

Suivi de la végétation d'intérêt patrimoniale à proximité d'ouvrages miniers

Octobre 2015 à Novembre 2018



Equipe conservation
Service Préservation de l'Environnement

Vale Nouvelle-Calédonie
Avril 2019

Table des matières

1.	Avant-propos.....	5
2.	Objectif et présentation de la zone d'étude :	5
3.	Fréquence et durée du suivi.....	7
4.	Présentation des paramètres de suivi :	7
4.1	Etat des cours d'eau	8
4.2	Etat de santé de la végétation et de son activité photosynthétique	8
4.3.	Etat de la régénération naturelle	10
4.4.	Les dépôts de poussières.....	11
4.5.	Les symptômes foliaires	12
4.6.	Evaluation du bruit	13
4.7.	Coupe de bois	13
4.8.	Les déchets	14
4.9.	Les espèces exogènes	14
4.10	Suivi photographique des formations végétales	14
5.	Procédure en cas d'impact négatif.....	14
6.	Résultats par site de suivi.....	15
6.1	Site de suivi SM1 :	16
6.1.1.	Poussière :	16
6.1.2.	Symptômes foliaires :	17
6.1.3.	Régénération :	17
6.1.4.	Débris ligneux :	18
6.1.5.	Espèces exogènes :	18
6.1.6.	Coupe de bois :	18
6.1.7.	Déchets :	18
6.1.8.	Bruit :	18
6.1.9.	Etat du cours d'eau :	19
6.1.10.	Etat de santé de la végétation :	19
6.2	Site de suivi SM3 :	20
6.2.1.	Poussière :	20
6.2.2.	Symptômes foliaires :	21
6.2.3.	Régénération :	21
6.2.4.	Débris ligneux :	22
6.2.5.	Espèces exogènes :	22
6.2.6.	Coupe de bois :	22
6.2.7.	Déchets :	22
6.2.8.	Bruit :	23
6.2.9.	Etat du cours d'eau :	23

6.2.10. Etat de santé de la végétation :	23
6.3 Site de suivi SM4 :	24
6.3.1. Poussière :	24
6.3.2. Symptômes foliaires :	25
6.3.3. Régénération :	25
6.3.4. Débris ligneux :	25
6.3.5. Espèces exogènes :	25
6.3.6. Coupe de bois :	26
6.3.7. Déchets :	26
6.3.8. Bruit :	26
6.3.9. Etat du cours d'eau :	26
6.3.10. Etat de santé de la végétation :	27
6.4 Site de suivi SM5 :	28
6.4.1. Poussière :	28
6.4.2. Symptômes foliaires :	29
6.4.3. Régénération :	29
6.4.4. Débris ligneux :	30
6.4.5. Espèces exogènes :	30
6.4.6. Coupe de bois :	30
6.4.7. Déchets :	30
6.4.8. Bruit :	30
6.4.9. Etat de santé de la végétation :	31
6.5 Site de suivi SM6 :	32
6.5.1. Poussière :	32
6.5.2. Symptômes foliaires :	33
6.5.3. Régénération :	33
6.5.4. Débris ligneux :	33
6.5.5. Espèces exogènes :	33
6.5.6. Coupe de bois :	34
6.5.7. Déchets :	34
6.5.8. Bruit :	34
6.5.9. Etat de santé de la végétation :	34
6.6 Site de suivi SM7 :	35
6.6.1. Poussière :	35
6.6.2. Symptômes foliaires :	36
6.6.3. Régénération :	36
6.6.4. Débris ligneux :	36
6.6.5. Espèces exogènes :	36

6.6.6. Coupe de bois :	37
6.6.7. Déchets :	37
6.6.8. Bruit :	37
6.6.9. Etat de santé de la végétation :	37
6.7 Site de suivi SM8 :	38
6.7.1. Poussière :	38
6.7.2. Symptômes foliaires :	39
6.7.3. Régénération :	40
6.7.4. Débris ligneux :	40
6.7.5. Espèces exogènes :	41
6.7.6. Coupe de bois :	41
6.7.7. Déchets :	41
6.7.8. Bruit :	41
6.7.9. Etat de santé de la végétation :	41
6.8 Site de suivi SM9 :	42
6.8.1. Poussière :	42
6.8.2. Symptômes foliaires :	42
6.8.3. Régénération :	43
6.8.4. Débris ligneux :	43
6.8.5. Espèces exogènes :	43
6.8.6. Coupe de bois :	44
6.8.7. Déchets :	44
6.8.8. Bruit :	44
6.8.9. Etat de santé de la végétation :	44
7. Suivi VEGUSINE : Suivi de l'évolution de l'état de la végétation par télédétection	45
7.1 Méthodologie	45
7.2 Résultats	46
8. Conclusion	49
9. BIBLIOGRAPHIE	51
10. ANNEXE 1 : Résultats du suivi de la végétation à proximité d'ouvrages miniers	52

1. Avant-propos

L'activité minière peut être source de perturbations potentielles et engendrer des impacts indirects sur la végétation alentour (poussières, espèces exogènes, modifications hydriques et perturbations des cours d'eau, coupes de bois illégale, déchets, modification de la composition spécifique et de la structure des formations végétales...). Un plan de suivi de l'état de santé de la végétation à proximité d'ouvrages miniers a ainsi été engagé en 2015. Ce plan de suivi intègre le suivi des habitats paraforestiers et forestiers situés à proximité d'ouvrages miniers en réponse à l'arrêté n°2848-2013/ARR/DENV pour l'exploitation de la mine et de la verse V5, à l'arrêté n° 977-2016/ARR/DENV autorisant le défrichement de la CPA1 et à l'arrêté n° 2698-2016/PS autorisant l'exploitation du site minier de « Goro ».

2. Objectif et présentation de la zone d'étude :

Ce protocole de surveillance a pour objectif de détecter précocement tout impact potentiel des travaux miniers sur la végétation et dégradation de l'état de santé de la végétation sur des points localisés à proximité d'ouvrages miniers. Huit sites de suivi dont un site témoin ont été sélectionnés au niveau des formations paraforestières et forestières décrites par Jaffré en 2003 et le bureau d'étude SORECO en 2015 (Tableau 1 ; Figure 1).

Une analyse cartographique puis une reconnaissance de terrain a permis de valider les sites localisés à proximité de projets miniers (SMLT, CPKE, fosse minière, piste d'accès et carrière CPA1). Les points de suivi sont localisés en lisière de forêt et de maquis paraforestier. Un site témoin localisé au niveau de la réserve du Pic du Grand Kaori a été sélectionné car localisé hors zone d'influence de l'activité minière (Tableau 1 ; Figure 1). La figure 1 présente les huit sites de suivi. L'ensemble de ces massifs forestiers font aussi l'objet d'un suivi annuel de leur état de santé par télédétection (Bluecham) : activité photosynthétique, structure de la canopée, stress hydrique... (Figure 1)

Site	Projet	Localité	Type de zone - Description	X	Y
SM1	Fosse Minière	Kwe Est	Maquis paraforestier à <i>Gymnostoma deplancheanum</i> s'urplombant l'affluent de la Kwe Est.	166,98242	-22,30059
SM3	Fosse Minière	Kwe Est	Maquis paraforestier sur pente en lisière de forêt. Affluent de la Kwe Est en contre-bas. Accès par un ancien layon.	166,970434	-22,299117
SM4	Fosse Minière	Kwe Est	Transition maquis paraforestier à <i>Gymnostoma deplancheanum</i> dense sur pente vers la forêt à <i>Arillastrum gummiferum</i> s'urplombant l'affluent de la Kwe Est. Accès par un ancien layon.	166,977923	-22,3015
SM5	SMLT	SMLT	Forêt humide à proximité d'une piste en terre. Point de suivi de l'IAC (Etude sur l'impact des poussières)	166,964771	-22,301227
SM6	CPKE	Kwe Est	Forêt à chêne gommés. Accès par une vieille piste revegetalisée.	166,93326	-22,28888
SM7	CPA1	KO4	Lisière de forêt à chêne gommés sur crête. Accès par un ancien layon.	166,933848	-22,290816
SM8	Piste	KO4	Forêt du Tuyau en bordure de piste en terre.	166,941174	-22,279842
SM9	Site témoin	Pic du Grand Kaori	Lisière de forêt. Accès par une piste en terre.	166,89494	-22,28448

Tableau 1 : Présentation des caractéristiques géographiques et écologiques des points de suivi et des projets miniers localisés à proximité.

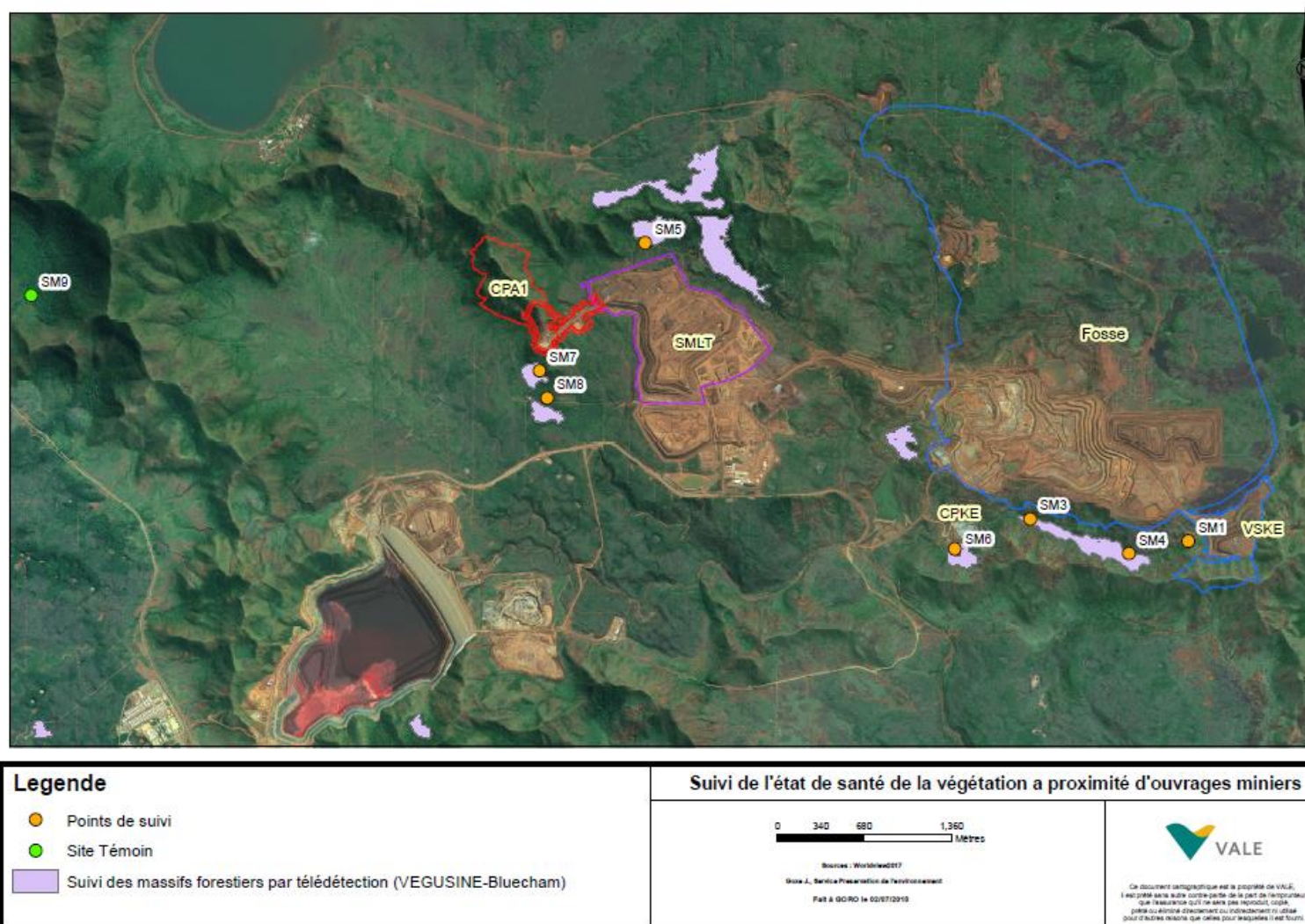


Figure 1 : Localisation des sites de suivi en orange à proximité d'ouvrages miniers et du site témoin en vert. Les massifs forestiers suivis par télédétection apparaissent en mauve sur la carte.

3. Fréquence et durée du suivi

Le suivi est réalisé trois fois par an avec une fréquence de suivi plus rapprochée durant la saison sèche de mai à décembre (Figure 2), période durant laquelle les émissions de poussières seront plus importantes et les précipitations moins importantes diminuant ainsi l'«effet lessivage » (Cape, 1993 ; Grantz *et al.*, 2003 ; Bordez L. *et al.*, 2016). La saison sèche peut également être associée à une baisse des nappes phréatiques. Les trois campagnes de suivi se dérouleront ainsi fin mai, début septembre et fin novembre.

