

Suivi des formations paraforestières et forestières de la Kwé Est.

1. PRESENTATION DU PROTOCOLE DE SUIVI

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 dans la vallée de la Kwe Est en bordure sud du projet de fosse minière en réponse à l'arrêté n°2848-2013/ARR/DENV pour l'exploitation de la mine et de la verse V5.

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 accessibles localisés à proximité d'ouvrages miniers. Trois sites de suivi ont été sélectionnés au niveau des formations paraforestières et forestières de la Kwe Est décrite par Jaffré en 2003 et le bureau d'étude SORECO en 2015 : SM1, SM3, SM4 (Figure 1).

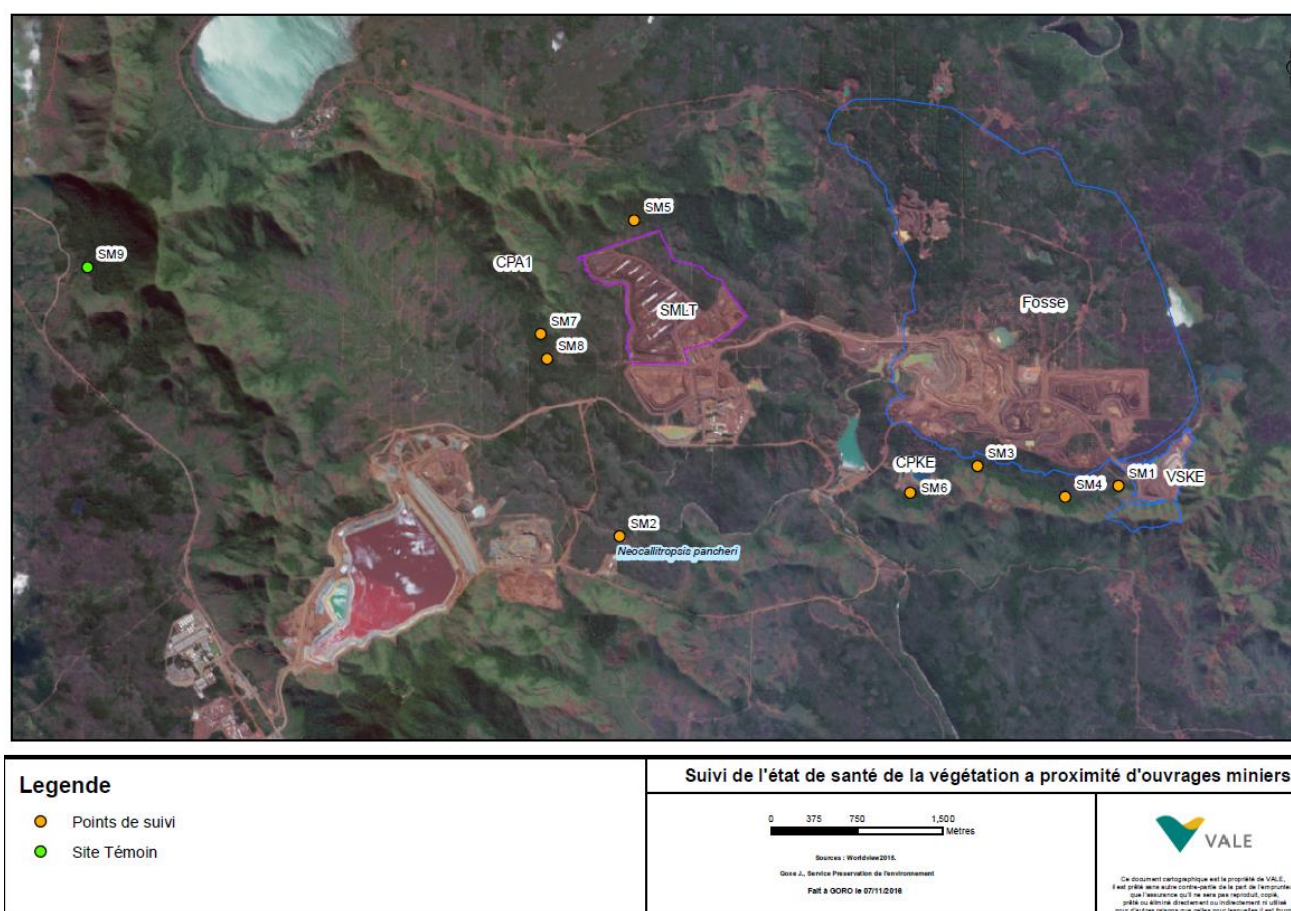


Figure 1 : Localisation des sites de suivi en orange à proximité d'ouvrages miniers et du site témoin en vert.

Pour répondre à cet objectif le protocole intègre le suivi de plusieurs paramètres (tableau 1) : Des sources de perturbation potentielles (Poussières, espèces exogènes, Coupe de bois, Déchets...) et des indicateurs de l'état de santé du milieu (Activité photosynthétique, Symptômes foliaires, Régénération naturelle, Débris ligneux...).

