suivi

10 cages piège à fauves ont été positionnées au niveau du secteur de la Mine et de la Kwé pendant 1 semaine au mois de septembre.

Protocole de suivi

Les animaux capturés sont relâchés ou euthanasiés, selon qu'il est possible ou non de les stériliser.

V.5.2. Compartiment flore

V.5.2.a. Plan de conservation des espèces végétales rares et protégées

Objectif

L'objectif est d'identifier et prioriser les plantes rares et menacées à préserver afin de mettre en place des actions de conservation adaptées pour chacune d'elle.

Stations et fréquences de suivi

3 zones ont été définies : une zone d'influence socio-économique Vale-NC, une zone d'influence Vale-NC et une zone d'emprise Vale-NC.

Protocole de suivi

Pour chaque zone, la liste des espèces rares et menacées est dressée et les populations d'espèces rares sont cartographiées.

Le plan de conservation actuel compte 41 plantes rares et menacées. Une grille permet de hiérarchiser les plantes par ordre de priorité selon les critères suivants : statut UICN, menaces liées à la mine et au feu, rareté locale, vulnérabilité de l'habitat et difficultés de multiplication.

Un plan de conservation est décliné pour chaque zone et prévoit des visites de terrain afin de décrire l'état de santé des populations et de mieux appréhender la phénologie des espèces.

Chaque année, des récoltes de fruits sont organisées dans le but de produire en pépinière des plantes qui serviront dans le cadre de programmes de revégétalisation. Dans de rares cas, la technique de transplantation est retenue pour préserver les espèces répondant mal aux techniques de production en pépinière.

V.5.2.b. Bilan des défrichements - revégétalisation

Objectif

Les atteintes portées aux milieux naturels doivent faire l'objet de mesures compensatoires qui sont encadrées par arrêté réglementaire.

Il existe plusieurs types de plantations compensatoires :

- Les plantations compensatoires de maquis miniers, dans le cas d'un défrichement. La densité de plantation est d'environ 1 plant/m²
- Les plantations compensatoires d'enrichissements forestiers ou d'espèces rares, dans le cas d'impacts causés par Vale-NC aux formations forestières ou espèces rares. Les densités de plantation varient de 1 plant/4 m² à 1 plant/10m²

Vale-NC réalise également des opérations de revégétalisation volontaires, dans le cadre par exemple de leur journée « Environnement ».

Chaque année, Vale-NC réalise un bilan dans lequel sont précisés les sites et le nombre d'hectares concernés par le défrichement ou la revégétalisation.

V.5.2.c. Gestion des espèces végétales envahissantes

Objectif

L'objectif est de lutter contre l'introduction des espèces végétales envahissantes en zone anthropisée, ainsi que leur dispersion vers les milieux naturels.

Stations et fréquences de suivi

19 zones anthropisées ont été identifiées comme réservoirs d'espèces végétales envahissantes. Elles se trouvent principalement au niveau de l'Usine, la Base-vie, le CIM et la Pépinière (Figure 43). Au sein de ces zones, les endroits ciblés sont principalement les contours des bâtiments, les aménagements paysagers et les drains.