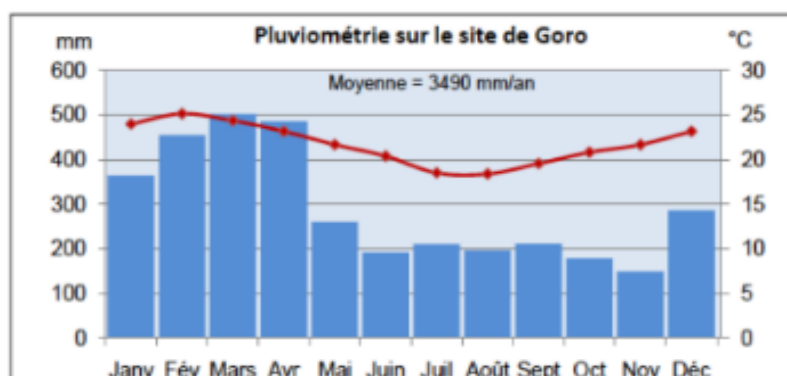


Figure 2 : Précipitation et température moyenne sur le site de Goro (2010 à 2013)

4. Présentation des paramètres de suivi :

Le protocole intègre le suivi de plusieurs paramètres, à savoir des sources de perturbation potentielles et des indicateurs de l'état de santé du milieu afin de détecter précocement tout impact potentiel des travaux miniers sur la végétation et dégradation de l'état de santé de la végétation (tableau 2)

Paramètre de suivi	Indice		Description	Photographie
Etat de santé de la végétation et Activité photosynthétique	Quantitatif	Activité photosynthétique (FV/Fm)	Phenologie : Espèces en floraison et/ou fructification, phytosanitaire : Espèces et pathogènes associés	Vue d'ensemble de la végétation
	Qualitatif	Mauvais, Moyen, Bon		
Poussière	Quantitatif	Pourcentage d'individus (%)	Type de dépôts : Couche fine/diffuse, Petit amas localisé, Plaque	x
	Qualitatif	Rien, Leger, Moyen, Fort		
Symptômes foliaires	Quantitatif	Pourcentage d'individus (%)	Espèces et Type de symptômes : Chloroses, Necroses, Déformations	x
	Qualitatif	Rien, Leger, Moyen, Fort		
Etat de la régénération	Quantitatif	Activité photosynthétique (FV/Fm)	/	x
	Qualitatif	Rien, Legere, Moderee, Forte		
Bruit	Quantitatif	dB(A)	Type de bruit	/
	Qualitatif	Rien, Leger, Moyen, Fort		
Debris ligneux au sol	Quantitatif et qualitatif	Pourcentage de recouvrement (%)	Branchages au sol : recents, anciens, décomposés	x
Déchets	Quantitatif et qualitatif	Quantité	Type de déchets	x
Exogène	Quantitatif et qualitatif	Indice de braun-blancet	Espèces	x
Coupe de bois	Quantitatif et qualitatif	Quantite et Diamètre	Espèces	x
Erosion du Sol	Qualitatif	Oui/Non	Source	x
Cours d'eau	Qualitatif	Sec, Normal, Crue/debordement	Turbité	x

Tableau 2 : Présentation des paramètres de suivi

Un paramètre de suivi supplémentaire a été rajouté en 2017 afin d'affiner l'évaluation de l'état de santé de la végétation et de l'état de la régénération naturelle. Pour chaque site de suivi, une mesure de l'activité photosynthétique des plantes est réalisée sur la strate arborée, la strate arbustive (sous-bois), la strate de plantules et la lisière. Ce paramètre de suivi permet de disposer d'un indicateur scientifique de l'état de santé de la végétation limitant les biais liés à une évaluation visuelle.

4.1 Etat des cours d'eau

4.1.1. Indice qualitatif

Il est reconnu qu'un déficit hydrique ou un drainage insuffisant puisse impacter l'état de santé de la végétation (Bordez L., 2016 ; Soreco, 2015). L'activité minière pouvant être à l'origine de modifications hydriques, un indice qualitatif est ainsi attribué à chaque station afin d'apprécier l'état général du cours d'eau lors du suivi. Les indices visuels pour l'évaluation de l'état du cours d'eau sont présentés ci-dessous.

- **Sec** : Cours d'eau à sec, absence de mouvement d'eau.
- **Normal** : Mouvement d'eau perceptible. Le fond est visible.
- **En cru/débordement** : Fort débit et/ou débordement sur les berges.

4.2 Etat de santé de la végétation et de son activité photosynthétique

4.2.1 Indice visuel qualitatif

Un indice qualitatif est attribué à chaque station afin d'évaluer l'état de santé global du milieu. Les indices visuels pour l'évaluation sont présentés ci-dessous :

- **Bon** : Très peu d'attaques phytosanitaires, Très peu voir absence de symptômes foliaires, observation de fruits/fleurs, présence de jeunes pousses. On note une bonne régénération au sol.
- **Moyen** : Etat de santé pouvant légèrement porter atteinte à la sensibilité d'un observateur expérimenté. Présence de symptômes foliaires de chlorose et/ou de nécrose, d'attaques phytosanitaires et/ou présence de poussière et/ou peu de jeunes pousses.
- **Mauvais** : Etat de santé de la végétation pouvant porter atteinte à la sensibilité d'un observateur inexpérimenté. Attaques phytosanitaires généralisées, absence de signes de fructification et de floraison, observation d'individus morts, présences de symptômes foliaires marqués et/ou abondance de poussières et/ou absence de jeunes pousses. Peu de régénération au sol.

4.2.2. Indice quantitatif

Des mesures de fluorescence chlorophyllienne de la végétation sont également réalisées sur chaque point de suivi grâce à un fluorimètre portatif qu'on appelle "PLANT EFFICIENCY ANALYZER", ou PEA meter (Cambridge Scientifique). L'émission de fluorescence est directement liée au processus de photosynthèse et permet ainsi d'évaluer l'état de stress de la plante. La fluorescence est observée au niveau des feuilles de toutes les plantes : c'est une conséquence de la transformation par la plante de l'énergie lumineuse en matière végétale. L'émission de fluorescence varie selon l'état de stress de la plante (Krause et al., 1991). 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).

Ces mesures quantitatives sont réalisées sur une feuille mature sur :

- Un individu d'une espèce commune de la strate arborée.
- Un individu d'une espèce commune de la strate du sous-bois.
- Un individu en lisière.

Chaque individu est balisé pour ce suivi et deux mesures sont prises sur chaque individu afin d'estimer la moyenne de l'indice photosynthétique.

La mesure de fluorescence chlorophyllienne est effectuée de la manière suivante :

- **Une surface foliaire test** est placée dans l'obscurité par un « clip » durant 15 minutes. Sur le plan physiologique cette opération supprime la photosynthèse.
- **Un flash lumineux** est ensuite envoyé sur la surface test. L'énergie lumineuse excédant les possibilités de collecte des systèmes de photosynthèse est alors réémise sous forme de fluorescence, selon une cinétique particulière et numérisée par l'appareil (courbe de fluorescence).



4.3. Etat de la régénération naturelle

4.3.1. Indice semi-quantitatif

La régénération naturelle désigne la faculté d'un écosystème à se reconstituer spontanément. Elle permet notamment de maintenir la diversité génétique, de limiter les atteintes au sol et peut servir d'indicateur traduisant la dynamique d'un milieu. Un indice qualitatif est attribué à chaque station afin d'évaluer l'état de la régénération. Les indices visuels pour l'évaluation sont présentés ci-dessous :

- **Rien** : Absence de plantules récentes et de plants juvéniles au sol.
- **Peu** : Moins de 10 % de recouvrement pour les plantules et individus juvéniles au sol. Pas de recrutement récent de nouvelles plantules ou recrutement récent négligeable (Figure 3).
- **Modérée** : Entre 10 et 20 % de recouvrement pour les plantules et individus juvéniles au sol. On note le recrutement récent de nouvelles plantules au sol (Figure 4).
- **Forte** : Plus de 20% de recouvrement pour les plantules et individus juvéniles au sol. On note le recrutement récent de nouvelles plantules au sol formant des concentrations notables (Figure 5).

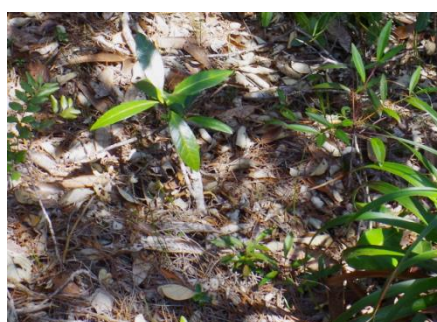


Figure 3 : Indice « Peu », pas de recrutement récent de nouvelles plantules. Figure 4 : Indice « Modérée », on note le recrutement récent de nouvelles plantules. Figure 5 : Indice « Forte », on note un important recouvrement de plantules formant des concentrations notables.

4.3.2. Indice quantitatif

Des mesures de fluorescence chlorophyllienne sont également réalisées sur les plantules sur chaque point de suivi grâce à un PEA meter afin d'évaluer leur état de stress. Ces mesures quantitatives sont réalisées sur deux espèces communes. Deux mesures sont prises sur chaque individu balisé afin d'obtenir un indice Fv/Fm moyen.

4.4. Les dépôts de poussières

4.4.1. Indice visuel semi-quantitatif

Plusieurs études réalisées à l'international rapportent un effet des dépôts de poussières foliaires sur l'intégrité physiologique des végétaux environnants les zones industrielles d'émissions (Grantz et al., 2003, Ukpaka et al., 2011, Leghari, 2013 ; Pichhoda & Nikhil, 2015,). Un indice est ainsi attribué à chaque station afin d'évaluer le dépôt de poussières sur la végétation. Les indices visuels pour l'évaluation sont présentés ci-dessous :

- **Rien** : Aucune poussière visible sur l'ensemble de la végétation.
- **Léger** : Poussière légèrement visible, sous forme de couches très fines et diffuses voir présence de petit amas très localisés (Figure 6) sur l'apex ou entre les nervures des feuilles sur quelques individus. On estime que 20 % des individus ou moins présentent des traces de poussière.
- **Moyen** : Poussière visible, sous forme de couches très fines et diffuses voir présence de petit amas très localisés (Figure 6) sur l'apex ou entre les nervures des feuilles sur quelques individus. Quelques individus présentent de la poussière sous formes de couches plus épaisses voir sous forme de plaques recouvrant tout ou partie du limbe des feuilles (Figure 7). On estime entre 20 et 50 % le nombre d'individus présentant de la poussière dont une partie présente de la poussière sous forme de plaques.
- **Fort** : Poussières fortement visibles sous forme de couches épaisses et de plaques sur toutes les strates de la végétation ainsi qu'au niveau des troncs et du sol. Les lichens et la litière au sol sont aussi recouvert que la végétation (Figure 8). On estime que plus de 50 % des individus présentent de la poussière en couche épaisse voir de la poussière sous forme de plaque recouvrent le limbe des feuilles.

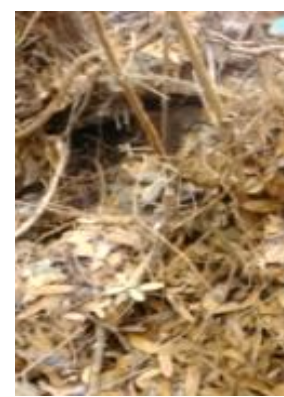


Figure 6 : Indice « Léger », on note la présence de petits amas localisés sur les dépressions des feuilles (apex et bord du limbe). Figure 7 : Indice « Moyen », on note la présence de dépôts de poussière sous forme de plaque uniquement sur quelques individus de la station. Figure 8 : Indice « Fort », on note le dépôt de poussières sous forme de couche épaisse sur toutes les strates de la végétation. La litière et les troncs sont recouverts de poussière.

4.5. Les symptômes foliaires

4.5.1. Indice semi-quantitatif

Plusieurs auteurs ont en effet rapporté que des dépôts de poussières en quantités trop importantes peuvent entraîner une diminution des pigments chlorophylliens et consécutivement des phénomènes de chloroses et de nécroses (Ukpaka et al., 2011, Leghari, 2013 ; Pichhoda & Nikhil, 2015). Ces symptômes foliaires peuvent également être provoqués par un état de stress, des modifications hydriques (drainage insuffisant ou un déficit hydrique...), des carences.

Un indice semi-quantitatif correspondant à un pourcentage d'individus présentant des symptômes foliaires de chlorose, nécrose et/ou déformation est ainsi attribué à chaque station afin d'évaluer la présence de symptômes sur la végétation. Ce paramètre de suivi permet ainsi d'indiquer l'existence d'une perturbation du milieu. Les indices pour l'évaluation sont présentés ci-dessous :

- **Rien** : Aucun symptôme de chloroses ou de nécroses visible sur l'ensemble des plantes de la station.
- **Léger** : 1-5 % de plantes chlorosées et/ou présentant des nécroses. Symptômes légers non détectables par un observateur inexpérimenté mais détectable par un observateur expérimenté (Figure 9). L'état de santé de l'individu ne semble pas impacté malgré la présence symptômes.
- **Moyen** : 5-20 % de plantes chlorosées et/ou présentant des nécroses visibles. Symptômes détectables par un observateur inexpérimenté. L'état de santé de l'individu ne semble pas impacté malgré la présence de symptômes.
- **Fort** : Plus de 20% de plantes chlorosées et/ou nécrosées. Les symptômes sont observables sur plusieurs strates. Ces symptômes peuvent porter atteinte à la sensibilité d'un observateur inexpérimenté (Figure 10). L'état de santé des individus est impacté (défoliation...).



Figure 9 : Illustration d'une chlorose marginale sur *Pittosporum* sp. non détectable par un observateur inexpérimenté.
Figure 10 : Illustration d'une chlorose marquée entre les nervures d'*Arillastrum gummiferum* pouvant porter atteinte à la sensibilité d'un observateur inexpérimenté.

4.6. Evaluation du bruit

4.6.1. Indice semi-quantitatif

Un indice semi-quantitatif correspondant à une gamme de niveaux sonores en décibel est attribué à chaque station afin d'évaluer le bruit au niveau de la station de suivi. Les indices sont basés sur les niveaux sonores du trafic routier défini par l'Office of Planning, Environment, & Realty (HEP) du département des transports des états Unis¹ et sont présentés ci-dessous :

- **Rien** : vent : 10dB
- **Léger** : Oiseaux, cours eaux, alarme de recul des engins à peine perceptible : 20 – 40dB
- **Moyen** : Alarme de recul des engins bien perceptible : 40dB – 80db
- **Fort** : Alarme de recul bien perceptible qui couvre le chant des oiseaux, roulage des engins, grincement des chenilles : > 80dB

4.7. Coupe de bois

L'activité minière par l'intermédiaire de la création de nouvelles pistes peut dans certains cas favoriser l'accès aux forêts et engendrer des coupes de bois illégales. Toute coupe de bois illégale est ainsi relevée sur les stations de suivi. Les espèces concernées, la quantité et le diamètre des tiges sont relevés (Figure 11).



Figure 11 : Illustration de coupes de bois illégales.

¹ https://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/construction_noise/handbook/handbook09.cfm

4.8. Les déchets

Un indice qualitatif correspondant au type de déchets et un indice quantitatif correspondant à la quantité de déchets répertoriés sur la station de suivi sont relevés. Les déchets sont systématiquement récupérés.

4.9. Les espèces exogènes

Un indice quantitatif est attribué à toute espèce exogène animale ou végétale rencontrée sur la station de suivi selon la méthode phytosociologiques de Braun-Blanquet. L'indice de Braun-Blanquet est un coefficient d'abondance permettant d'évaluer le recouvrement d'une espèce (Tableau 3).

Code	Description	Abondance/ Recouvrement
+	Individu ou peuplement isolé	<1%
1	Plusieurs petits peuplements	1-5%
2	Peuplements moyennement abondants	6-25%
3	Peuplements abondants	26-50%
4	Peuplements très abondants	51-75%
5	Quasiment mono-spécifique	76-100%

Tableau 3 : Coefficient d'abondance et correspondance (selon la table de Braun-Blanquet)

4.10 Suivi photographique des formations végétales

Pour chaque station de suivi, une photographie de la formation végétale dans son ensemble est prise au même emplacement à chaque suivi. L'emplacement pour la prise de photo est marqué d'un repère (piquet). Une photographie est également prise pour chaque paramètre de suivi afin d'illustrer l'indice qualitatif, semi-quantitatif et/ou quantitatif associé.