Paramètre de suivi	Indice		Description	Photographie
Etat de santé de la végétation et Activité photosynthétique	Quantitatif	Activité photosynthétique (FV/Fm)	Phénologie : 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 1 : 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. Pour chaque site de suivi, la mesure de l'activité photosynthétique des plantes est réalisée sur la strate arborée, la strate arbustive (sous-bois), la strate de plantules et un individu localisé en 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.

2. LES PARAMETRES DE SUIVI

2.1 Evaluation de l'état des cours d'eau

2.1.1. Indice visuel 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. La turbidité de l'eau est également appréciée et la hauteur d'eau relevée pour le point SM2. 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. Le fond n'est pas visible cause des turbidités et apports des sédiments terrigènes

2.2 Evaluation de l'état de santé de la végétation et de son activité photosynthétique

2.2.1 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 voir quasi-absence 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.

2.2.2. 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).

Ces mesures quantificatives 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.

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). 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).



2.3. Evaluation de l'état de la régénération

2.3.1. Indice visuel qualitatif

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 2).
- **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 3).
- **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 4).



Figure 2 : Indice « Peu », pas de recrutement récent de nouvelles plantules. Figure 3 : Indice « Modérée », on note le recrutement récent de nouvelles plantules. Figure 4 : Indice « Forte », on note un important recouvrement de plantules formant des concentrations notables.

2.3.2. Indice quantitatif

Des mesures de fluorescence chlorophyllienne des plantules sont également réalisées sur chaque point de suivi grâce à un PEA meter afin d'évaluer l'état de stress des plantules. Ces mesures quantificatives sont réalisées sur deux plantules balisées appartenant à deux espèces communes différentes.

2.4. Evaluation des dépôts de poussières

2.4.1. Indice visuel qualitatif

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 qualitatif 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 essentiellement sur les feuilles de bas de la végétation témoignant ainsi d'anciennes émissions ou d'un faible apport de poussières qui auraient probablement été en partie lessivées sur les feuilles du haut de la végétation, voir présence de petit amas très localisés (Figure 5) 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 formes de couches plus épaisses voir sous forme de plaques sur le limbe des feuilles du haut et du bas de quelques individus (Figure 6). 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 (forte émission de poussières et probablement récente). Les lichens et la litière au sol sont aussi couverts que la végétation (Figure 7). On estime que plus de 50 % des individus présentent de la poussière en couche épaisse voir de la poussière sous forme de plaque.



Figure 5: Indice « Léger », on note la présence de petits amas localisés sur les dépressions des feuilles (apex et bord du limbe). Figure 6: Indice « Moyen », on note la présence de dépôts de poussière sous forme de plaque uniquement sur quelques individus de la station. Figure 7 : 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.

2.5. Evaluation des symptômes foliaires

2.5.1. Indice visuel qualitatif

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 qualitatif 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 visuels 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 8). 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 (Figure 9). 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. L'état de santé des individus est impacté.



Figure 8 : Illustration d'une chlorose marginale sur *Pittosporum sp.* Non détectable par un observateur inexpérimenté. Figure 9 : Illustration d'une chlorose marquée entre les nervures d'*Arillastrum gummiferum* pouvant porter atteinte à la sensibilité d'un observateur inexpérimenté.

2.6. Evaluation du bruit

2.6.1. Indice qualitatif et quantitatif

Un indice qualitatif 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 d'eau, 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, roulement des engins, grincement des chenilles : > 80dB

2.7. 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 10).



Figure 10 : Illustration de coupes de bois illégales.

2.8. 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.

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

2.9. Les espèces exogènes

Un indice quantitatif est attribué à toute espèce exogène rencontrée sur la station de suivi selon la méthode phytosociologiques de Braün-Blanquet. L'indice de Braun-Blanquet est un coefficient d'abondance permettant d'évaluer le recouvrement d'une espèce (Tableau 2).

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 2 : Coefficient d'abondance et correspondance (selon la table de Braün-Blanquet)

2.11. Suivi photographique des formations végétale

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 et/ou quantitatif associé.

3. PROCEDURE EN CAS D'IMPACT NEGATIF

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...).

4. ANALYSE DES RESULTATS PAR SITE DE SUIVI

Les résultats liés à l'évaluation des différents paramètres de suivi entre octobre 2015 et octobre 2016 sont présentés dans le tableau 3.