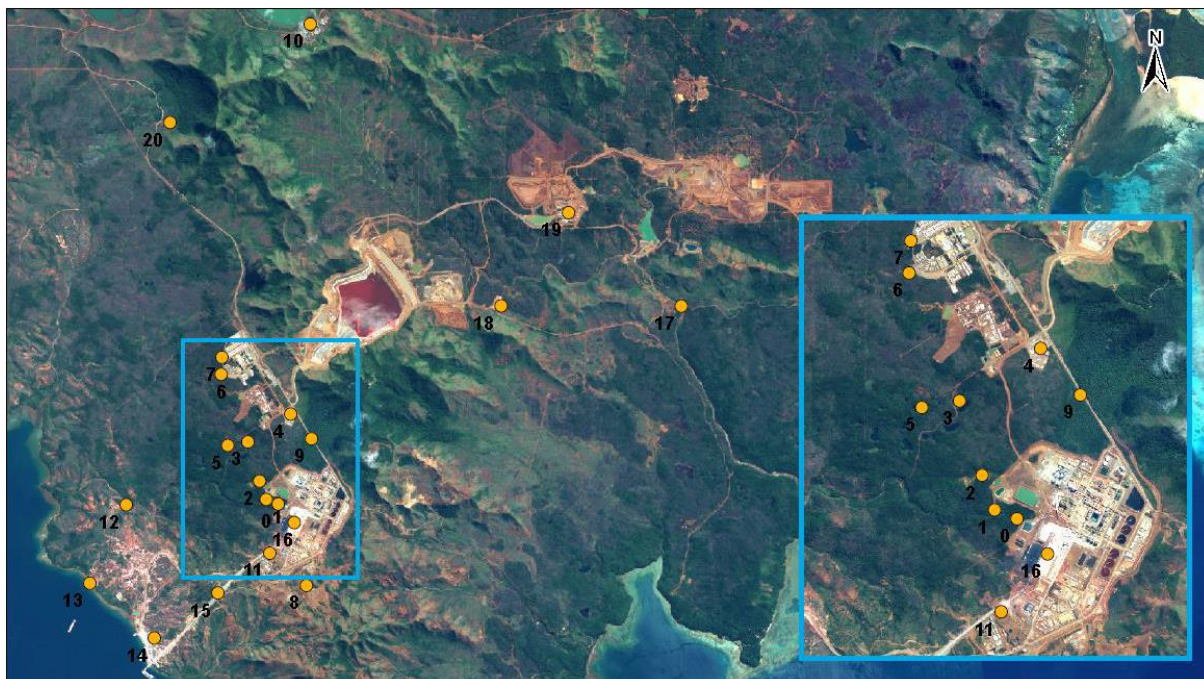


Figure 43: Carte des stations du réseau de suivi des « espèces végétales envahissantes » (source Vale-NC)

Le transport et stockage de calcaire est également perçu comme une source d'introduction possible de nouvelles espèces envahissantes (Figure 44).



Figure 44: Carte de la zone d'introduction possible de nouvelles espèces envahissantes liée au transport et stockage de calcaire (source Vale-NC)

Les opérations de contrôle des espèces végétales envahissantes sur les 19 zones anthropisées sont trimestrielles, sur une durée de 10 jours. Le suivi au niveau du transport et stockage de calcaire est quant à lui mensuel.

Protocole de suivi

Les principales espèces ciblées sont : *Pluchea odorata*, *Crassocephalum crepidioides*, *Mikania micrantha*, *Polygala paniculata*, *Solanum torvum*.

La destruction des plantes se fait exclusivement par voie mécanique (fauchage ou arrachage).

VI. Limites de la méthode

VI.1. Recours fréquent au dire d'expert au regard des données disponibles

Si l'objectif global paraît simple, le processus pour l'atteindre ne l'est pas : les réseaux de surveillance sont incomplets dans leur couverture spatiale et temporelle, les données sont difficiles d'accès, les résultats ne sont pas présentés de manière homogène et de façon systématique dans les rapports, et les protocoles et réseaux de suivis ne sont pas toujours standardisés.

Il reste donc nécessaire de s'appuyer sur le « dire d'expert » qui peut fournir une interprétation qualitative, au niveau des tendances temporelles (série de données), spatiales (entre stations), et du fonctionnement de l'écosystème (exemples : connaissance des grands cycles de MO, évènement climatique exceptionnel...) Cela permet également, lorsque le contexte s'y prête, d'appliquer des exceptions aux règles prédéfinies en regard de la nature des données à disposition (par exemple : attribuer une note à une zone qui ne dispose que d'une station, écarter des données douteuses, etc.) Loin de compromettre pas la pertinence du diagnostic, cette approche rend toutefois la méthode plus difficile à répliquer d'une année sur l'autre.

La démarche de l'Observatoire est de tendre vers une exploitation des résultats la plus rigoureuse possible, pour cela il reste nécessaire d'allonger la chronique de données, d'améliorer les réseaux de suivi et de garantir l'accès aux données.

La considération de 3 milieux environnementaux (marin, eaux douces et terrestre), qui permet une comparaison de leurs états de santé respectifs, est une démarche novatrice sur le territoire et nécessite donc des ajustements et des améliorations. Cette méthode tend ainsi chaque année un peu plus vers une standardisation.

VI.2. Carence en outils méthodologiques adaptés au contexte calédonien

Il n'existe pas à ce jour de stratégie définie pour l'établissement de diagnostics environnementaux des milieux naturels de Nouvelle-Calédonie. Peu d'outils réellement adaptés au territoire sont donc disponibles.