5. Procédure en cas d'impact négatif

Si des changements négatifs et significatifs sont constatés sur un ou plusieurs paramètres de suivi, la Mine en sera informée dans les plus brefs délais et des mesures correctrices pourront être mise en œuvre (ex : plan de communication en cas de détection d'une espèce exogène envahissante et/ou programmation d'une campagne d'éradication, limitation des accès en cas de coupe de bois ou de dépôts de déchets, mise en place de mesures de gestion des poussières...).

6. Résultats par site de suivi

Les résultats liés à l'évaluation des différents paramètres de suivi entre octobre 2015 et novembre 2018 sont présentés séparément pour chaque site de suivi (Annexe 1). Les défrichements réalisés à proximité des sites de suivi entre 2013 et 2018 sont présentés sur la figure 12.

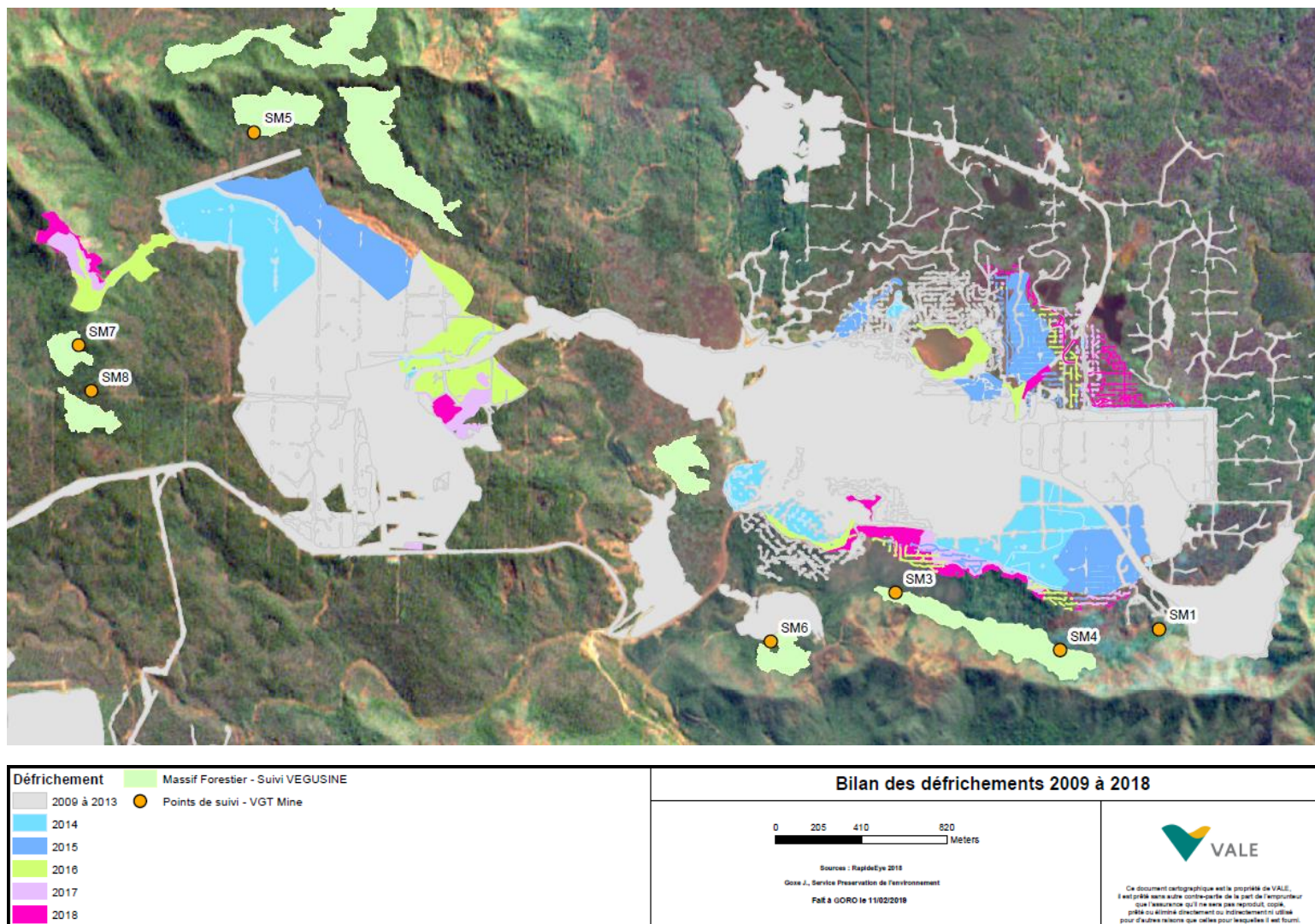


Figure 12 : Bilan des défrichements miniers réalisés entre 2009 et 2018 et localisation des points de suivi de l'état de santé de la végétation.

6.1 Site de suivi SM1 :

Le site SM1 correspond à un maquis paraforestier à *Gymnostoma deplancheanum* (Figure 13, Figure 14). Ce site héberge deux espèces sensibles *Planchonella pronyensis* et *Pycnandra glabella*.



Figure 13 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site SM1 en octobre 2015. Figure 14 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site SM1 en novembre 2018.

6.1.1. Poussière :

Les dépôts de poussières ont été constatés sur près de 20 % des individus entre 2015 et 2017 et notamment sur une partie des espèces dont les feuilles forment une coupelle avec leurs marges récurvées (*Arillastrum gummiferum*, *Styphelia* sp., *Codia spatulata*...). Ses dépôts se concentrent principalement sur l'apex des feuilles du bas témoignant d'un phénomène de lessivage par la pluie. Quelques individus présentent des dépôts sur le limbe des feuilles de type "plaque" (Figure 16). Ces dépôts sont apparus au niveau des zones plus ouverte correspondant à un ancien layon. L'évaluation des dépôts de poussière sur la végétation a permis d'attribuer un indice de type « moyen » pour ce paramètre en 2016 avec une diminution des dépôts de poussières en 2017, alors classés en « Léger ». Les défrichements réalisés fin 2015 expliquent les dépôts de poussières plus importants constatés en 2016 (Figure 12). Aucun défrichement n'ayant été réalisé en 2016 et les défrichements ayant nettement diminué à proximité de SM1 en 2017 puis en 2018, le lessivage des poussières durant la saison des pluies début 2017 et début 2018 explique la diminution des dépôts de poussières (Figure 12, Figure 17, Figure 18). En novembre 2018, seul 10 % des individus présentaient des dépôts de poussière (Figure 17, Figure 18).



Figure 15 : Lisière de la formation végétale de SM1 en novembre 2018. Figure 16: Dépôts de poussières sous forme de plaque observés sur quelques individus en 2016. Figure 17: Dépôts de poussières sous forme de dépôts en grande partie lessivés sur quelques individus en avril 2018. Figure 18 : Dépôts de poussières sous forme de fine couche en novembre 2018.

6.1.2. Symptômes foliaires :

L'évaluation des symptômes foliaires a permis de mettre en évidence quelques chloroses et/ou nécroses foliaires anecdotiques sur moins de 5 % des individus début 2016, début 2017 et en 2018 conférant un indice de type « léger » au site de suivi. Globalement, les symptômes se présentent sous formes de chloroses diffuses à ponctuées sur quelques individus (*Syzygium sp.*, *Arillastrum gummiferum...*) et de nécroses ponctuées anecdotiques sur quelques espèces. Il a été observé une augmentation des symptômes foliaires en octobre 2016 et novembre 2017 avec près de 10 % des individus présentant des symptômes foliaires. Les symptômes sont apparus plus prononcés durant la saison sèche en octobre 2016 et en novembre 2017 avec des phénomènes de dessèchement d'individus sur pied (*Deplanchea speciosa*, *Gymnostoma deplancheanum*, *Casearia sp.*) et des traces de brûlures de la surface foliaires de quelques individus (Figure 19, Figure 20, Figure 21). Ses symptômes ont été relevés en lisière. Un indice de type « moyen » a été assigné pour ce site en octobre 2016 et novembre 2017. Un indice de type « Léger » a été assigné à ce site de suivi en 2018 du fait d'une diminution des symptômes foliaires recensés sur moins de 5 % des individus (Figure 22).



Figure 19 : *Gymnostoma deplancheanum* séchés sur pied en octobre 2016. Figure 20 : *Ixora francii* séché sur pied en novembre 2017. Figure 21 : Chloroses marginales marquées sur l'ensemble d'un individu d'*Ixora francii* en lisière en novembre 2017. Figure 22 : Chlorose marginale sur les vieilles feuilles d'un individu d'*Ixora francii* en lisière en novembre 2018.

6.1.3. Régénération :

L'ensemble des suivis ont mis en évidence une bonne diversité de plantules et de plants juvéniles atteignant près de 10 % de recouvrement au sol au niveau de ce site (Figure 23). Le recouvrement des plantules n'a pas varié entre octobre 2015 et novembre 2018. Un indice de type « modérée » a été définit pour l'état de la régénération au niveau de ce site de suivi.



Figure 23 : Régénération sur le site SM1 en novembre 2018.

6.1.4. Débris ligneux :

La quantité de débris ligneux au sol n'a pas variée entre octobre 2015 et novembre 2018. On évalue à près de 10% le recouvrement au sol de ces débris (Figure 24). Les débris sont essentiellement constitués de petits branchages et de quelques troncs d'arbre de plus gros diamètre datant de plusieurs années au vu de leur état de décomposition.

Figure 24 : Illustration des débris ligneux sur le site SM1 en novembre 2018.



6.1.5. Espèces exogènes :

De la rouille a été détectée sur *Eugenia stricta* en octobre 2016, en septembre et novembre 2017 puis en septembre et novembre 2018.

6.1.6. Coupe de bois :

Des traces d'anciennes coupes de bois datant de plusieurs années probablement pour la mise en place d'une ligne tomographique pour l'exploration minière ont été constatées sur ce site (Figure 25). Parmi les espèces concernées on citera : *Gymnostoma deplancheanum*, *Deplanchea speciosa*, *Longetia buxoides*, *Dracophyllum sp*, *Gardenia aubryi*, *Dacrydium araucarioides*... Aucune coupe de bois récente n'a été relevée entre octobre 2015 et novembre 2018.

Figure 25 : Ancienne coupe de bois. On note que l'individu a rejeté de souche.



6.1.7. Déchets :

Un « tuteur de repérage » de ligne tomographique a été retrouvé sur ce point de suivi en octobre 2016.

6.1.8. Bruit :

Seul un bruit de fond correspondant au roulage minier a été relevé sur l'ensemble suivis entre octobre 2016 et novembre 2018. Le niveau de « nuisance sonore » n'a donc pas dépassé 20 à 40 db conformément aux niveaux sonores du trafic routier défini par l'Office of Planning, Environment, & Realty (HEP) du département des transports des États-Unis².

² https://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/construction_noise/handbook/handbook09.cfm

6.1.9. Etat du cours d'eau :

Le niveau du cours d'eau situé en contre-bas du point de suivi a fortement varié entre octobre 2015 et novembre 2018 (Figure 26, Figure 27). Les deux premiers suivis ont été réalisés suite à de fortes pluies ayant perdurées plusieurs jours. De ce fait, le niveau d'eau est apparu plus élevé et est légèrement sortie de son lit en octobre 2015 et mai 2016. Le cours d'eau est apparu totalement asséché lors des saisons sèches d'octobre 2016 et de septembre, novembre 2017 (Figure 26). Aucun assèchement n'a été observé durant la saison sèche de 2018 (Figure 27).



Figure 26 : Photographie du cours d'eau à sec en novembre 2017. Figure 27 : Cours d'eau actif en novembre 2018.

6.1.10. Etat de santé de la végétation :

Globalement, la végétation au niveau de ce site de suivi est apparue en bonne état de santé avec une légère dégradation en octobre 2016 et novembre 2017 où il a été constaté une augmentation des symptômes foliaires ainsi que la présence de quelques individus morts sur pied. L'indice d'activité photosynthétique moyen apparaît supérieurs à 0.764 et supérieur ou équivalent au site témoin entre 2017 et 2018 suggérant un bon état de santé de la végétation malgré l'augmentation des symptômes foliaires et les quelques cas de mortalité en novembre 2017 (Figure 28). On note une diminution des dépôts de poussières en 2017 et 2018 en lien avec la diminution des défrichements au niveau de la fosse minière entre 2015 et 2018 (Figure 12). Aucune attaque phytosanitaire majeure n'a été constatée durant l'ensemble des suivis.

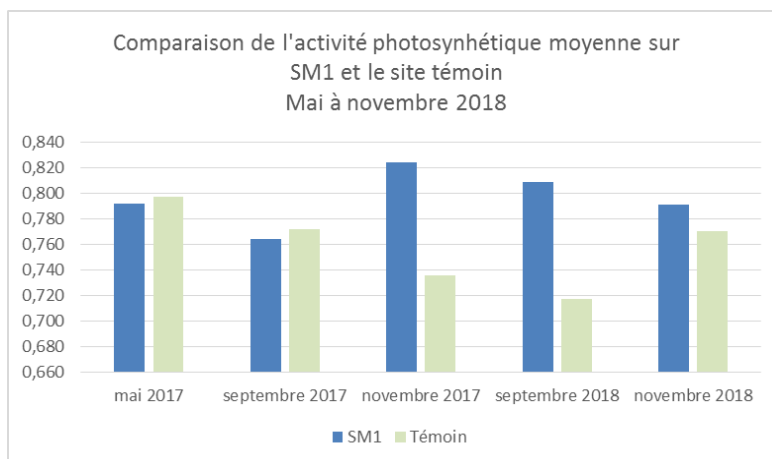


Figure 28 : Evolution de l'indice d'activité photosynthétique moyen de SM1 et du site témoin entre mai 2017 et novembre 2018.

6.2 Site de suivi SM3 :

Le site SM3 est un maquis paraforestier sur pente situé en lisière de la forêt dite de la Kwe Est.



Figure 29 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site SM3 en octobre 2015. Figure 30 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site SM3 en novembre 2018.