Site	Paramètre	T0 - Octobre 2015	T1 - Mai 2016	T2 - Octobre 2016
SM1	Etat de santé	Bon	Bon	Moyen
	Régénération	Modérée - 10 %	Modérée - 10 %	Modérée - 10 %
	Poussière	Moyen (20%)	Moyen (20%)	Moyen (20%)
	Symptomes foliaires	Leger (5%)	Leger (5%)	Moyen (10 %)
	Debris ligneux (%)	10	10	10
	Coupe de bois	Vieille ligne tomographique	Vieille ligne tomographique	Vieille ligne tomographique
	Dechet	NON	NON	1 tuteur de ligne tomo
	Exogène (Indice BB)	RAS	RAS	Rouille
	Etat du cours d'eau	Débordement	Débordement	A sec
	Bruit	Leger - 20-40 dB - Bruit de fond Roulage minier	Leger - 20-40 dB - Bruit de fond Roulage minier	Leger - 20-40 dB - Bruit de fond Roulage minier
SM3	Etat de santé	Bon	Bon	Bon
	Régénération	Modérée - 15 %	Modérée - 15 %	Modérée - 15 %
	Poussière	Leger (10%)	Leger (10%)	Leger (10%)
	Symptomes foliaires	Leger (1%)	Leger (1%)	Leger (5%)
	Debris ligneux (%)	5	5	5
	Coupe de bois	RAS	RAS	RAS
	Dechet	NON	NON	NON
	Exogène (Indice BB)	Cochon et rouille (+)	Cochon et Rouille (+)	<i>Anoplolepis gracilis</i> et rouille (+)
	Etat du cours d'eau	Eau claire - Bon debit	Eau claire - Bon debit	Eau claire - Faible debit
	Bruit	Léger - 20-40 dB - Bip de recul a peine perceptible	Rien - 10 dB	Leger - 20-40 dB - Bruit de fond Roulage minier
SM4	Etat de santé	Bon	Bon	Bon
	Régénération	Forte - 20 %	Forte - 20 %	Forte - 20 %
	Poussière	Leger (5%)	Leger (5%)	Leger (5%)
	Symptomes foliaires	Leger (1%)	Leger (1%)	Leger (1%)
	Debris ligneux (%)	5	5	5
	Coupe de bois	RAS	RAS	RAS
	Dechet	NON	NON	NON
	Exogène (Indice BB)	RAS	RAS	RAS
	Etat du cours d'eau	A sec	Eau claire - Bon debit	A sec
	Bruit	Rien - 10 dB	Leger - 20-40 dB Bruit de fond Roulage minier	Leger - 20-40 dB Bruit de fond Roulage minier

Tableau 3 : Présentation des paramètres de suivi et des indices qualitatifs et quantitatifs associés pour les sites SM1, SM3 et SM4.

4.1 Site de suivi SM1 :

Le site SM1 correspond à un maquis paraforestier à *Gymnostoma deplancheanum* (Figure 11, Figure 12). Ce site héberge deux espèces sensibles *Planchonella pronyensis* et *Pycnandra glabella*.



Figure 11 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site SM1 lors du premier suivi – T0 en octobre 2015. Figure 12 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site SM1 lors du troisième suivi – T2 en octobre 2016.

4.1.1. Poussière :

Les dépôts de poussière ont été constatés sur 20% des individus 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 (Figure 14). Quelques individus présentent des dépôts sur le limbe des feuilles de type "plaque" (Figure 15, 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. Aucun changement significatif des dépôts de poussière n'a été constaté au niveau de cette formation végétale entre l'état initial (Figure 11) réalisé en octobre 2015 et le suivi T2 (Figure 12) réalisé en octobre 2016.

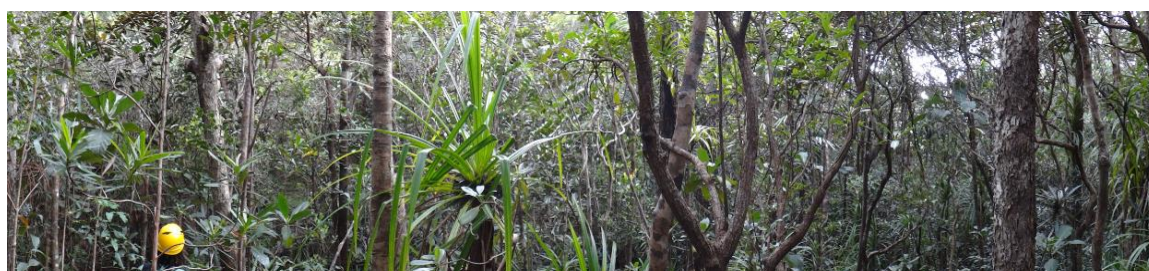


Figure 13 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site SM1. Figure 14 : Dépôts de poussières sur l'apex des feuilles du bas de *Styphelia sp.* Figure 15 : Dépôts de poussières sous forme de plaque observés sur quelques individus. Figure 16 : Dépôts de poussières sous forme de plaque observés sur quelques individus.