Ainsi pour le diagnostic des eaux douces, dont les paramètres physico-chimiques sont confrontés à des valeurs seuils de classes de qualité ne prenant pas en compte le contexte géochimique naturel du territoire. Par ailleurs, ces seuils réglementaires sont le plus souvent issus de normes destinées à la protection de la santé humaine, alors que des seuils adaptés à la protection de l'environnement seraient plus pertinents.

De même en milieu marin, les seuils de référence utilisés sont peu nombreux et assez généralistes. Ils concernent l'état chimique de l'eau et des sédiments. Comme préconisé dans le guide pour le suivi de la qualité du milieu marin (CNRT-ZoNéCo, 2011), il serait utile de pouvoir disposer de seuils adaptés à la zone d'étude, qui seraient déduits de l'analyse statistique de longues séries temporelles.

Enfin, l'analyse de l'état de santé du milieu terrestre bénéficierait fortement du développement de bio-indicateurs spécifiques basés sur les suivis de la faune et de la flore des massifs forestiers du Grand Sud.

VI.3. Evolutions trop fréquentes de la méthode

L'amélioration continue de la méthode d'évaluation complexifie la comparaison des scores d'une année sur l'autre. L'évolution des scores observée depuis le lancement du Bilan Grand Sud en 2013 est donc à prendre avec précaution.

VII. Bibliographie :

VII.1. Milieux marins

Etat de référence : Distribution superficielle des sédiments, flux sédimentaires et taux d'accumulation dans la Baie du Prony (Rades Nord et Nord-Est) et dans la Baie Kwe-Convention IRD/Goro-Ni n°1230. Fernandez, J.-M., Chevillon, C., Dolbecq, M., Belhandouz, A., & Lamoureux, J. (2007).

Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT Le Nickel, Beliaeff, B., Bouvet, G., Fernandez, J.-M., David, C., & Laugier, T. (2011).

Herbier de la baie Kwe - Premier suivi : étude des phanérogames dans quadrats - Mission avril 2017. Aqua Terra|Vale NC

Qualité physico-chimique des sédiments marins : suivi réglementaire triennal, campagne 2015 (2016). Fernandez, J.-M., Achard, R., Haddad, L., Pluchino, S., Laurent, A., laboratoire AEL/LEA | Vale NC

Révision du plan de suivi du milieu marin dans la zone d'influence du complexe industriel et minier de Vale Nouvelle-Calédonie. Bouvet, G., & Guillemot, N. (2015) | OEIL.

Suivi de l'état des peuplements récifaux et organismes associés en baie de Prony et canal de la Havannah - Mission de septembre 2017. Biocénose, ACREM, Aqua Terra|Vale NC

Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie – 1er semestre 2017- Kumar-Roiné Shilpa, Moreton Benjamin, Fernandez Jean-Michel, Kaplan H., Laurent Audrey, Drouzy M., Hubert M., AEL|Vale NC

Suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de mer de la zone sud du lagon de Nouvelle-Calédonie - 2nd semestre 201. Kumar-Roiné Shilpa, Moreton Benjamin, Fernandez Jean-Michel, Kaplan H., Laurent Audrey, Drouzy M., AEL|Vale NC

Suivi des densités de flux verticaux des particules dans le canal de la Havannah, la baie Kwé et la rade nord de Prony - Campagne 1er semestre 2017 - Rapport semestriel - Avril à Mai 2017. Kumar-Roiné Shilpa, Moreton Benjamin, Laurent Audrey, Pluchino Stéphanie, Fernandez Jean-Michel, AEL|Vale NC

Suivi des densités de flux verticaux des particules dans le canal de la Havannah, la baie Kwé et la rade nord de Prony - Campagne 2ème semestre 2017 - Rapport semestriel - Septembre à novembre 2017. Kumar-Roiné Shilpa, Moreton Benjamin, Fernandez Jean-Michel, Pluchino Stéphanie, Laurent Audrey, AEL|Vale NC

Suivi environnemental - Premier semestre 2017 - MILIEU MARIN. Vale NC|Vale NC

Suivi environnemental - Second semestre 2017 - MILIEU MARIN. Vale NC|Vale NC

Suivi participatif des récifs du Grand Sud - Projet ACROPORA - Campagne 2016-2017. Cortex|CEIL, CCCE

Suivi station S16 : évolution physico-chimique et géochimique de la colonne d'eau et des sédiments récents - Campagne 2017. Moreton Benjamin, Fernandez Jean-Michel, Kumar-Roiné Shilpa, Kaplan H., Laurent Audrey, Drouzy M, AEL|Vale NC

VII.2. Milieux eaux douces

Acquisition de données sur un réseau de stations de référence en milieu dulçaquicole. Touron-Poncet, H. (2016) | OEIL.

Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la. (2007). Journal Officiel de La République Française.

Diagnose des dolines. Bioemco, SGNC, IRD, Asconit, & BioEko (2014).

Guide méthodologique et technique-Indice biotique de la Nouvelle-Calédonie (IBNC) et Indice Biosédimentaire (IBS). Mary, N., & Archaimbault, V. (2011) | DAVAR.

Suivi comparatif de la qualité de certains cours d ' eau dans le périmètre d'influence du projet minier et industriel de Vale Nouvelle-Calédonie 2011-2013 (Vol. 7). Flouhr, C., & Mary, N. (2014) | OEIL.

Suivi de la faune aquatique dans la zone d'activité de Vale NC - Période 2017-2020 - Campagne 2 - Juin 2017. Bio eKo|Vale NC

Suivi de la faune aquatique dans la zone d'activité de Vale NC - Période 2017-2020 - Creek de la Baie Nord - Campagne 1 - Mars 2017. Bio eKo|Vale NC

Suivi des macro-invertébrés benthiques dans la zone d'activité de Vale NC - Rapport annuel 2017. BioIMPACT|Vale NC

Suivi environnemental - Rapport annuel 2017 - Eaux douces de surface. Vale NC|Vale NC

Suivi environnemental - Rapport semestriel 2017 - Eaux souterraines. Vale NC|Vale NC

Surveillance des milieux récepteurs - Rapport annuel 2017 - Eaux souterraines. Vale NC|Vale NC

Surveillance des milieux récepteurs - Rapport Semestriel 2017 - Eaux douces de surface. Vale NC|Vale NC

VII.3. Milieux terrestres

Bilan des actions de revégétalisation Vale NC – Année 2017. Vale NC|Vale NC

Bilan des opérations de gestion des espèces envahissantes sur le site industriel de VALE NC - 2017. Vale NC|Vale NC

Bilan Faune Terrestre 2017. Vale NC|Vale NC

Campagne de surveillance 2017 de l'herpétofaune de trois réserves forestières - Aires protégées du Pic du Pin, Pic du grand Kaori et Forêt Nord. Astrongatt, Stéphane | Vale NC

Campagne de surveillance n°2 (nov 2017) de la population de Lacertoides pardalis du massif Kwa Neie Réserve naturelle de la Forêt Nord, au lieu dit « Col de l'Antenne » - Commune du Mont-Dore (province Sud). Astrongatt, Stéphane | Vale NC

Desmoulins, F. (2015). Suivi de l'avifaune forestière du plateau de Goro et lacustre de la Plaine des Lacs . VALE NC.

Espèces rares et protégées dans la zone d'influence des infrastructures industrielles et minières de Vale NC : Bilan 2017 des activités de conservation. Vale NC|Vale NC

La qualité de l'air en Province Sud - Rapport annuel 2017. Scal'Air|Scal'Air

Suivi de l'avifaune forestière et lacustre du plateau de Goro. Année 2017. Duval Thomas, Hémisphères |Vale NC

Suivi de l'état de santé de la flore des réserves forestières provinciales à proximité de l'usine de Vale Nouvelle-Calédonie - Bilan 2017. Vale NC|Vale NC

Suivi environnemental - Rapport semestriel 2017 - QUALITE DE L'AIR AMBIANT. Vale NC|Vale NC

Surveillance des fourmis envahissantes sur les zones à risques du site industriel de VALE NOUVELLE-CALÉDONIE à Prony - Suivi n°17 (avril 2017). Ravary Fabien, BIODICAL|Vale NC

Surveillance des fourmis envahissantes sur les zones à risques du site industriel de VALE NOUVELLE-CALÉDONIE à Prony - Suivi n°18 (octobre 2017). Ravary Fabien, BIODICAL|Vale NC

Surveillance des milieux récepteurs - Rapport annuel 2017 - QUALITE DE L'AIR AMBIANT04/02/2019. Vale NC|Vale NC

Surveillance symptomologique de la flore endémique sur 27 stations d'observation situées aux alentours de l'usine de Vale Nouvelle-Calédonie : Janvier 2016 à Décembre 2017. Vale NC|Vale NC
Crt annuel 2017 - QUALITE DE L'AIR AMBIANT04/02/2019. Vale NC|Vale NC

Vegusine : état actuel du suivi. Bluecham SAS|Vale NC