6.2.1. Poussière :

Les suivis de 2016 ont mis en évidence de légers dépôts de poussière sur près de 10 % des individus. Ces dépôts se présentent sous forme de fines couches peu visibles sur le limbe des feuilles (Figure 32) ou sous forme de petits amas au niveau de l'apex et/ou des dépressions formées par la feuille et favorisant l'accumulation d'eau. Les dépôts ont été observés sur les feuilles du bas de la végétation et seuls quelques individus localisés en lisière ont présenté des dépôts sous forme de petites plaques. On note une augmentation des dépôts sous forme de petites plaques au niveau de cette formation végétale en 2017 et 2018 sur les individus situés en lisière (Figure 33). L'évaluation des dépôts de poussière sur la végétation a permis d'attribuer un indice de type « Léger » en 2016 avec 10 % d'individus présentant des dépôts (Figure 32) et un indice de type « Moyen » en 2017 et 2018 avec 20% des individus présentant des dépôts de poussières. L'augmentation des dépôts de poussières observée au niveau de la lisière de la formation végétale s'explique par l'augmentation des surfaces défrichées au Sud de la fosse minière en 2017 et 2018 (Figure 12, Figure 33).

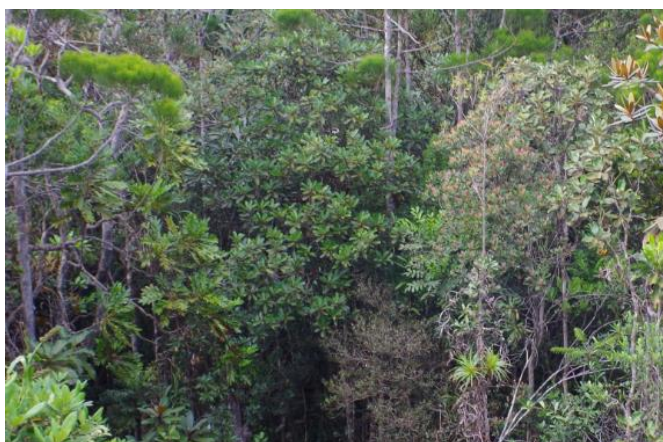


Figure 31 : Vue de la lisière de la formation végétale du site SM3 en 2018. Figure 32 : Dépôts de poussières sous forme de fines couches peu perceptibles sur le limbe des folioles en 2016. Figure 33 : Dépôts de poussières sous forme de petits amas dans les dépressions formées par la feuille d'*Arillastrum gummiferum*. Seuls quelques individus localisés en lisière ont présenté ce type de dépôt.

6.2.2. Symptômes foliaires :

L'évaluation des symptômes foliaires a permis de mettre en évidence quelques chloroses et/ou nécroses foliaires anecdotiques sur moins de 1 % des individus en 2016. Il a été observé une légère augmentation des symptômes foliaires en octobre 2016 avec 5 % d'individus présentant des symptômes (Figure 34) ainsi que la présence de deux individus séchés sur pied de *Gymnostoma deplancheanum* et *Dacrydium araucarioides* puis en septembre-novembre 2017 avec plus de 5 % d'individus présentant des symptômes (Figure 35). On observe une diminution des symptômes en 2018 avec moins de 5 % d'individus présentant des symptômes. Ces derniers sont apparus sous forme de chlorose diffuse et nécroses anecdotiques sur quelques individus éparses. Globalement, les symptômes ont été relevés de manière éparses sur des individus situés en lisière.



Figure 34: Symptômes de chloroses observés sur les vieilles feuilles d'un *Myodocarpus sp.* en lisière en octobre 2016. Figure 35 : Branches séchées de *Solmsia calophylla* en novembre 2017.

6.2.3. Régénération :

Les suivis ont mis en évidence une bonne diversité de plantules au niveau de ce site atteignant plus de 15 % de recouvrement au sol (Figure 36). Le recouvrement des plantules et de juvéniles n'a pas varié entre octobre 2015 et novembre 2018. Un indice de type « modérée » a été défini pour l'état de la régénération au niveau de ce site de suivi.



Figure 36 : Etat de la régénération en 2018 sur SM3.

6.2.4. Débris ligneux :

En 2016, on évalue à moins de 10 % le recouvrement au sol des débris ligneux. Les débris sont majoritairement constitués de brindilles et de petits branchages de petits diamètres dépassant rarement 10 cm. On note une augmentation du recouvrement des débris ligneux en 2017 qui atteint 20% de recouvrement au sol avec une densité de branchages plus abondant au sol (Figure 37) qui se stabilise jusqu'en novembre 2018.



Figure 37 : Illustration des débris ligneux sur le site SM3 essentiellement constitués de petits branchages en novembre 2018.

6.2.5. Espèces exogènes :

Des traces de cochons ont été relevées avec un sol retourné par endroit en octobre 2015, mai 2016, mai 2017 et novembre 2017 (Figure 38). La présence de rouille sur *Eugenia stricta*, *Eugenia hurlimannii* et la présence d'*Anoplolepis gracilipes* a également été relevé sur le site de suivi. La rouille semble avoir uniquement attaqué les jeunes feuilles sans impacter l'état de santé global des individus (Figure 38).



Figure 38 : Rouille détectée sur les jeunes feuilles d'*Eugenia hurlimannii*.

6.2.6. Coupe de bois :

On note des traces d'anciennes coupes de bois probablement liées à la mise en place d'une ligne tomographique pour les travaux d'exploration minière en amont du point de suivi. Les troncs coupés ne dépassent pas 10 cm (Figure 39). Aucune coupe de bois récente n'a été relevée entre octobre 2015 et novembre 2018.



Figure 39 : Trace d'une ancienne coupe de bois

6.2.7. Déchets :

Aucun déchet n'a été retrouvé sur ce point de suivi entre octobre 2015 et novembre 2018.

6.2.8. Bruit :

Un bruit de fond correspondant au roulage minier voir des bips de recul bien perceptibles ont été relevés entre octobre 2015 et novembre 2018 conférant un indice de type « Leger » (20 à 40 dB) à « Moyen » (40 à 80 dB) pour ce paramètre.

6.2.9. Etat du cours d'eau :

Les suivis réalisés entre octobre 2015 et novembre 2018 ont mis en évidence un bon débit au niveau du cours d'eau (Figure 41) ainsi qu'une réduction du niveau d'eau en Octobre 2016 et un assèchement total en septembre et novembre 2017 durant la saison sèche (Figure 40).



Figure 40 : Cours d'eau en novembre 2017. Figure 41 : Cours d'eau en octobre 2018.

6.2.10. Etat de santé de la végétation :

Globalement, la végétation au niveau de ce site de suivi est apparue en bon état de santé entre 2015 et 2016 avec une légère dégradation en 2017 se traduisant par une augmentation des symptômes foliaire, des débris ligneux et des dépôts de poussières. L'indice d'activité photosynthétique moyen apparait supérieur à 0.805 en 2017 et suggère un bon état de santé de la végétation malgré l'augmentation de symptômes foliaires en septembre 2017 et la présence de dépôts de poussières de type « Moyen » (Figure 42). Pour chaque période de suivi, l'indice d'activité photosynthétique est apparu supérieur au site témoin (Figure 42). Un indice de type « Bon » a été assigné à ce site entre octobre 2015 et novembre 2018 avec un indice de type « Moyen » en septembre 2017 et novembre 2017 du fait de l'augmentation des symptômes foliaires. Aucune attaque phytosanitaire majeure n'a été constatée durant l'ensemble du suivi entre octobre 2015 et novembre 2018.

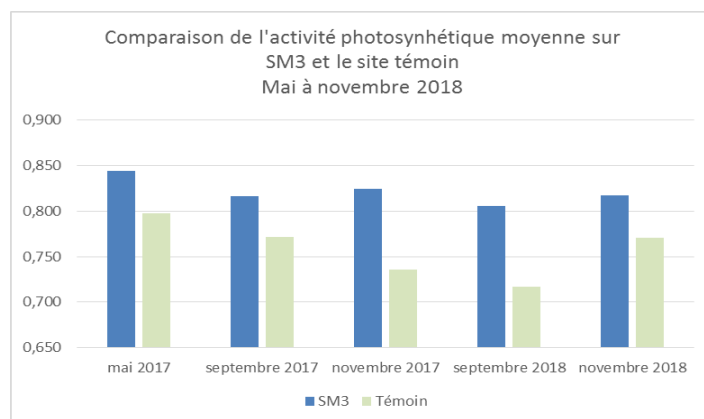


Figure 42 : Evolution de l'indice d'activité photosynthétique moyen de SM3 et du site témoin entre mai 2017 et novembre 2018.

6.3 Site de suivi SM4 :

Le site SM4 est situé en lisière de forêt sur le versant nord du cours d'eau (Figure 43, Figure 44).



Figure 43 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site SM4 en octobre 2015. Figure 44 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site SM4 en novembre 2018.

6.3.1. Poussière :

Les suivis ont mis en évidence de très légers dépôts de poussière sur moins de 5 % des individus entre octobre 2015 et novembre 2018 (Figure 46, Figure 47). Ces dépôts se présentent sous forme de fines couches à peine visibles essentiellement localisés au niveau des nervures des feuilles de quelques individus en lisière (Figure 46, Figure 47). L'évaluation des dépôts de poussière sur la végétation a permis d'attribuer un indice de type « Léger » à ce site de suivi. Aucun changement significatif des dépôts de poussière n'a été constaté au niveau de cette formation végétale entre 2015 et 2018.



Figure 45 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site de suivi SM4 en novembre 2017. Figure 46 : Dépôt de poussière sous forme de fine couche localisée entre les nervures d'une feuille de *Pleioluma azou* en 2016. Figure 47 : Dépôts en très fine couche sur l'apex d'un individu en novembre 2018.

6.3.2. Symptômes foliaires :

L'évaluation des symptômes foliaires entre octobre 2015 et novembre 2018 a permis de mettre en évidence quelques légères chloroses et/ou nécroses foliaires anecdotiques sur moins de 1 % des individus (Figure 48). L'état de santé des individus présentant des symptômes ne semble pas impacté.

Figure 48 : Chloroses caractéristiques liée à des champignons sur les vieilles feuilles d'un individu du sous-bois.



6.3.3. Régénération :

Les suivis ont mis en évidence une bonne diversité de plantules et d'individus juvéniles au niveau de ce site atteignant plus de 30 % de recouvrement au sol (Figure 49). Un indice de type « fort » a été défini pour l'état de la régénération au niveau de ce site de suivi. Le recouvrement des plantules n'a pas varié entre octobre 2015 et novembre 2018.

Figure 49 : Etat de la régénération pour SM4 en novembre 2018.



6.3.4. Débris ligneux :

Entre 2015 et octobre 2016, on évalue à près de 5 % le recouvrement au sol des débris ligneux. On note une légère augmentation du recouvrement de débris ligneux en mai 2017 avec près de 10 % de recouvrement. Les débris sont essentiellement constitués de petits branchages et de brindilles (Figure 50).

Figure 50 : Illustration des débris ligneux sur SM4 en novembre 2018.



6.3.5. Espèces exogènes :

De la rouille été relevée sur *Eugenia stricta* en septembre 2018. Seules les jeunes feuilles semblent impactées. Des fèces de chat ont été observées au niveau de la litière en novembre 2018 (Figure 51).

Figure 51 : Rouille sur *Eugenia stricta*



6.3.6. Coupe de bois :

On note des traces d'anciennes coupe de bois datant de plusieurs années en amont du point de suivi probablement liées à la mise en place de ligne tomographique pour les travaux d'exploration minière (Figure 52). Les diamètres des troncs coupés varient entre 10 et 40 cm. Aucune coupe de bois récente n'a été relevée entre octobre 2015 et novembre 2018.



Figure 52 : Trace de coupe de bois datant de plusieurs années.

6.3.7. Déchets :

Aucun déchet n'a été retrouvé sur ce point de suivi entre octobre 2015 et novembre 2018.

6.3.8. Bruit :

Seul un bruit de fond plus ou moins perceptible correspondant au roulage minier a été relevé entre octobre 2015 et novembre 2018. Le niveau de « nuisance sonore » a varié entre 20 à 80 db conformément aux niveaux sonores du trafic routier défini par l'Office of Planning, Environment, & Realty (HEP) du département des transports des États-Unis³.

6.3.9. Etat du cours d'eau

Le niveau du cours d'eau situé en contre-bas du point de suivi a fortement varié entre 2015 et 2018 (Figure 53, Figure 54). Un assèchement total du cours d'eau a été constaté durant les saisons sèches soit en octobre 2015, octobre 2016 et septembre-novembre 2017. En dehors des périodes d'étiage le cours d'eau a présenté un bon débit (Figure 53, Figure 54) à l'exception de novembre 2018 où l'eau est apparue stagnante.



Figure 53 : Cours d'eau en mai 2016. Figure 54 : Cours d'eau présentant un bon débit en septembre 2018.

³ https://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/construction_noise/handbook/handbook09.cfm

6.3.10. Etat de santé de la végétation :

Globalement, la végétation au niveau de ce site de suivi est apparue en bon état de santé. La seule dégradation relevée est une augmentation des débris ligneux en mai 2017 mais qui ne dépassent pas 10 % de recouvrement. L'indice d'activité photosynthétique moyen F_v/F_m apparaît supérieur à 0.764 et supérieur ou équivalent aux valeurs du site témoin entre 2017 et 2018 suggérant une bonne activité photosynthétique de la végétation (Figure 55). Un indice de type « Bon » a été assigné à ce site entre octobre 2015 et novembre 2018. Aucune attaque phytosanitaire majeure n'a été constatée durant l'ensemble des suivis.

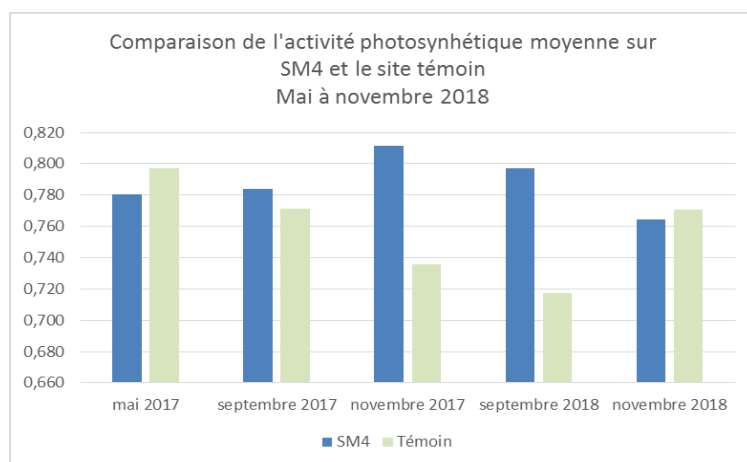


Figure 55 : Evolution de l'indice d'activité photosynthétique moyen de SM4 et du site témoin entre mai 2017 et novembre 2018.

6.4 Site de suivi SM5 :

Le site SM5 est situé en lisière de forêt en bordure d'une piste en terre au nord de SMLT.



Figure 56 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site SM5 en mai 2016. Figure 57 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site SM5 en novembre 2018.