4.1.2. Symptômes foliaires :

L'évaluation des symptômes foliaires lors des deux premiers suivis a permis de mettre en évidence quelques chloroses et/ou nécroses foliaires anecdotiques sur moins de 5 % des individus conférant un indice de type « léger » pour ce site de suivi. Il a été observé une augmentation des symptômes foliaires en octobre 2016 par rapport aux premiers suivis. Les symptômes ont été relevés sur moins de 10 % des individus avec des symptômes de chloroses sur des individus de *Syzygium sp.*, *Arillastrum gummiferum* et des symptômes de chloroses et de nécroses sur *Solmsia calophylla*. Les symptômes ont été relevés en lisière et l'état de santé des individus présentant des symptômes ne semble pas impacté. Deux individus séchés sur pieds appartenant aux espèces *Deplanchea speciosa* (Figure 17) et *Gymnostoma deplancheanum* ont également été observés en octobre 2016. Un indice de type « moyen » a été assigné pour ce site en octobre 2016.



Figure 17 : Individu séché sur pied de *Deplanchea speciosa* observé en octobre 2016. Un indice de type « Moyen » a été assigné en octobre 2016 pour le paramètre « poussière » de ce site de suivi.

4.1.3. Régénération :

Les trois 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 18). Le recouvrement des plantules n'a pas varié entre octobre 2015 et octobre 2016. Un indice de type « modérée » a été défini pour l'état de la régénération au niveau de ce site de suivi. On note également une bonne diversité d'espèce ayant produit de belles jeunes feuilles durant les suivis : *Arillastrum gummiferum*, *Styphelia sp.*, *Pleioluma sp.*, *Myrsine sp.*, *Soulamea sp.*, *Calophyllum caledonicum*, *Myrtaceae sp.*, *Myrtopsis sp.*, *Syzygium sp.*.

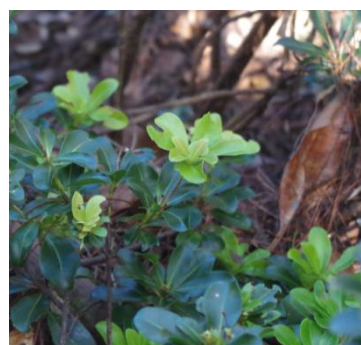


Figure 18 : Régénération sur le site SM1. Figure 19 : *Pleioluma baueri* présentant de belles jeunes feuilles en octobre 2016.

4.1.4. Débris ligneux :

La quantité de débris ligneux au sol n'a pas variée entre octobre 2015 et Octobre 2016. On évalue à près de 10% le recouvrement au sol de ces débris (Figure 20). 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 20 : Illustration des débris ligneux sur le site SM1 avec de petits branchages au sol au premier plan et des troncs de plus gros diamètre en arrière plan.

4.1.5. Espèces exogènes :

De la rouille a été détectée sur *Eugenia stricta* en octobre 2016.

4.1.6. 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 21). 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 octobre 2016.



Figure 21 : Ancienne coupe de bois. On note que l'individu a rejeté de souche.

4.1.7. Déchets :

Un « tuteur de repérage » de ligne tomographique a été retrouvé sur ce point de suivi le 04 octobre 2016 lors de la deuxième campagne de suivi.

4.1.8. Bruit :

Seul un bruit de fond correspondant au roulage minier a été relevé lors des trois suivis. 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.

4.1.9. 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 2016 (Figure 22, Figure 23). 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 lors des deux premiers suivis (Figure 22). Le cours d'eau est apparu totalement asséché lors du dernier suivi en octobre 2016 (Figure 23).



Figure 22 : Photographie du cours d'eau en mai 2016. Figure 23 : Photographie du cours d'eau à sec en Octobre 2016.

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

4.1.10. 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 légère dégradation en Octobre 2016 où il a été constaté une augmentation des symptômes foliaires ainsi que la présence de deux individus morts sur pied. Aucune attaque phytosanitaire majeure n'a été constatée durant l'ensemble du suivi et de nombreuses espèces ont pu renouveler leur feuillage et assurer leur floraison et fructification : *Heydicaria parvifolia*, *Gahnia neocaledonica*, *Myrtopsis sp.*, *Styphelia sp.*, *Scaevola beckii*, *Pycnandra pubiflora*...

4.2 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 24 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site SM3 lors du premier suivi (T0) en octobre 2015. Figure 25 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site SM3 lors du troisième suivi (T2) en octobre 2016.

4.2.1. Poussière :

Les trois premiers suivis ont mis en évidence de légers dépôts de poussière sur moins de 10 % des individus. Ces dépôts se présentent sous forme de fines couches peu visibles sur le limbe des feuilles (Figure 27) 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 (Figure 28). 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 (Figure 28). L'évaluation des dépôts de poussière sur la végétation a permis d'attribuer un indice de type « Léger » pour ce paramètre. Aucun changement significatif des dépôts de poussière n'a été constaté au niveau de cette formation végétale entre l'état initial et le suivi T2 réalisé en octobre 2016, soit un an après l'état initial.