6.4.1. Poussière :

Les suivis de 2015 et 2016 ont mis en évidence des dépôts de poussières sur 40 % des individus (Figure 58). Ces dépôts se présentent sous forme de plaques recouvrant le limbe des feuilles (Figure 58). L'évaluation des dépôts de poussière sur la végétation a permis d'attribuer un indice de type « Moyen » pour ce paramètre en 2015 et 2016. On constate une diminution des dépôts de poussière à compter de mai 2017 avec 30% d'individus présentant des dépôts de poussières sous forme de plaque diffuses ou sous forme de dépôts concentrés sur l'apex et dépressions des feuilles (Figure 59, Figure 60). Les défrichements associés au projet SMLT réalisés en 2015 et 2016 expliquent les dépôts de poussières plus importants relevés en 2016. La principale activité en 2017 étant le stockage des stériles sur la verse et aucun défrichement n'ayant été réalisé en 2017 et 2018 sur SMLT, le lessivage durant la saison des pluies explique la diminution des dépôts de poussières début 2017 (Figure 12, Figure 59, Figure 60).



Figure 58 : Dépôt de poussière sous forme de plaque sur *Pleioluma azou* en novembre 2016. Figure 59 : Dépôt de poussière sous forme de plaques lessivées sur *Pleioluma azou* en septembre 2018. Figure 60 : Dépôts de poussières sous persistant sous forme de petites plaques sur les feuilles du bas en novembre 2018.

6.4.2. Symptômes foliaires :

L'évaluation des symptômes foliaires a permis de mettre en évidence une très légère augmentation des symptômes foliaires à compter de septembre 2017 et une stabilisation jusqu'en novembre 2018 avec plus de 5 % d'individus présentant des symptômes de chloroses diffuses à ponctuéées (Figure 61) ou de nécroses foliaires. Quelques individus situés en lisière ont présentés de symptômes plus marqués avec des traces de brulures (*Pleioluma* sp.) ou de dessiccation du feuillage caractéristique d'un stress hydrique (Figure 62).



Figure 61 : Chlorose marginale sur *Gardenia Aubryi* en novembre 2017. Figure 62 : Chlorose marginale marquée avec brulure du limbe sur *Pleioluma* sp. en novembre 2017.

6.4.3. Régénération :

On relève une bonne diversité de plantules et d'individus juvéniles au niveau de ce site atteignant plus de 15 % de recouvrement au sol (Figure 63, Figure 64). Un indice de type «Modéré » a été défini pour l'état de la régénération au niveau de ce site de suivi avec toutefois une prépondérance de plantule en terme de densité et diversité en sous-bois (Figure 64). Le recouvrement des plantules n'a pas varié entre octobre 2015 et novembre 2018 (Figure 63, Figure 64).



Figure 63 : Etat de la régénération pour SM5 en lisière en novembre 2017. Figure 64 : Etat de la régénération en novembre 2018. On note une plus forte densité de plantules en sous-bois.

6.4.4. Débris ligneux :

La quantité de débris ligneux au sol n'a pas variée entre octobre 2015 et novembre 2018. On évalue à près de 10 % le recouvrement au sol de ces débris. Les débris sont essentiellement constitués de petits branchages et de brindilles (Figure 65).



Figure 65 : Illustration des débris ligneux sur SM5.

6.4.5. Espèces exogènes :

Des traces de cerf et *Wasmannia araufunctata* ont été détectées entre mai 2017. Les suivis de septembre 2017 à septembre 2018 ont permis de détecter la présence de rouille. Des traces de fouille de cochon ont été observées en septembre 2018.

6.4.6. Coupe de bois :

Aucunes traces de coupe de bois ancienne ou récente n'a été constatée au niveau du point de suivi.

6.4.7. Déchets :

Seules quelques feuilles de journaux ont été récupérées sur ce point de suivi en octobre 2015.

6.4.8. Bruit :

Entre 2015 et 2018 le niveau de « nuisance sonore » a varié entre 40 et plus de 80 dB avec un roulage minier bien perceptible. Les travaux associés au projet SMLT en 2015 et 2016 ainsi que le stockage des stériles sur la verse SMLT expliquent les niveaux sonores relevés (Figure 12).

6.4.9. Etat de santé de la végétation :

Un indice de type « Bon » a été assigné à ce site entre octobre 2015 et octobre 2016. On note une dégradation entre octobre 2016 et novembre 2018 avec notamment le dessèchement sur pied de quelques individus (*Styphelia sp*, *Dacrydium araucarioides*, *Sannantha leratii*, *Codia sp.*) et l'augmentation des symptômes foliaires. Un indice de type « Moyen » a ainsi été assigné à cette station à compter d'octobre 2016 malgré la diminution des dépôts de poussières.

L'indice d'activité photosynthétique moyen F_v/F_m apparaît supérieur à 0.726 et supérieur ou équivalent aux valeurs du site témoin entre 2017 et 2018 suggérant une bonne activité photosynthétique de la végétation (Figure 66).

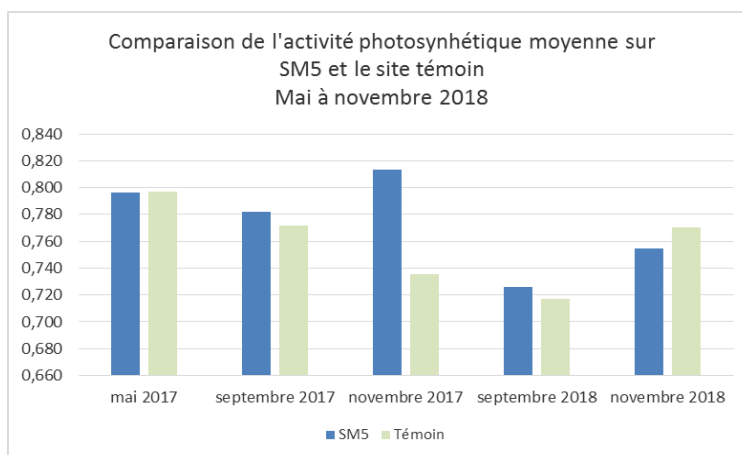


Figure 66 : Evolution de l'indice d'activité photosynthétique moyen du site SM5 et du site témoin mesuré entre mai 2017 et novembre 2018.

6.5 Site de suivi SM6 :

Le site SM6 est situé en forêt en contrebas de la carrière CPKE.



Figure 67 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site SM6 en mai 2016. Figure 68: Vue d'ensemble de la formation végétale du site SM6 en novembre 2018.

6.5.1. Poussière :

Les suivis de 2015 à mai 2017 ont mis en évidence de légers dépôts de poussière sur moins de 10 % des individus. Ces dépôts se présentent sous forme de fines couches à peine visibles essentiellement localisés au niveau des nervures des feuilles de quelques individus en lisière voir sous forme de petits amas localisés au niveau de l'apex des feuilles ou de dépression du limbe (Figure 70 ; Figure 71). On constate une légère augmentation durant la saison sèche de 2017 avec 20 % des individus présentant de la poussière puis une diminution en 2018 probablement liée à la diminution de l'activité minière associée à CPKE en février 2018.

L'évaluation des dépôts de poussière sur la végétation a permis d'attribuer un indice de type « Léger » à la station avec près de 10 % des individus présentant des dépôts de poussière entre octobre 2015 et mai 2017 puis entre mai et novembre 2018. Un indice « Moyen » a été attribué en septembre et novembre 2017 (Figure 12).



Figure 69 : Vue d'ensemble de la lisière de la formation végétale du site de suivi SM6. Figure 70: Dépôt de poussière sur l'apex des feuilles d'*Arillastrum gummiferum* en mai 2017. Figure 71 : Dépôts de poussières entre les nervures des feuilles d'*Arillastrum gummiferum* prélevées pour les mesures d'activité photosynthétique.

6.5.2. Symptômes foliaires :

L'évaluation des symptômes foliaires entre octobre 2015 et octobre 2016 a permis de mettre en évidence quelques légères chloroses et/ou nécroses foliaires anecdotiques sur moins de 5 % des individus. On note une légère augmentation des symptômes foliaires avec 5 % d'individus présentant des symptômes foliaires à compter de mai 2017 puis une stabilisation jusqu'en novembre 2018 (Figure 72). Des symptômes de chlorose ont également été observés au niveau de la régénération naturelle en lisière avec quelques individus séchés sur pied en novembre 2017 (Figure 73). La majorité des symptômes ont été relevés sur des individus en lisière.



Figure 72 : Chloroses sur les feuilles de *Calophyllum neocaledonicum*. Figure 73 : Chloroses et plantules séchées sur pied au niveau de la régénération naturelle de SM6.

6.5.3. Régénération :

Une régénération naturelle qualifiée de « Modérée » et atteignant 10 % de recouvrement au sol a été relevée durant les suivis. (Figure 74). Le recouvrement des plantules n'a pas varié entre octobre 2015 et novembre 2018.

Figure 74 : Etat de la régénération pour SM6. On note une densité « Modérée » de plantules.



6.5.4. Débris ligneux :

On note une augmentation de la quantité de débris ligneux au sol qui atteint 10% de recouvrement au sol en mai 2017 et se stabilise jusqu'en novembre 2018. Les débris sont essentiellement constitués de petits branchages et de brindilles (Figure 75).

Figure 75 : Illustration des débris ligneux sur SM6.



6.5.5. Espèces exogènes :

Deux espèces de fourmis exogènes ont été recensées au niveau du site de suivi à savoir, *Wasmannia araufunctata* et *Anoplolepis gracilipes*. La rouille a également été observée sur ce point de suivi ainsi que *Polygala panaliculata*, espèce végétale exogène, que l'on retrouve fréquemment sur sol ferrallitique.

6.5.6. Coupe de bois :

Aucune coupe de bois récente n'a été relevée entre octobre 2015 et novembre 2018.

6.5.7. Déchets :

Un morceau de plastique et une bouteille plastique ont été retrouvés en mai et octobre 2016 sur ce point de suivi.

6.5.8. Bruit :

Un bruit de fond peu perceptible de 20 à 40 db correspondant au roulage minier a été relevé en octobre 2015 et novembre 2016 puis de mai à novembre 2018. On constate une augmentation du niveau de « nuisance sonore » entre octobre 2016 et novembre 2017 variant entre 40 et plus de 80 db conformément aux niveaux sonores du trafic routier défini par l'Office of Planning, Environment, & R et septembre Healthy (HEP) du département des transports des états Unis⁴ (Figure 12).

6.5.9. Etat de santé de la végétation :

La végétation au niveau de ce site de suivi est apparue en bon état de santé. Un indice de type « Bon » a été assigné à ce site entre octobre 2015 et mai 2017. Un indice de type « Moyen » a été assigné à cette formation végétale en septembre et novembre 2017 avec l'augmentation des dépôts de poussières et la présence de symptômes foliaires au niveau de la lisière et d'individus juvéniles séchés sur pieds. Aucune attaque phytosanitaire majeure n'a été constatée durant l'ensemble du suivi. On note une diminution de l'indice d'activité photosynthétique F_v/F_m entre septembre 2017 et septembre 2018. L'indice d'activité photosynthétique moyen F_v/F_m apparaît supérieur à 0.736 et supérieur ou équivalent aux valeurs du site témoin entre 2017 et 2018 suggérant une bonne activité photosynthétique de la végétation malgré l'apparent stress hydrique de la végétation en septembre-novembre 2017 (Figure 76).

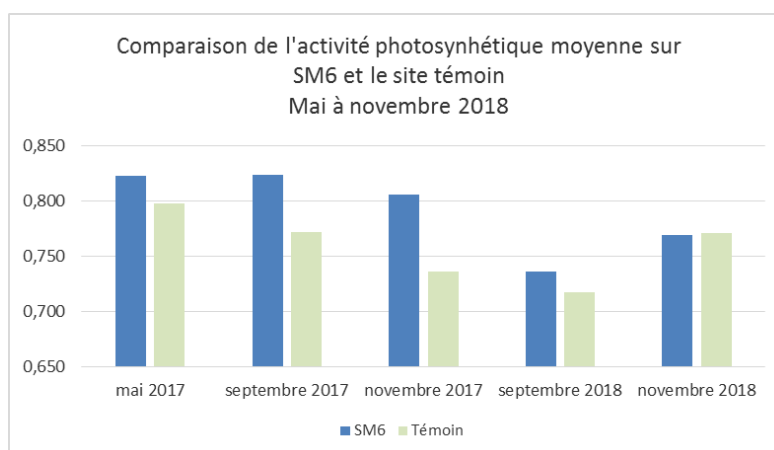


Figure 76 : Evolution de l'indice d'activité photosynthétique moyen du site SM6 et du site témoin mesuré entre mai 2017 et novembre 2018.

⁴ https://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/construction_noise/handbook/handbook09.cfm

6.6 Site de suivi SM7 :

Le site SM7 est situé en lisière de la forêt à *Arillastrum gummiferum* sur pente en contrebas de la carrière CPA1 (Figure 77, Figure 78).



Figure 77 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site SM7 en mai 2016. Figure 78 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site SM7 en septembre 2018.

6.6.1. Poussière :

Les suivis réalisés entre 2015 et 2018 ont mis en évidence des dépôts de poussières de type « Moyen ». Les dépôts se présentent sous forme de fine couche voir s'accumulent au niveau de l'apex des feuilles ou dans les dépressions du limbe des feuilles (Figure 79). Quelques individus présentent des dépôts de poussières plus conséquents sous forme de plaque recouvrant une partie du limbe des feuilles (Figure 80, Figure 81). On constate une augmentation du nombre d'individus présentant des dépôts de poussières à compter de mai 2016. On dénombre ainsi 20% d'individus avec de la poussière en octobre 2015 puis 35% en novembre 2018 (Figure 80, Figure 81). Cette augmentation des dépôts de poussières entre 2016 et 2018 est lié à l'activité minière au niveau de la carrière CPA1 surplombant la formation végétale, les défrichements ayant débutés en 2016 (Figure 12).



Figure 79 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site de suivi SM7 en novembre 2018. Figure 80 : Dépôt de poussière sous forme de plaques en mai 2017. Figure 81 : Dépôt de poussière sous forme de plaques en novembre 2018.

6.6.2. Symptômes foliaires :

L'évaluation des symptômes foliaires entre octobre 2015 et novembre 2018 a permis de mettre en évidence quelques légères chloroses et/ou nécroses foliaires anecdotiques sur moins de 1 % des individus (Figure 82, Figure 83). On constate une très légère augmentation des symptômes foliaires en septembre 2017 avec quelques individus présentant de petites nécroses apicales ou des chloroses diffuses (Figure 82) voir un feuillage flétri caractéristique d'un stress hydrique puis une stabilisation jusqu'en novembre 2018.



Figure 82 : Chloroses sur les feuilles d'un individu sur SM7. Figure 83 : Chloroses diffuses sur pittosporum sp.

6.6.3. Régénération :

Les suivis ont mis en évidence une régénération inférieure à 5 % de recouvrement du fait de l'importance de la strate cypéracéenne. Cette formation présente une strate cypéracéenne atteignant plus de 80 % de recouvrement et ne favorisant pas la germination. Un indice de type « Léger » a été défini pour l'état de la régénération au niveau de ce site de suivi. Aucun changement significatif n'a été constaté entre octobre 2015 et novembre 2018.

6.6.4. Débris ligneux :

On constate une augmentation des débris ligneux au sol en mai 2017 puis mai 2018 avec respectivement 5 % et plus de 5% de recouvrement. Les débris sont essentiellement constitués de petits branchages et de brindilles (Figure 84).



Figure 84 : Illustration des débris ligneux sur SM7 en novembre 2018.

6.6.5. Espèces exogènes :

De la rouille a été détectée sur un individu de *Tristanopsis glauca* en octobre 2015 à proximité du site de suivi (Figure 85). Des traces de cerfs ont été relevées sur le site de suivi avec une zone où la strate cypéracéenne a été couchée et quelques arbustes présentant des frottis (Figure 86, Figure 87).



Figure 85 : Rouille sur *Tristanopsis glauca*. Figure 86 : Trace de cerfs se traduisant par applatissement de la strate cyperacéenne en septembre 2018. Figure 87 : Trace de cerfs se traduisant par des frottis sur des trons d'arbres 2018.

6.6.6. Coupe de bois :

Aucune trace de coupe de bois n'a été recensée sur le site de suivi entre 2015 et 2018.

6.6.7. Déchets :

Aucun déchet n'a été retrouvé sur ce point de suivi entre 2015 et 2018.

6.6.8. Bruit :

Le niveau de « nuisance sonore » a varié entre 40 et plus de 80 db entre mai 2016 et novembre 2018 du fait de l'activité liée aux défrichements pour la création de la carrière CPA1. L'activité minière sur SMLT confère également un bruit de fond audible au niveau du site de suivi.

6.6.9. Etat de santé de la végétation :

Globalement, la végétation au niveau de ce site de suivi est apparue en bon état de santé. Un indice de type « Bon » a été assigné à ce site entre octobre 2015 et septembre 2017. Un indice de type « Moyen » a été assigné à cette formation végétale en novembre 2017 et septembre-octobre 2018 de par la présence de branches séchées sur quelques individus caractéristique d'un stress hydrique. On note une diminution de l'indice d'activité photosynthétique F_v/F_m entre mai 2017 et septembre 2018. L'ensemble des strates affichent toutefois des indices d'activité photosynthétique supérieurs à 0.785 suggérant une bonne activité photosynthétique de la végétation et présentent un indice supérieur au site de suivi témoin durant l'ensemble des suivis (Figure 88). Aucune attaque phytosanitaire majeure n'a été constatée durant l'ensemble du suivi.

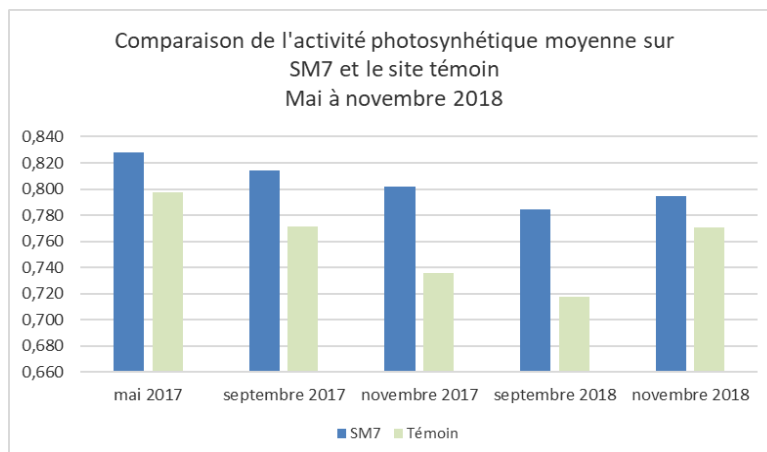


Figure 88 : Evolution de l'indice d'activité photosynthétique moyen du site SM7 et du site témoin mesuré entre mai 2017 et novembre 2018.

6.7 Site de suivi SM8 :

Le site SM8 est situé en lisière de la forêt du tuyau en bordure d'une piste en terre.



Figure 89 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site SM8 en mai 2016. Figure 90 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site SM8 en novembre 2018.

6.7.1. Poussière :

Les suivis ont mis en évidence des dépôts de poussière sur près de 20 % des individus. Ces dépôts se présentent essentiellement sous forme de petits amas localisés sur l'apex des feuilles (Figure 92) voir sous forme de plaque recouvrant une partie du limbe des feuilles (Figure 93). La majorité des individus présentant des dépôts sous forme de plaque ou de petits amas sont situés en lisière en bordure de piste en terre (Figure 91). L'évaluation des dépôts de poussière sur la végétation a permis d'attribuer un indice de type « Moyen » pour ce paramètre. Aucun changement significatif des dépôts de poussière n'a été constaté au niveau de cette formation végétale entre octobre 2015 et novembre 2018.



Figure 91 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site de suivi SM8 en novembre 2018. Figure 92 : Dépôt de poussière sur l'apex de *Codia spatulata* en novembre 2018. Figure 93 : Dépôts de poussières sur les vieilles feuilles de *Codia* en lisière en bord de piste.

6.7.2. Symptômes foliaires :

L'évaluation des symptômes foliaires entre octobre 2015 et mai 2017 a permis de mettre en évidence quelques légères chloroses et/ou nécroses foliaires anecdotiques essentiellement liées à des attaques phytosanitaires sur 1 % des individus (Figure 94). On constate une légère augmentation des symptômes foliaire en septembre puis en novembre 2017 avec près de 5 % d'individus présentant des symptômes puis une stabilisation jusqu'en novembre 2018. Des individus séchés sur pied ont également été relevés en septembre 2017 (*Arillastrum gummiferum*, *Litsea triflora*) puis en novembre 2017 (*Codia spatulata*, *Dicarpellum pronyense*, *Gymnostoma deplancheanum*...) (Figure 95 ; Figure 96).



Figure 94 : Légères chloroses ponctuées sur les vieilles feuilles d'un individu du sous-bois. Figure 95 : *Arillastrum gummiferum* séché sur pied mais présentant des rejets en septembre 2017. Figure 96 : Individu de *Dicarpellum* séchés en novembre 2017.

6.7.3. Régénération :

Les suivis ont mis en évidence une bonne diversité de plantules et d'individus juvéniles au niveau de ce site atteignant plus de 20 % de recouvrement au sol (Figure 97). Un indice de type « fort » a été défini pour l'état de la régénération au niveau de ce site de suivi. Le recouvrement des plantules n'a pas varié entre octobre 2015 et novembre 2018. En lisière la régénération est essentiellement dominée par *Gymnostoma deplancheanum* (Figure 98).



Figure 97 : Etat de la régénération pour SM8 en novembre 2018. On note une forte densité de plantules. Figure 98 : Régénération dominée par *Gymnostoma deplancheanum* en lisière.

6.7.4. Débris ligneux :

La quantité de débris ligneux au sol a augmenté en mai 2017 et est passé de 5% de recouvrement à 10% de recouvrement puis en mai 2018 où elle est passée à 15% de recouvrement au sol. Entre octobre 2015 et octobre 2016 les débris étaient essentiellement constitués de palmes de palmier. En mai 2017, un chablis a été observé sur la station de suivi et une augmentation des feuilles de palmier et branchages de tailles diverses a été constaté (Figure 99, Figure 100).



Figure 99 : Chablis sur SM8 en mai 2017. Figure 100 : Débris ligneux au sol en septembre 2018.

6.7.5. Espèces exogènes :

Les suivis ont mis en évidence la présence de rouille, d'*Anoplolepis gracilipes* et de *Wasmannia araufunctata* au niveau du site de suivi.

6.7.6. Coupe de bois :

Une ancienne piste forestière est présente à proximité du point de suivi avec des traces d'anciennes coupes de bois. Des troncs en décomposition avancée de 40 cm de diamètres sont observables au niveau de cette vieille piste. Aucune coupe de bois n'a été enregistrée entre octobre 2015 et novembre 2018.

6.7.7. Déchets :

Deux surchaussures ont été récupérées en octobre 2015.

6.7.8. Bruit :

Le niveau de « nuisance sonore » a varié entre 40 et plus de 80 db entre mai 2016 et novembre 2018 du fait de l'activité liée aux défrichements pour la création de la carrière CPA1. L'activité minière sur SMLT confère également un bruit de fond audible au niveau du site de suivi.

6.7.9. Etat de santé de la végétation :

La végétation au niveau de ce site de suivi est apparue en bon état de santé. Un indice de type « Bon » a été assigné à ce site entre octobre 2015 et novembre 2018 avec un indice de type « Moyen » en septembre et novembre 2017 de par la présence d'individus séchés sur pieds. Aucune attaque phytosanitaire majeure n'a été constatée durant l'ensemble du suivi. L'indice d'activité photosynthétique moyen F_v/F_m apparaît supérieur à 0.722 suggérant une bonne activité photosynthétique de la végétation malgré l'augmentation des symptômes foliaires en septembre-novembre 2017 (Figure 101).

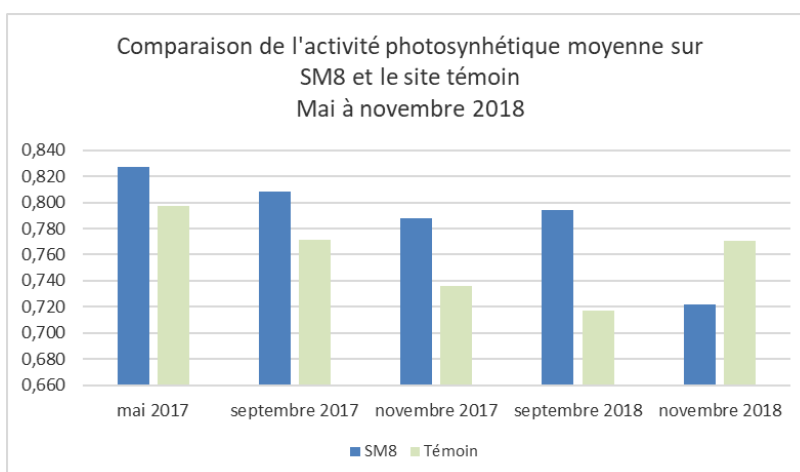


Figure 101 : Evolution de l'indice d'activité photosynthétique moyen du site SM8 et du site témoin mesuré entre mai 2017 et novembre 2018.

6.8 Site de suivi SM9 :

Le site SM9 est situé dans la réserve de pic du Grand Kaori en lisière de forêt en bordure d'un terreplein.



Figure 102 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site SM9 en mai 2017. Figure 103 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site SM9 en novembre 2018.

6.8.1. Poussière :

Les suivis ont mis en évidence de très légers dépôts de poussière sur moins de 5 % des individus entre 2015 et novembre 2018. On note une diminution des dépôts de poussières en mai 2018 durant la saison des pluies. Ces dépôts se présentent sous forme de fines couches à peine visibles essentiellement localisés au niveau des nervures des feuilles de quelques individus en et novembre lisière (Figure 104). L'évaluation des dépôts de poussière sur la végétation a permis d'attribuer un indice de type « Léger » pour ce paramètre durant l'ensemble des suivis.



Figure 104 : Dépôts de poussières entre les nervures d'une feuille d'*Arillastrum gummiferum*.

6.8.2. Symptômes foliaires :

L'évaluation des symptômes foliaires a permis de mettre en évidence quelques légères chloroses et/ou nécroses foliaires anecdotiques sur moins de 1 % des individus en mai et septembre 2017 ainsi qu'en mai 2018 (Figure 106). On constate une augmentation des symptômes foliaires (Figure 107) et la présence d'individus séchés sur pied en novembre 2017 (Figure 105) puis en septembre et novembre 2018 avec plus de 5 % d'individus présentant des symptômes foliaires de chloroses/nécroses. Aucun individu séché n'a été recensé fin 2018.

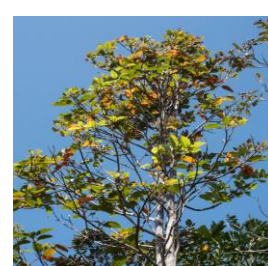


Figure 105 : Individus d'*Hibbertia pancheri* séché sur pied en novembre 2017. Figure 106 : Chlorose internervale sur *Codia jaffrei*. Figure 107 : Individu de chêne gomme présentant de vieilles feuilles chlorosées et nécrosées en novembre 2018.

6.8.3. Régénération :

Les suivis ont mis en évidence une régénération naturelle atteignant près de 5 % de recouvrement. Ce faible recouvrement peut être relié à l'importance de la strate cypéracéenne limitant les germinations (Figure 108). Un indice de type « Léger » a été défini pour l'état de la régénération au niveau de ce site de suivi (Figure 109). Aucun changement significatif n'a été constaté entre mai et novembre 2018.



Figure 108 : Strate cypéracéenne développée au niveau de la lisière de SM9. Figure 109 : Régénération au niveau d'une zone dépourvue de cypéracées.

6.8.4. Débris ligneux :

On note une augmentation de la quantité de débris ligneux au sol à compter de mai 2018. On évalue à plus de 5 % le recouvrement au sol de ces débris fin 2018. Les débris sont essentiellement constitués de petits branchages et de brindilles (Figure 110).



Figure 110 : Illustration des débris ligneux sur SM9 en novembre 2018.

6.8.5. Espèces exogènes :

Des fouilles de cochons ont été détectées entre mai 2017 au niveau de ce site de suivi (Figure 111). De la rouille a été relevée sur *Eugenia stricta* en septembre 2017 et 2018 (Figure 113). Un ancien dépôt de caillasse est à l'origine du développement d'un cortège de graminées et de légumineuses sur le terreplein devant le site de suivi (Figure 112).

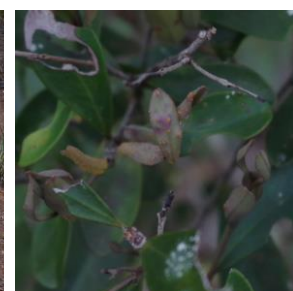


Figure 111 : Fouille de cochons en mai 2017. Figure 112 : Emergence de graminées au niveau d'un dépôt de caillasse.
Figure 113 : Rouille sur *Eugenia stricta*.