Figure 26 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site SM3. Figure 27 : Dépôts de poussières sous forme de fines couches peu perceptibles sur le limbe des folioles. Figure 28 : 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.

4.2.2. Symptômes foliaires :

L'évaluation des symptômes foliaires lors des deux premiers suivis a permis de mettre en évidence quelques chloroses et/ou nécroses foliaires anecdotiques sur moins de 1 % des individus. Il a été observé une légère augmentation des symptômes foliaires en octobre 2016 par rapport aux premiers suivis ainsi que la présence de deux individus séchés sur pied de *Gymnostoma deplancheanum* et *Dacrydium araucarioides*. Les symptômes ont été relevés de manière éparse sur des individus situés en lisière (Figure 29). L'état de santé des individus présentant des symptômes ne semble pas impacté.



Figure 29 : Symptômes de chloroses observés sur les vieilles feuilles de un *Myodocarpus* sp. en lisière en octobre 2016.

4.2.3. Régénération :

Les trois suivis ont mis en évidence une bonne diversité de plantules au niveau de ce site atteignant plus de 15 % de recouvrement au sol (Figure 29). Le recouvrement des plantules et de juvéniles n'a pas varié entre octobre 2015 et 2016. Un indice de type « modérée » a été défini pour l'état de la régénération au niveau de ce site de suivi. On note également une bonne diversité d'espèces ayant produit de belles jeunes feuilles durant les suivis : *Styphelia* sp., *Gardenia aubryi*, *Solmsia Calophylla*, *Pleioluma azou*, *Pancheria billardiarei*, *Longetia buxoides*, *Arillastrum gummiferum*, *Myrtopsis* sp..



Figure 30 : Etat de la régénération sur SM3. Les plantules et jeunes plants atteignent plus de 15 % de recouvrement sur ce site. Figure 31 : *Pleioluma azou* présentant de belles jeunes feuilles en octobre 2016.

4.2.4. Débris ligneux :

La quantité de débris ligneux au sol n'a pas variée entre octobre 2015 et Octobre 2016. On évalue à moins de 5 % le recouvrement au sol de ces débris. Les débris sont majoritairement constitués de brindilles et de petits branchages de petits diamètres dépassant rarement 10 cm (Figure 32).



Figure 32 : Illustration des débris ligneux sur le site SM3 essentiellement constitués de petits branchages.

3.2.5. Espèces exogènes :

Des traces de cochons ont été relevées avec un sol retourné par endroit lors des deux premiers suivis en octobre 2015 et mai 2016 (Figure 33). La présence de rouille sur *Eugenia stricta* a également été constatée lors des trois suivis. La rouille semble avoir uniquement attaqué les jeunes feuilles d'*Eugenia stricta* sans impacter l'état de santé global des individus (Figure 34). *Anoplolepis gracilis* a quant à elle été détectée en octobre 2016.



Figure 33 : Traces de fouille de cochons au sol. Figure 34 : Rouille détectée sur les jeunes feuilles d'*Eugenia stricta*.

4.2.6. Coupe de bois :

Aucune trace de coupes de bois n'a été constatée au niveau du point de suivi. On note toutefois 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. Aucune coupe de bois récente n'a été relevée entre octobre 2015 et octobre 2016.



Figure 35 : Trace d'une ancienne coupe de bois

4.2.7. Déchets :

Aucun déchet n'a été retrouvé sur ce point de suivi entre octobre 2015 et octobre 2016.

4.2.8. Bruit :

Seul un bruit de fond correspond au roulage minier et à des bips de recul peu perceptibles ont été relevés en octobre 2015 puis en mai 2016. Le niveau de « nuisance sonore » n'a donc pas dépassé 20 à 40 dB conformément aux niveaux sonores du trafic routier défini par le Département des transports des États-Unis³.

4.2.9. Etat du cours d'eau :

Le niveau du cours d'eau situé en contre-bas du point de suivi a peu varié entre octobre 2015 et 2016. Les deux premiers suivis ont été réalisés suite à de fortes pluies ayant perduré plusieurs jours et le cours d'eau présentait un bon débit (Figure 36). Lors du dernier suivi en octobre 2016 le niveau d'eau et le débit sont apparus plus faibles.



Figure 36 : Cours d'eau en octobre 2015.

4.2.10. Etat de santé de la végétation :

Globalement, la végétation au niveau de ce site de suivi est apparue en bon état de santé. Un indice de type « Bon » a été assigné à ce site entre octobre 2015 et octobre 2016. Il a été constaté une légère augmentation des symptômes foliaires en octobre 2016 ainsi que la présence de deux individus séchés sur pieds. Aucune attaque phytosanitaire majeure n'a été constatée durant l'ensemble du suivi entre octobre 2015 et octobre 2016 et de nombreuses espèces ont pu renouveler leur feuillage et assurer leur floraison et leur fructification : *Styphelia* sp., *Scaevola beckii*, *Codia* sp...