6.8.6. Coupe de bois :

Aucune coupe de bois récente n'a été relevée entre mai et novembre 2018.

6.8.7. Déchets :

Un bout de bache, une bouteille en verre et des débris de carrelage ont été récupérés sur le terreplein devant le site de suivi et septembre 2017 ainsi qu'une bouteille en plastique en décembre 2018.

6.8.8. Bruit :

Seul un bruit de fond correspondant au passage de véhicule sur la route menant à l'Usine a été relevé entre mai 2017 et novembre 2018. Le niveau de « nuisance sonore » n'a pas dépassé 10 à 40 db conformément aux niveaux sonores du trafic routier défini par l'Office of Planning, Environment, & Realty (HEP) du département des transports des états Unis⁵.

6.8.9. Etat de santé de la végétation :

Globalement, la végétation au niveau de ce site de suivi est apparue en bon état de santé avec une dégradation en novembre 2017 et septembre-novembre 2018 se traduisant par une augmentation des symptômes foliaires. Quelques individus séchés sur pieds ont été recensés fin 2017. Un indice de type « Bon » a ainsi été assigné à ce site entre mai 2017 et un indice de type « Moyen » fin 2017 et fin 2018. L'indice d'activité photosynthétique moyen F_v/F_m apparaît supérieur à 0.717 entre 2017 et 2018 suggérant une bonne activité photosynthétique de la végétation malgré la présence d'individus séchés sur pied relevés en septembre 2017.

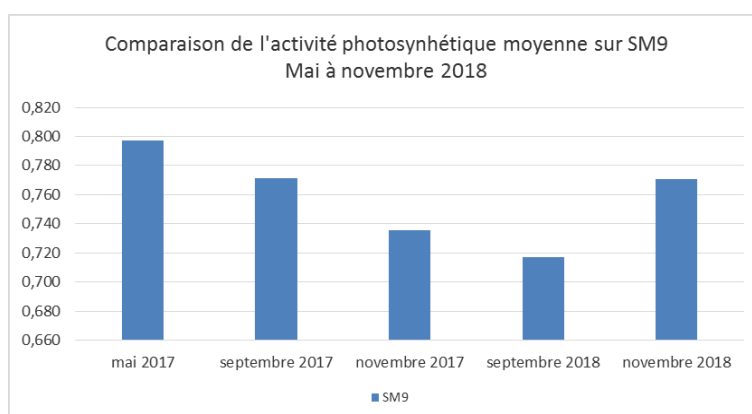


Figure 114 : Evolution de l'indice d'activité photosynthétique moyen du site témoin mesuré entre mai 2017 et novembre 2018.

⁵ https://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/construction_noise/handbook/handbook09.cfm

7. Suivi VEGUSINE : Suivi de l'évolution de l'état de la végétation par télédétection

En 2016, VALE NC a mandaté Bluecham pour la mise en place d'un protocole de suivi de l'évolution de la végétation par imagerie satellitaire autour de la mine. Cette surveillance doit permettre de détecter précocement d'éventuelles dégradations de l'état de santé de la végétation par rapport aux images satellite de 2011. Sept massifs forestiers ont ainsi été sélectionnés à proximité d'ouvrages miniers pour ce suivi ainsi que deux massifs témoins hors influence de l'activité minière (Figure 115).



Figure 115 : Massifs forestiers d'intérêt prioritaire suivi par télédétection.

7.1 Méthodologie

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

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

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

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

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

7.2 Résultats

Les résultats issus de l'étude VEGUSINE indiquent que les surfaces non impactées des massifs forestiers d'intérêt prioritaire situés à proximité de projet minier apparaissent largement supérieures aux surfaces impactées en décembre 2018. Les secteurs impactés représentent alors 2.5 % contre 97.5 % de surfaces non impactées de la surface totale des massifs forestiers hors massifs témoins (Figure 116, Figure 118). Ces impacts apparaissent relativement faibles et les surfaces impactées varient entre 1 % et 7.3 % selon les massifs concernés (Figure 118). Les surfaces non impactées et impactées sont restées relativement stables depuis décembre 2011 avec une tendance à l'augmentation des surfaces impactées entre juillet 2017 et décembre 2018 (Figure 116). Cette tendance se retrouve également au niveau des sites témoins (Tableau 4). La situation de sécheresse constatée en 2017 et très marquée sur la zone est à prendre en considération dans l'interprétation de ces tendances. Les indicateurs satellitaires ont en effet tous marqués la période de sécheresse du second semestre 2017 avec une diminution de l'EVI (stress de la végétation) ; du NDVI (activité photosynthétique), du Fr (fermeture de la canopée) et du GRVI (jaunissement de la végétation) (Figure 117).

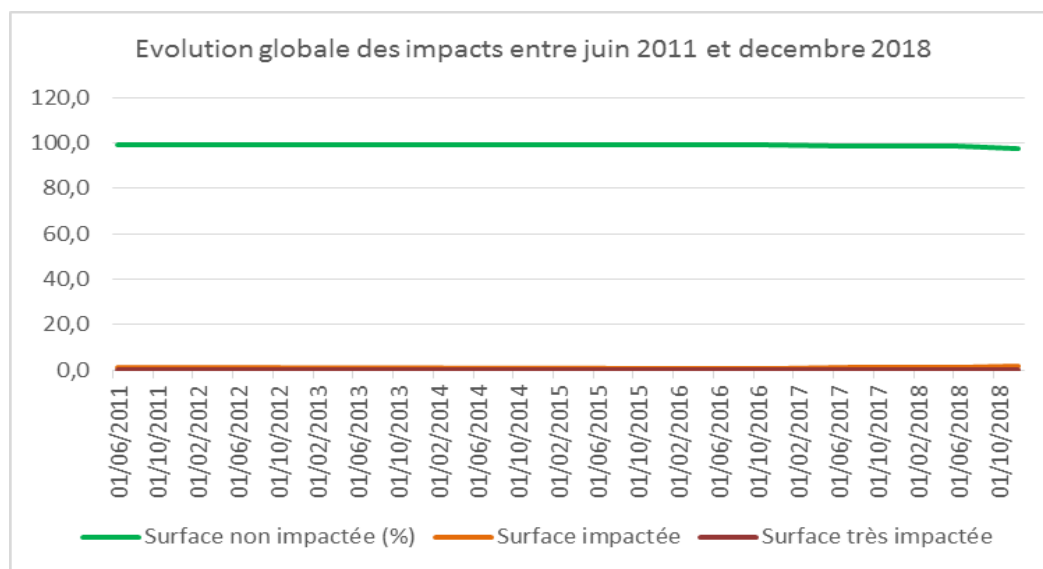


Figure 116 : Evolution des surfaces non impactées, impactées et très impactées entre 2011 et décembre 2018.

Date	Surface non impactée (%)	Surface impactée (%)	Surface très impactée (%)
17/06/2011	99,5	0,5	0,0
13/11/2016	99,8	0,2	0,0
06/07/2017	99,8	0,2	0,0
11/06/2018	99,7	0,3	0,0
02/12/2018	98,6	1,0	0,4

Tableau 4 : Evolution des surfaces impactées et non impactées entre 2011 et 2018 au niveau des massifs forestiers témoins (Forêt de l'Aérodrome et Forêt de la Wadjana).

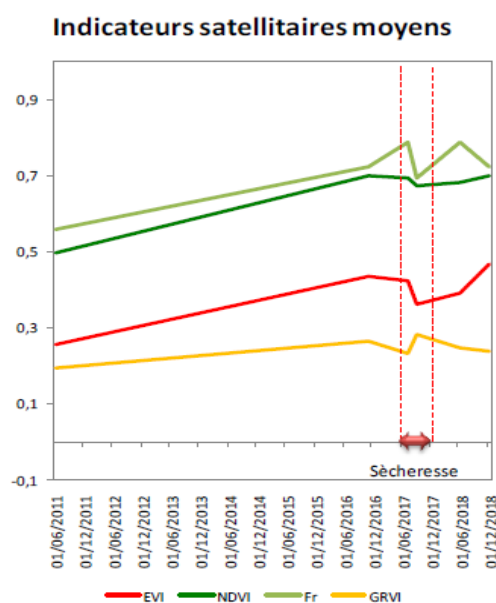


Figure 117 : Indicateurs satellitaires (NDVI, EVI, GRVI et Fr) sur la période considérée.

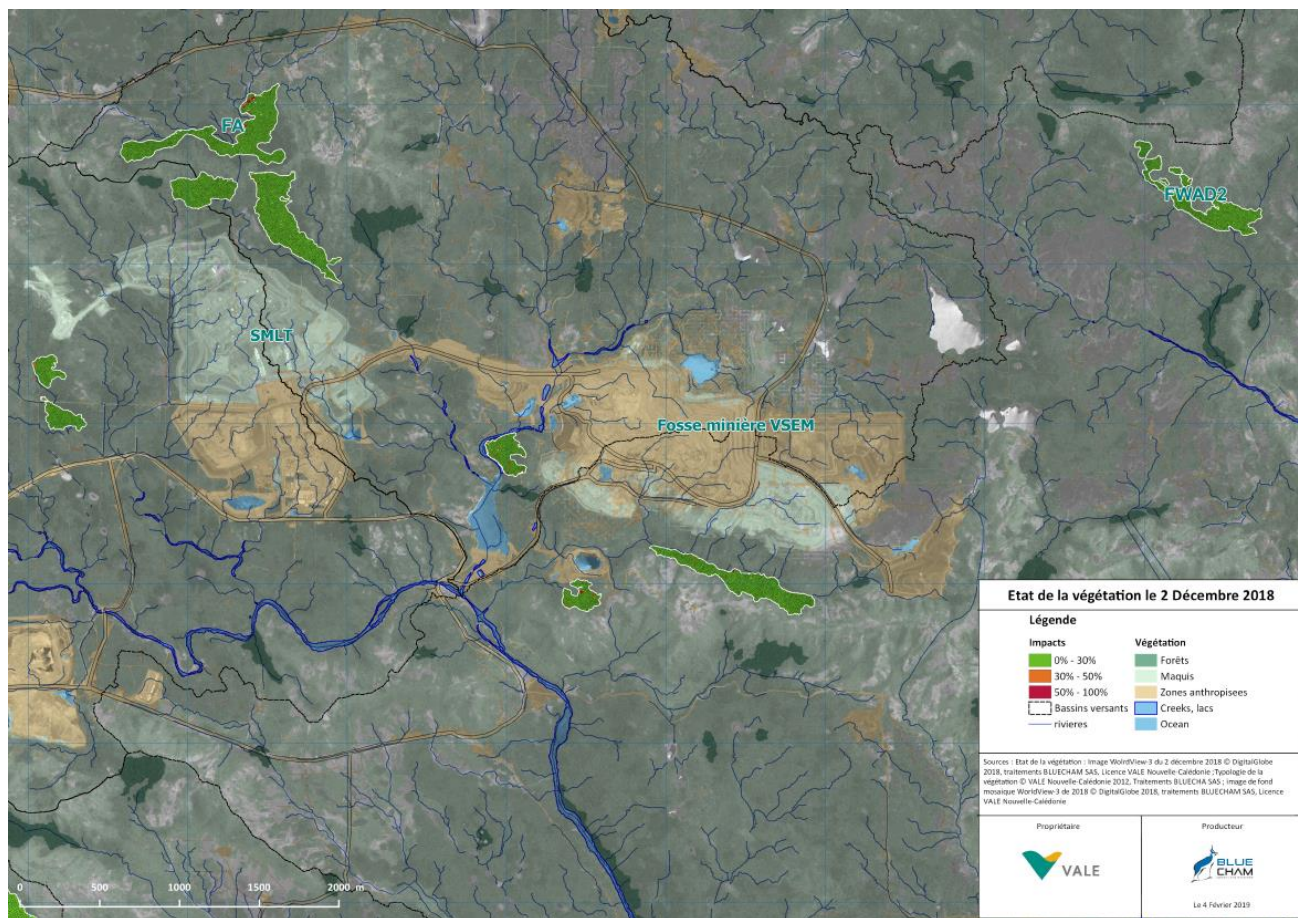


Figure 118 : Etat de la végétation en décembre 2018.

8. Conclusion

Les résultats liés à l'évaluation des différents paramètres de suivi entre octobre 2015 et novembre 2018 sont présentés en ANNEXE 1. Globalement, l'ensemble des habitats forestiers et paraforestiers situés à proximité de projets miniers sont apparus en bon état de santé avec une dégradation durant les saisons sèches de 2016, 2017 et 2018.

Une augmentation des symptômes foliaires et la présence de quelques individus séchés sur pied ou présentant des branchages séchés a été relevée sur les sites SM1, SM3 et SM5 en octobre 2016 ; sur la majorité des sites en septembre et octobre 2017 puis sur SM1 et SM5 fin 2018. Le site de suivi ayant présenté le plus de symptômes foliaires de chloroses et/ou de nécroses est le site SM1 avec près de 10 % des individus présentant des symptômes en novembre 2017.

Le suivi de l'état de santé de la végétation par télédétection montre une tendance à l'augmentation des surfaces impactées entre juillet 2017 et décembre 2018. Cette tendance se retrouve également au niveau des massifs forestiers témoins. La situation de sécheresse constatée en 2017 est à prendre en considération dans l'interprétation de ces tendances. Entre mai et novembre 2017, la Nouvelle-Calédonie a en effet connu un épisode de sécheresse intense. Le bilan pour l'hiver austral 2017 est, sans équivoque, le plus sec de ces cinquante dernières années (Météo France, 2018). Les indicateurs satellitaires utilisés pour le suivi de l'état de santé de la végétation par télédétection ont également tous marqués la période de sécheresse du second semestre 2017 avec une diminution de l'EVI (stress de la végétation) ; du NDVI (activité photosynthétique), du Fr (fermeture de la canopée) et du GRVI (jaunissement de la végétation). Plusieurs zones de dépérissement ou d'assèchement de la végétation dans le Grand Sud hors zone d'influence de la mine ont également été observées durant cette même période. Quelques individus morts sur pied à proximité voir sur quelques sites de suivi sont encore observables en 2018 témoignant de ces périodes de déficit hydrique.

Aucun dépôt de poussière de type « Fort » n'a été relevé sur l'ensemble des sites de suivi. Le site ayant présenté les dépôts de poussière les plus importants liés à l'activité minière est le site SM5 situé au Nord de SMLT avec près de 40% d'individus ayant présenté des dépôts de poussière entre octobre 2015 et octobre 2016. Ces dépôts ont diminué à compter de 2017 durant la saison des pluies. Une augmentation des dépôts de poussière liée à l'activité minière au sud de la fosse minière et au niveau de CPA1 a été constatée entre 2015 et 2018 sur SM3 et SM7 mais ces dépôts n'ont pas dépassés 35 % d'individus. Les sites SM5 et SM1 ont enregistré une diminution des dépôts de poussière à compter de mai 2017. Les dépôts de poussière au niveau de SM4, SM8 et SM9 sont quant à eux restés stable durant l'ensemble des suivis.