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

4.3 Site de suivi SM4 :

Le site SM4 est situé en lisière de forêt sur le versant nord du cours d'eau.



Figure 37: Vue d'ensemble de la formation végétale du site SM4 lors du premier suivi (T0) en octobre 2015. Figure 38 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site SM4 lors du troisième suivi (T2) en octobre 2016.

4.3.1. Poussière :

Les trois premiers suivis ont mis en évidence de très légers dépôts de poussière sur moins de 5 % des individus (Figure 39). 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 40). L'évaluation des dépôts de poussière sur la végétation a permis d'attribuer un indice de type « Léger » pour ce paramètre. Aucun changement significatif des dépôts de poussière n'a été constaté au niveau de cette formation végétale entre l'état initial et le suivi T2 réalisé en octobre 2016, soit un an après l'état initial.



Figure 39 : Vue d'ensemble de la formation végétale du site de suivi SM4. Figure 40: Dépôt de poussière sous forme de fine couche localisée entre les nervures d'une feuille de *Pleioluma azou*.

4.3.2. 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 1 % des individus (Figure 41). L'état de santé des individus présentant des symptômes ne semble pas impacté.

Figure 41 : Légères chloroses sur les vieilles feuilles d'un individu du sous-bois



4.3.3. Régénération :

Les trois 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 42). 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 octobre 2016. On note également une bonne diversité d'espèces ayant produit de belles jeunes feuilles durant les suivis : *Styphelia* sp., *Solmsia calophylla*, *Myrtopsis* sp., *Arillastrum gummiferum*, *Garcinia neglecta*, *Codia* sp., *Uromyrtus* sp., *Pleioluma* sp. (Figure 43).



Figure 42 : Etat de la régénération pour SM4. On note une forte densité de plantules. Figure 43 : Belles jeunes feuilles de *Pleioluma azou*

4.3.4. Débris ligneux :

La quantité de débris ligneux au sol n'a pas variée entre octobre 2015 et Octobre 2016. On évalue à moins de 5 % le recouvrement au sol de ces débris. Les débris sont essentiellement constitués de petits branchages et de brindilles (Figure 44).

Figure 44 : Illustration des débris ligneux sur SM4.



4.3.5. Espèces exogènes :

Aucunes espèces animales ou végétales exogènes n'ont été détectées entre octobre 2015 et octobre 2016 au niveau de ce site de suivi.

4.3.6. 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 45). Les diamètres des troncs coupés varient entre 10 et 40 cm. Aucune coupe de bois récente n'a été relevée entre octobre 2015 et octobre 2016.



Figure 45 : Trace de coupe de bois datant de plusieurs années.

4.3.7. Déchets :

Aucun déchet n'a été retrouvé sur ce point de suivi entre octobre 2015 et octobre 2016.

4.3.8. Bruit :

Seul un bruit de fond peu perceptible correspondant au roulage minier a été relevé en mai et octobre 2016. Le niveau de « nuisance sonore » n'a pas dépassé 20 à 40 db conformément aux niveaux sonores du trafic routier définis par l'Office of Planning, Environment, & Realty (HEP) du département des transports des États-Unis⁴.

4.3.9. Etat du cours d'eau :

Le niveau du cours d'eau situé en contre-bas du point de suivi a fortement varié entre octobre 2015 et 2016. Lors du premier suivi il est apparu complètement asséché puis a présenté un bon débit en mai 2016 (Figure 46) et a été observé une seconde fois à sec en octobre 2016 (Figure 47).



Figure 46 : Cours d'eau en mai 2016. Figure 47 : Cours d'eau à sec en octobre 2016.

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

4.3.10. Etat de santé de la végétation :

Globalement, la végétation au niveau de ce site de suivi est apparue en bon état de santé. Un indice de type « Bon » a également été assigné à ce site entre octobre 2015 et octobre 2016. Aucune attaque phytosanitaire majeure n'a été constatée durant l'ensemble du suivi entre octobre 2015 et octobre 2016 et de nombreuses espèces ont pu renouveler leur feuillage et assurer leur floraison et leur fructification : *Coleospermum crassifolius*, *Dysoxylum canalense*, *Styphelia* sp, *Tarenna hexamera*, *Lomandra insularis*...

5. 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, dont la forêt dite de la Kwe Est, ont ainsi été sélectionnés à proximité d'ouvrages miniers pour ce suivi.

5.1 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) (Figure 49).

Longitude RGNC91-93	500489.224728773
Latitude RGNC91-93	211008.995654509
Longitude WGS84	166.9752317
Latitude WGS84	-22.3009108
Date de l'image satellite	2016-11-13 23:31:51
Couverture nuageuse	0 %
Résolution de l'image satellite	0.3 m
Date de l'image précédente	2011-06-17
Ecart entre les 2 images	1976 jours
Superficie totale du MFIP	102826 m ²
Nb Stations Virtuelles de Surveillance (SVS)	2217
Typologie de la végétation du MFIP	Forêt sur époules peridotitiques et forêt rivulaire
Massif Forestier de Référence	FWAD2

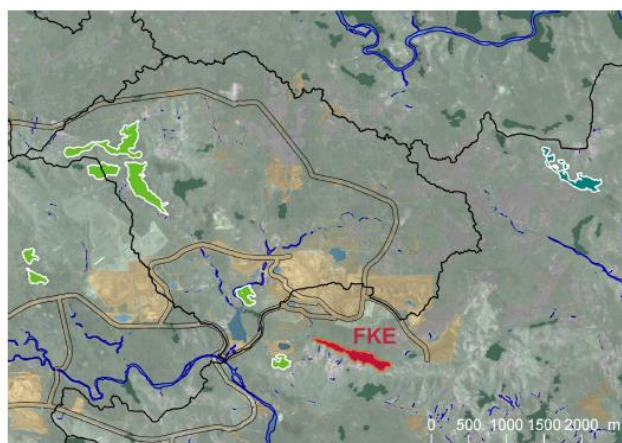


Figure 48 : Localisation de la forêt dite de la Kwe Est et paramètres associés aux deux images satellite utilisées pour l'étude « VEGUSINE ».

5.2 Résultats

Les résultats issus de l'étude VEGUSINE indiquent que les surfaces non impactées de la forêt de la Kwe Est apparaissent largement supérieures aux surfaces impactées en novembre 2016 (Figure 49). Les surfaces non impactées et impactées sont restées stables depuis décembre 2011 (Figure 51). La carte de synthèse de l'indice ISEV (Figure 50) et des impacts estimés en novembre 2016 (Figure 49) indiquent une bonne reprise de la végétation à l'Est de la forêt de la Kwé Est depuis juin 2011 (Figure 49, Figure 50).