Dans l'ensemble, on constate une augmentation des dépôts de poussière selon l'activité à proximité (augmentation des surfaces défrichées et roulage minier) en lisière ou au niveau des zones ouvertes (ancien layon...) des sites de suivi puis une diminution voir une disparition des dépôts par lessivage par les pluies dès que l'activité minière s'atténue. Les dépôts en grande partie lessivés peuvent persister sur les feuilles du bas de la végétation sous forme de petites plaques ou de dépôts localisés en apex des feuilles.

Une augmentation du recouvrement au sol des débris ligneux a été constatée en mai 2017 puis en mai 2018 sur la majorité des sites de suivis. Cette augmentation s'explique par les phénomènes qui ont occasionnés des vents forts en 2017 et 2018, à savoir : la dépression tropicale faible du 9 février 2017 et le cyclone COOK du 10 avril 2017, la dépression tropicale modérée FEHI entre le 28 et le 29 janvier, puis le cyclone tropical HOLA du 8 au 10 mars.

Malgré l'augmentation des symptômes foliaires, des dépôts de poussière et/ou des débris ligneux sur certains sites au cours de la période de suivi, l'activité photosynthétique moyenne par site et par campagne de suivi a varié entre 0.717 et 0.844 entre 2017 et 2018 suggérant un bon état de santé de l'ensemble des formations végétales. La valeur d'activité photosynthétique moyenne la plus basse, 0.717, a été enregistrée au niveau du site témoin de Pic du Grand Kaori durant la campagne de suivi de septembre 2018. On note une bonne

régénération naturelle au niveau des formations végétales des différents sites de suivi et de nombreuses espèces ont pu renouveler leur feuillage et assurer leur floraison et fructification entre octobre 2015 et novembre 2018. Seul SM7 a présenté une régénération, qualifiée de légère, s'expliquant par l'habitat en lui-même avec une strate cypéracéenne particulièrement développée limitant ainsi la germination. Aucune attaque phytosanitaire ou impacts anthropiques majeurs (coupe de bois, déchet) n'ont été constatés sur l'ensemble des sites de suivis durant la période de suivi.

9. BIBLIOGRAPHIE

Krause, G. H & Weis E., 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. Annual review plant physiol. & mol. biol. 42: 313-349.

Jaffré T., Dagostini G., Rigault F., 2003b. Inventaire floristique des unités de végétation de la zone d'implantation des infrastructures minières et industrielles de Goro-Nickel. Rapport de synthèse. Consultance pour Goro Nickel. 34 p. + annexe + cartes.

Grantz D.A., Garner J.H.B., Johnson D.W., 2003. Ecological effects of particulate matter. Environment International, 29, 213-219.

Ukpaka P. C., Eluozo S. N., Orji, C.U., 2011. Impact of road construction dust on plantain vegetation in port harcourt rivers state Nigeria. International journal of current research Vol. 3 (10), 092-098.

Leghari S.K., Zaid M.A., Sarangzai A.M., Faheem M., Shawani G.R., Ali W., 2013. Effect of road side dust pollution on the growth and total chlorophyll content in Vitis vinifera L. (grape). African journal of biotechnology, vol 13(11), 1237-1242.

A2EP, ERBIO, Soreco NC, 2015. Etude de l'impact du débit sur la flore et la faune aquatique. Rapport final Vale Nouvelle Calédonie, 294 pages.

Pichhode M. & Nikhil K., 2015. Effect of copper mining dust on the soil and vegetation in india: A critical review. International Journal of Modern Sciences and Engineering Technology (IJMSET) ISSN 2349-3755, Volume 2, Issue 2, pp.73-76.

Bordez L. ; Zongo C., 2016. Etude d'impact potentiel des émissions de poussières sur la végétation environnante du site minier de VALE NC, Zone SMLT.

Kuppers, M., Timm, H., Stegemann, J., Stober, R., Paliwal, K., Karunaichamy, K. S. T. K. & Ortiz, R. 1996. Effects of light environment and successional status on sunfleck use by understory trees of temperate and tropical forests. Tree physiology 16: 69-80.

Rapport d'activités 2017, Meteo France.



10. ANNEXE 1 : Résultats du suivi de la végétation à proximité d'ouvrages miniers (Octobre 2015 à novembre 2018)

[illegible]

Site	Paramètre	T0 - Octobre 2015	T1 - Mai 2016	T2 - Octobre 2016	T3- Mai 2017	T4- septembre 2017	T5 - novembre 2017	T6-Mai 2018	T7-Septembre 2018	T8-Novembre 2018
SM3	Etat de santé	Bon	Bon	Bon	Bon	Moyen	Moyen	Bon	Bon	Bon
	Régénération	Modérée - 15 %	Modérée - 15 %	Modérée - 15 %	Modérée - 15 %	Modérée - 15 %	Modérée - 15 %	Modérée - 15 %	Modérée - 15 %	Modérée - 15 %
	Poussière	Leger (10%)	Leger (10%)	Leger (10%)	Moyen (20%)	Moyen (20%)	Moyen (20%)	Moyen (20%)	Moyen (20%)	Moyen (20%)
	Symptomes foliaires	Leger (1%)	Leger (1%)	Leger (5%)	Leger (5%)	Leger (>5%)	Léger (>5%)	Leger (<5%)	Leger (<5%)	Leger (<5%)
	Debris ligneux (%)	<10%	<10%	<10%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
	Coupe de bois	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS
	Dechet	NON	NON	NON	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS
	Exogène (Indice BB)	Cochon et rouille (+)	Cochon et Rouille (+)	Anoplolepis gracilis et rouille	Rouille et cochon	Rouille	Rouille et Anoplolepis gracilipes	RAS	Rouille et Anoplolepis gracilipes	RAS
	Etat du cours d'eau	Normal	Normal	Normal	Normal	Sec	Sec	Normal	Normal	Normal
Bruit	Léger - 20-40 dB	Léger - 20-40 dB	Léger - 20-40 dB	Léger - 20-40 dB	Moyen - 40 à 80dB	Moyen - 40 à 80dB	Moyen - 40 à 80dB	Léger - 20-40 dB	Moyen - 40 à 80dB	

[illegible]

Site	Paramètre	T0 - Octobre 2015	T1 - Mai 2016	T2 - Octobre 2016	T3- Mai 2017	T4- septembre 2017	T5 - novembre 2017	T6-Mai 2018	T7-Septembre 2018	T8-Novembre 2018
SM5	Etat de santé	Bon	Bon	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen	Moyen
	Régénération	Modérée- 15%	Modérée- 15%	Modérée- 15%	Modérée- 15%	Modérée- 15%	Modérée- 15%	Modérée- 15%	Modérée- 15%	Modérée- 15%
	Poussière	Moyen (40%)	Moyen (40%)	Moyen (40%)	Moyen (30%)	Moyen (30%)	Moyen (30%)	Moyen (30%)	Moyen (30%)	Moyen (30%)
	Symptomes foliaires	Leger (<5%)	Leger (<5%)	Leger (5%)	Leger (5%)	Moyen (>5%)	Moyen (>5%)	Moyen (>5%)	Moyen (>5%)	Moyen (>5%)
	Debris ligneux (%)	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
	Coupe de bois	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS
	Dechet	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS
	Exogène	RAS	RAS	RAS	cerf et Wasmannia	Rouille	Rouille	Rouille	Rouille Cochon	cochenille
	Etat du cours d'eau									
	Bruit	Fort - >80dB	Moyen - 40 à 80dB	Fort - >80dB	Fort - >80dB	Fort - >80dB	Moyen - 40 à 80dB	Fort	Moyen - 40 à 80dB	Fort

Site	Paramètre	T0 - Octobre 2015	T1 - Mai 2016	T2 - Octobre 2016	T3- Mai 2017	T4- septembre 2017	T5 - novembre 2017	T6-Mai 2018	T7-Septembre 2018	T8-Novembre 2018
SM6	Etat de santé	Bon	Bon	Bon	Bon	Moyen	Moyen	Bon	Moyen	Bon
	Régénération	Modérée - 10 %	Modérée - 10 %	Modérée - 10 %	Modérée - 10 %	Modérée - 10 %	Modérée - 10 %	Modérée - 10 %	Modérée - 10 %	Modérée - 10 %
	Poussière	Leger (<10%)	Leger (<10%)	Leger (<10%)	Leger (<10%)	Moyen (20%)	Moyen (20%)	Leger (10%)	Leger (10%)	Leger (10%)
	Symptomes foliaires	Leger (<5%)	Leger (<5%)	Leger (<5%)	Moyen (5%)	Moyen (5%)	Moyen (5%)	Moyen (5%)	Moyen (5%)	Moyen (5%)
	Debris ligneux (%)	<5	<5	<5	10	10	10	10	10	10
	Coupe de bois	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS
	Dechet	RAS	plastique	une bouteille plastique	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS
	Exogène	Polygala	Polygala et Wasmannia	Polygala et Wasmannia et ar	Polygala et rouille	Anoplolepis, polygala, rouille	Anoplolepis, polygala , rouille	Anoplolepis, polygala , rouille	Anoplolepis, polygala , rouille	Anoplolepis, polygala , rouille
	Etat du cours d'eau									
	Bruit	Leger - 20-40 dB	Leger - 20-40 dB	Moyen 40 à 80dB	Moyen 40 à 80dB	Fort - >80dB	Moyen 40 à 80dB	Leger - 20-40 dB	Leger - 20-40 dB	Leger - 20-40 dB

Site	Paramètre	T0 - Octobre 2015	T1 - Mai 2016	T2 - Octobre 2016	T3- Mai 2017	T4- septembre 2017	T5 - novembre 2017	T6-Mai 2018	T7-Septembre 2018	T8-Novembre 2018
SM7	Etat de santé	Bon	Bon	Bon	Bon	Bon	Moyen	Bon	Moyen	Moyen
	Régénération	Leger (<5%)	Leger (<5%)	Leger (<5%)	Leger (<5%)	Leger (<5%)	Leger (<5%)	Leger (<5%)	Leger (<5%)	Leger (<5%)
	Poussière	Moyen (20%)	Moyen (30%)	Moyen (30%)	Moyen (30%)	Moyen (30%)	Moyen (30%)	Moyen (30%)	Moyen (>30%)	Moyen (35%)
	Symptomes foliaires	Leger (1%)	Leger (1%)	Leger (1%)	Leger (1%)	Leger (>1%)	Leger (>1%)	Leger (>1%)	Leger (>1%)	Leger (>1%)
	Debris ligneux (%)	<1	<1	<1	5	5	5	>5	>5	>5
	Coupe de bois	Vieille ligne tomo a proxim	NON	NON	NON	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS
	Dechet	Rien	Rien	Rien	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS
	Exogène	Rouille	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	Rouille cerf	Cerf
	Etat du cours d'eau									
	Bruit	Leger - 20-40 dB	Moyen - 40 à 80dB	Fort - >80dB	Moyen - 40 à 80dB	Fort - >80dB	Leger - 20-40 dB	Moyen - 40 à 80dB	Leger - 20-40 dB	Moyen - 40 à 80dB

Site	Paramètre	T0 - Octobre 2015	T1 - Mai 2016	T2 - Octobre 2016	T3- Mai 2017	T4- septembre 2017	T5 - novembre 2017	T6-Mai 2018	T7-Septembre 2018	T8-Novembre 2018
SM8	Etat de santé	Bon	Bon	Bon	Bon	Moyen	Moyen	Bon	Bon	Bon
	Régénération	Forte (20%)	Forte (20%)	Forte (20%)	Forte (20%)	Forte (20%)	Forte (20%)	Forte (20%)	Forte (20%)	Forte (20%)
	Poussière	Moyen (20%)	Moyen (20%)	Moyen (20%)	Moyen (20%)	Moyen (20%)	Moyen (20%)	Moyen (20%)	Moyen (20%)	Moyen (20%)
	Symptomes foliaires	Leger (1%)	Leger (1%)	Leger (1%)	Leger (1%)	Leger (>1%)	Leger (<5%)	Leger (<5%)	Leger (<5%)	Leger (<5%)
	Debris ligneux (%)	5	5	5	10	10	10	15	15	15
	Coupe de bois	RAS	RAS	RAS	RAS	Trace de passage. Quelques	RAS	RAS	RAS	RAS
	Dechet	2 surchaussures	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS
	Exogène	Wasmannia auropunctata	Wasmannia auropunctata	Wasmannia auropunctata	RAS	Rouille	RAS	Anoplolepis	Anoplolepis	Anoplolepis
	Etat du cours d'eau									
	Bruit	Leger - 20-40 dB	Leger - 20-40 dB	Fort - >80dB	Moyen - 40 à 80dB	Moyen - 40 à 80dB	Leger - 20-40 dB	Moyen - 40 à 80dB	Leger - 20-40 dB	Moyen - 40 à 80dB

Site	Paramètre	T0 - Octobre 2015	T1 - Mai 2016	T2 - Octobre 2016	T3- Mai 2017	T4- septembre 2017	T5 - novembre 2017	T6-Mai 2018	T7-Septembre 2018	T8-Novembre 2018
SM9	Etat de santé				Bon	Bon	Moyen	Bon	Moyen	Moyen
	Régénération				Leger (5%)	Leger (5%)	Leger (5%)	Leger (5%)	Leger (5%)	Leger (5%)
	Poussière				Leger (<5%)	Leger (<5%)	Leger (<5%)	Leger (<1%)	Leger (<5%)	Leger (<5%)
	Symptomes foliaires				Leger (>1%)	Leger (>1%)	Moyen (>5%)	Leger (>1%)	Leger (<5%)	Moyen (>5%)
	Debris ligneux (%)				5	5	5	>5	>5	>5
	Coupe de bois				RAS	RAS	RAS	RAS	RAS	RAS
	Dechet				RAS	bout de bache, bouteille en	RAS	RAS	RAS	Bouteille
	Exogène				Cochon + graminées invas	Rouille + graminées invasives	Graminées invasive	Graminées invasive	Graminées invasive + Rouille	Graminées invasive + cochon
	Etat du cours d'eau									
	Bruit				Leger - 20-40 dB	Rien - 10 dB	Leger - 20-40 dB	Leger - 20-40 dB	Leger - 20-40 dB	Leger - 20-40 dB