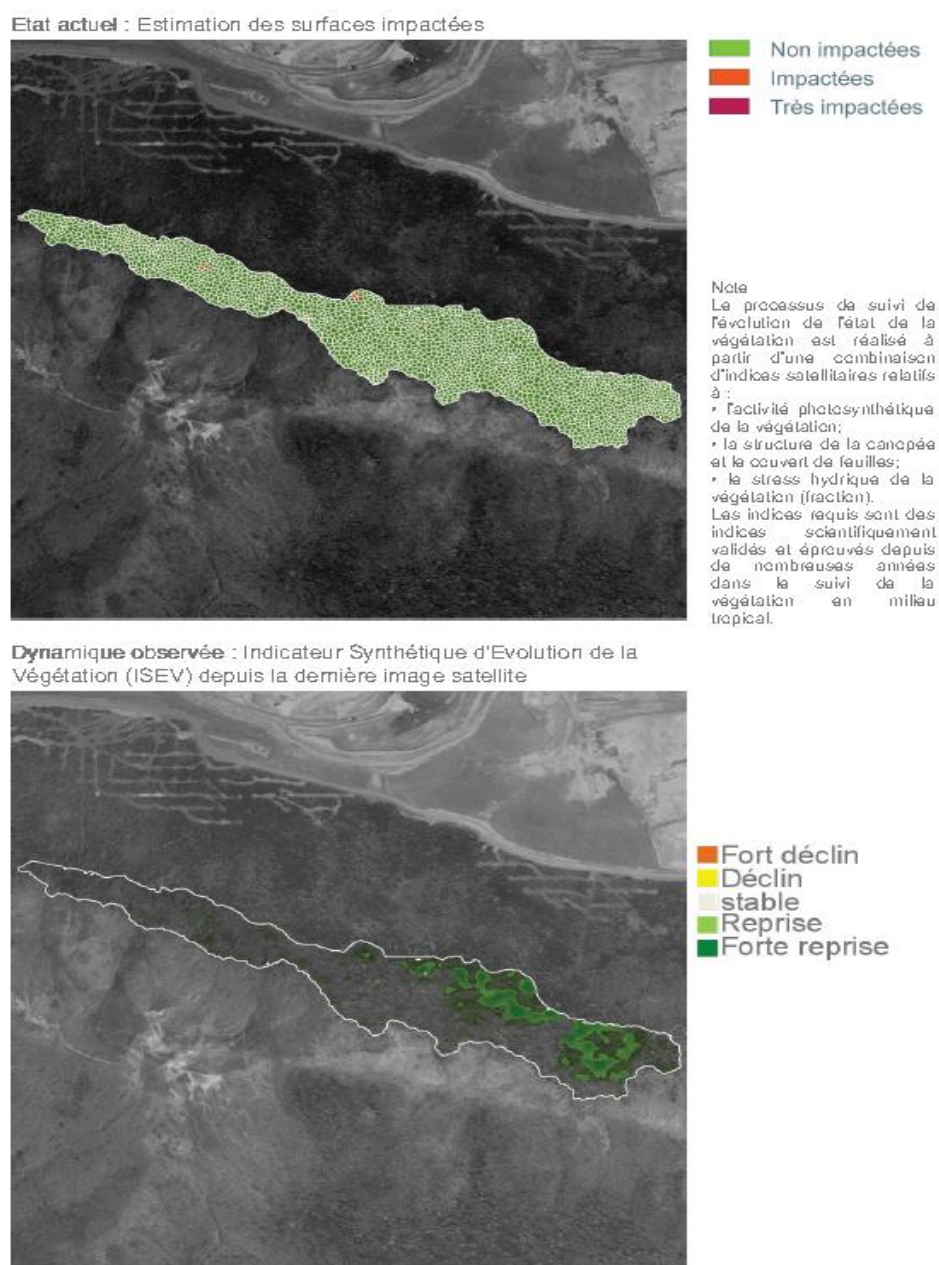


Figure 49 : Carte des impacts estimés en novembre 2016. Figure 50 : Carte de synthèse de l'indice ISEV traduisant la dynamique observée entre 2011 et novembre 2016.

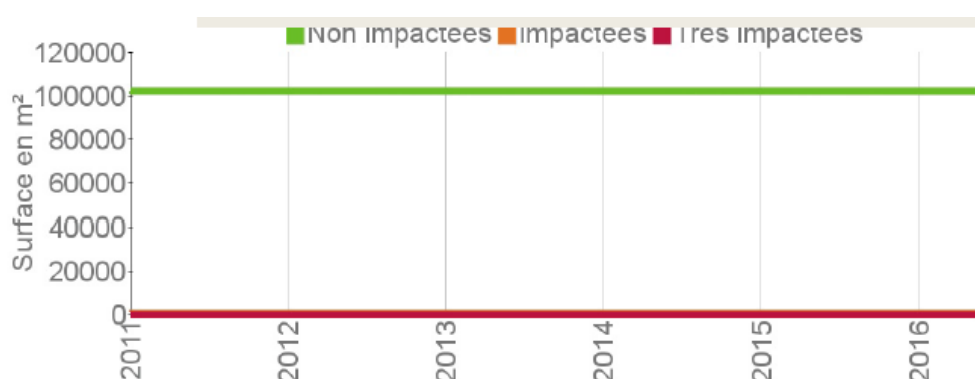


Figure 51 : Evolution des surfaces non impactées, impactées et très impactées entre 2011 et novembre 2016.

6. CONCLUSION

Globalement, les habitats forestiers et paraforestiers de la Kwe Est situés en bordure Sud du projet de fosse minière sont apparus en bonne état de santé durant les trois campagnes de suivis qui se sont déroulées d'octobre 2015 à octobre 2016. Un bon état de régénération a été constaté au niveau de ces formations végétales et de nombreuses espèces ont renouveler leur feuillage et assurer leur floraison et fructification.

Aucune attaque phytosanitaire ou impacts anthropiques majeurs (dépôts de poussière, coupe de bois, déchet, bruit) n'ont été constatés. Une légère augmentation des symptômes foliaires ainsi que quatre individus morts sur pied ont été relevés en octobre 2016 au niveau du maquis paraforestier du site de suivi SM1 et de la forêt du site SM3. Les symptômes de chloroses ont été observés sur moins de 10% des individus et leur état de santé ne semble pas avoir été impacté. Il est probable que la saison sèche ait eu un impact sur ces formations végétales car il a été constaté une diminution du niveau des cours d'eau sur tous les sites de suivi en octobre 2016 voir un assèchement complet pour les sites SM1 et SM4. La présence de rouille a également été constatée sur SM1 et SM3 ainsi que la présence d'*Anoplolepis gracilis* et de traces de fouilles de cochons sur SM3. Les niveaux sonores relevés sur l'ensemble des sites de suivi sont restés légers et n'ont pas dépassés 20 à 40 dB lors des différents suivis (Tableau 2).

Les données issues du suivi par télédétection de la végétation (Etude VEGUSINE) confortent les résultats obtenus dans le cadre du suivi VGT_Mine. En effet, l'étude VEGUSINE indique que la forêt de la Kwé Est est apparue en bonne état de santé en novembre 2016 avec une surface non impactée évaluée à 99.41 % de sa surface totale et une surface impactée négligeable ne dépassant pas 0.59 % de sa surface totale (Figure 49, Figure 51). Concernant sa dynamique, on note une bonne reprise de la végétation entre 2011 et 2016 (Figure 50).

7. 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 understorey trees of temperate and tropical forests. Tree physiology 16: 69-80.